

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

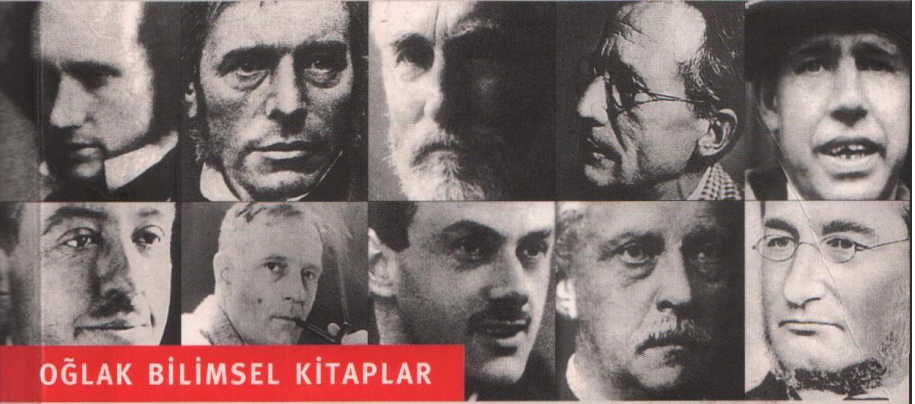
Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>



UNESCO 2005 Dünya Fizik Yılı

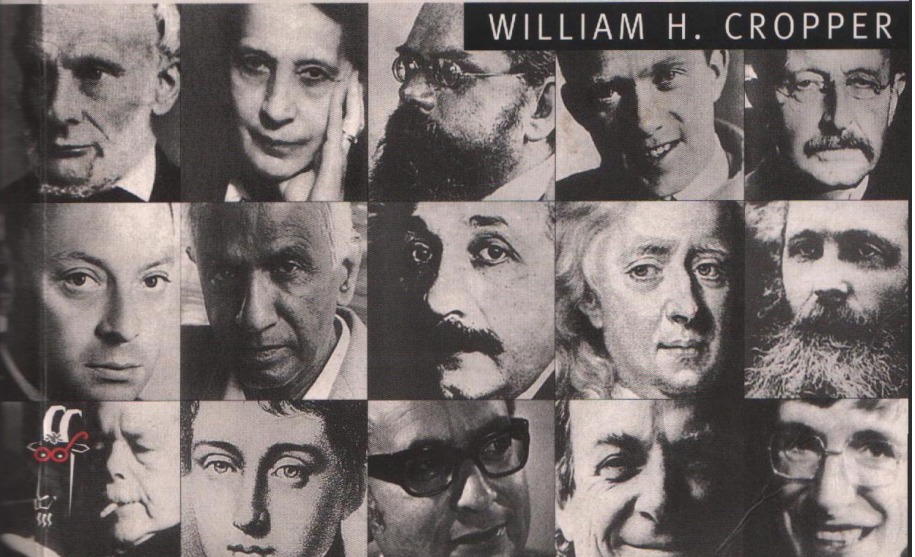


OĞLAK BİLİMSEL KİTAPLAR

Büyük Fizikçiler

Galileo'dan Hawking'e Büyük Hayatlar

WILLIAM H. CROPPER



Büyük Fizikçiler

OĞLAK BİLİMSEL KİTAPLAR

Büyük Fizikçiler - *Great Physicists* / William H. Cropper
İngilizce aslından çeviren: Nurettin Elhüseyni

© William H. Cropper, 2001

© Oğlak Yayıncılık ve Reklamcılık Ltd. Şti., 2004

Bu yapının bütün hakları saklıdır. Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Kurumsal kimlik danışmanı: Serdar Benli

Kapak tasarımı: Ulaş Eryavuz

Kapak uygulama: Murat Deniz

Grafik uygulama: Şaduman Dönmez

Dizgi düzeni: Goudy, 10,5 / 12,9 pt.

Ofset hazırlık: Oğlak Yayınları

Baskı: Oğlak Baskı Hizmetleri

Tel: (0-212) 612 73 05

Oğlak Yayıncılık ve Reklamcılık Ltd. Şti.

Genel yönetim: Senay Haznedaroğlu

Yayın yönetmeni: Raşit Çavaş

Zambak Sokak 29, Oğlak Binası, 34435 Beyoğlu-İstanbul

Tel: (0-212) 251 71 08-09, Faks: (0-212) 293 65 50

e-posta: oglak@oglak.com

Birinci baskı: 2005

ISBN 975 - 329 - 496 - 4

Büyük Fizikçiler

Galileo'dan Hawking'e Büyük Hayatlar

WILLIAM H. CROPPER

İngilizce aslından  eviren:
Nurettin Elh scyni



İçindekiler

Önsöz 11

Teşekkürler 13

I Mekanik

Tarihsel Sinopsis 15

- 1 Arşta Neler Oluyor? 17
Galileo Galilei
- 2 Saplantılı Bir Adam 31
Isaac Newton

II Termodinamik

Tarihsel Sinopsis 59

- 3 İki Devrimin Hikâyesi 61
Sadi Carnot
- 4 Zifiri Karanlık 70
Robert Mayer
- 5 Kutsal Bir Vecibe 79
James Joule
- 6 Bütünlükleri Birleştiren 92
Hermann Helmholtz
- 7 Bilimin Virtüözü 101
William Thomson
- 8 Entropiye Giden Yol 118
Rudolf Clausius
- 9 En Büyük Yalınlık 132
Willard Gibbs
- 10 Son Yasa 153
Walther Nernst

III Elektromanyetizma

Tarihsel Sinopsis 165

- 11 Doğanın Bir Kuvveti 167
Michael Faraday
- 12 Sihirbaz Bilim Adamı 186
James Clerk Maxwell

IV İstatistiksel Mekaniik

Tarihsel Sinopsis 213

- 13 Moleküller ve Entropi 215
Ludwig Boltzmann

V Görelilik

Tarihsel Sinopsis 241

- 14 Düşünce Serüveni 243
Albert Einstein

VI Kuantum Mekaniği

Tarihsel Sinopsis 273

- 15 Gönülsüz Devrimci 275
Max Planck
- 16 Sohbetli Bilim 288
Niels Bohr
- 17 Eleştirmen Bilimci 304
Wolfgang Pauli
- 18 Matris Mekaniği 312
Werner Heisenberg
- 19 Dalga Mekaniği 326
Erwin Schrödinger ve Louis de Broglie

VII Nükleer Fizik

Tarihsel Sinopsis 347

- 20 Kapıları Açmak 349
Marie Curie
- 21 Bir Dalganın Sirtında 364
Ernest Rutherford

- 22 Fizik ve Dostluklar 390
Lise Meitner
- 23 Tam Fizikçi 407
Enrico Fermi

VIII Parçacık Fiziği

Tarihsel Sinopsis 429

- 24 $i\gamma \cdot \partial \psi = m \psi$ 431
Paul Dirac
- 25 Ne Kadar Umrunda Senin? 444
Richard Feynman
- 26 Bana Kuark Masalını Anlat 477
Murray Gell-Mann

IX Astronomi, Astrofizik ve Kozmoloji

Tarihsel Sinopsis 499

- 27 Galaksi Ötesi 501
Edwin Hubble
- 28 İdeal Bilgin 519
Subrahmanyam Chandrasekhar
- 29 Dert, Şöhret ve Servet 536
Stephen Hawking

Başlıca Olayların Kronolojisi 549

Sözlükçe 554

Daha Fazlasını Okumaya Çağrı 561

Önsöz

Bu kitap bilime adanmış hayatları, daha kesin bir deyişle “fizik panteonu”nun otuzlarının hayatlarını anlatan bir hikâyedir. Adlardan bazıları (Newton, Einstein, Curie, Heisenberg, Bohr) bildik olmakla birlikte, bazıları (Clausius, Gibbs, Meitner, Dirac, Chandrasekhar) tanıdık gelmeyebilir. Ama en azından işledikleri konular kadar hayranlık uyandırıcı ve olağanüstü insanlardı hepsi, ki hâlâ da öyleler. Bu kitaptaki kısa biyografiler hem insanların hem de fiziğin hikâyesini anlatıyor.

Bölümler eldeki (kimi zaman kısıtlı) biyografik malzemeye bağlı olarak format ve uzunluk bakımından değişkenlik gösteriyor. Bölümlerden bazıları bilime vâkıf olmayan okur için matematik, fizik ve kimya konularında arka plan bilgileri içeren (“Dersler” başlıklı) altbölümlerle donatılmış durumda.

Harcâlem irfan sahipleri, genel okurların, matematik denklemlerinden ürktüğünü savunur. Ben bu öğüdü tutmadım ve bazı bölümlerde denklemlere yer verdim. Matematik denklemleri fiziğin dilini ifade eder: O dil hakkında bir şeyler öğrenmeden, verilen mesajı anlayamazsınız. Eğer temel (lise düzeyinde) cebir bilginiz varsa ve gerek kaldığında “Dersler” başlığı altında anlatılanları dikkatle okursanız, bu işin altından kalkarsınız herhalde. Sözlükçe ve kronoloji bölümleri de yararlı olabilir. Daha geniş biyografik malzeme için, “Daha Fazlasını Okumaya Çağrı” bölümünde belirtilen yapıtlara başvurmanızı öneririm.

Bu kitap kapsamlı ya da bilimsel bir çalışma olma iddiasını taşımıyor, bilimcilere ve bilim öğrencilerine (ister okullu, ister okulsuz olsun) hoşça bir okuma olanağı sağlamaya yönelik yalnızca. Kitaptaki bölümleri öylesine gelişigüzel ve eğlenme amacıyla okuyacağınızı, bu arada da bilimin sonuçta bir insan uğraşı olduğu dersini kulağınıza küpe edeceğinizi umarım, hepsi o kadar.

William H. Cropper

Önsöz

Bu kitap bilime adanmış hayatları, daha kesin bir deyişle “fizik panteonu”nun otuzlarının hayatlarını anlatan bir hikâyedir. Adlardan bazıları (Newton, Einstein, Curie, Heisenberg, Bohr) bildik olmakla birlikte, bazıları (Clausius, Gibbs, Meitner, Dirac, Chandrasekhar) tanıdık gelmeyebilir. Ama en azından işledikleri konular kadar hayranlık uyandırıcı ve olağanüstü insanlardı hepsi, ki hâlâ da öyleler. Bu kitaptaki kısa biyografiler hem insanların hem de fiziğin hikâyesini anlatıyor.

Bölümler eldeki (kimi zaman kısıtlı) biyografik malzemeye bağlı olarak format ve uzunluk bakımından değişkenlik gösteriyor. Bölümlerden bazıları bilime vâkıf olmayan okur için matematik, fizik ve kimya konularında arka plan bilgileri içeren (“Dersler” başlıklı) altbölümlerle donatılmış durumda.

Harcıâlem irfan sahipleri, genel okurların, matematik denklemlerinden ürktüğünü savunur. Ben bu öğüdü tutmadım ve bazı bölümlerde denklemlere yer verdim. Matematik denklemleri fiziğin dilini ifade eder: O dil hakkında bir şeyler öğrenmeden, verilen mesajı anlayamazsınız. Eğer temel (lise düzeyinde) cebir bilginiz varsa ve gerek kaldığında “Dersler” başlığı altında anlatılanları dikkatle okursanız, bu işin altından kalkarsınız herhalde. Sözlükçe ve kronoloji bölümleri de yararlı olabilir. Daha geniş biyografik malzeme için, “Daha Fazlasını Okumaya Çağrı” bölümünde belirtilen yapıtlara başvurmanızı öneririm.

Bu kitap kapsamlı ya da bilimsel bir çalışma olma iddiasını taşımıyor, bilimcilere ve bilim öğrencilerine (ister okullu, ister okulsuz olsun) hoşça bir okuma olanağı sağlamaya yönelik yalnızca. Kitaptaki bölümleri öylesine gelişigüzel ve eğlenme amacıyla okuyacağınızı, bu arada da bilimin sonuçta bir insan uğraşı olduğu dersini kulağınıza küpe edeceğinizi umarım, hepsi o kadar.

William H. Cropper

Teşekkürler

Zahmetli bir işi olabileceğinden daha keyifli kılan Oxford University Press görevlileri Kirk Jensen, Helen Mules ve Jane Lincoln Taylor'ın yardımlarını şükranla anmak benim için bir zevk. Kızlarım Hazel ve Betsy'ye birçok şey için, bu kitap vesilesiyle de bilgisayar yazılım ve donanım becerilerinden dolayı minnettarım.

Aşağıdaki yayınlardan alıntı yapmama izin verilmesinden dolayı da şükran borcum var:

Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein, Abraham Pais, telif hakkı © 1983 Abraham Pais, Oxford University Press, Inc.'in izniyle kullanılmıştır. *The Quantum Physicists*, William H. Cropper, telif hakkı © 1970 Oxford University Press, Inc., Oxford University Press, Inc.'in izniyle kullanılmıştır. *Ludwig Boltzmann: The Man Who Trusted Atoms*, Carlo Cercignani, telif hakkı © 1998 by Carlo Cercignani, Oxford University Press, Inc.'in izniyle kullanılmıştır. *Lise Meitner: A Life in Physics*, Ruth Lewin Sime, telif hakkı © 1996 California Üniversitesi Mütevelli Heyeti, University of California Press'in izniyle kullanılmıştır. *Marie Curie: A Life*, Susan Quinn, telif hakkı © 1996 Susan Quinn, Perseus Books Group'un izniyle kullanılmıştır. *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi*, Laura Fermi, telif hakkı © 1954 Chicago Üniversitesi, The University of Chicago Press'in izniyle kullanılmıştır. *Enrico Fermi, Physicist*, Emilio Segre, telif hakkı © 1970 The University of Chicago, The University of Chicago Press'in izniyle kullanılmıştır. *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*, George Johnson, telif hakkı © 1999 George Johnson, Random House, Inc.'in bir bölümü olan Alfred A. Knopf'un izniyle kullanılmıştır, ayrıca Birleşik Krallık'ta Jonathan Cape tarafından yayımlanmış ve Random House Group, Limited'den alınan izinle kullanılmıştır. *QED and the Men Who Made It*, Silvan S. Schweber, telif hakkı © 1994 Princeton University Press, Princeton University Press'in izniyle kullanılmıştır. *Surely You're Joking, Mr. Feynman*, Ralph Leighton'a anlatılan biçimiyle Richard Feynman, telif hakkı © 1985 Richard Feynman ve Ralph Leighton, W. W. Norton Company, Inc.'in izniyle kullanılmıştır, ayrıca Birleşik Krallık'ta Century tarafından yayımlanmış ve Random House Group, Limited'den alınan izinle kullanılmıştır. *What Do You*

Care What Other People Think?, Ralph Leighton'a anlatılan biçimiyle Richard Feynman, telif hakkı © 1988 Gweneth Feynman ve Ralph Leighton, W. W. Norton Company, Inc.'in izniyle kullanılmıştır. *The Feynman Lectures on Physics*, Richard Feynman, Robert Leighton ve Matthew Sands, telif hakkı © 1988 Michelle Feynman ve Carl Feynman, Perseus Books Group'un izniyle kullanılmıştır. *Chandra: A Biography of S. Chandrasekhar*, Kameshwar Wali, telif hakkı © 1991 Chicago Üniversitesi, The University of Chicago Press'in izniyle kullanılmıştır. *Edwin Hubble: Mariner of the Nebulae*, Gale E. Christianson, telif hakkı © 1995 Gale E. Christianson, Farrar, Straus and Giroux, L. L. C.'nin izniyle kullanılmıştır, Birleşik Krallık'ta Institute of Physics Publishing tarafından yayınlanmış ve oradan alınan izinle kullanılmıştır. "Rudolf Clausius and the Road to Entropy", William H. Cropper, *American Journal of Physics* **54**, 1986, s. 1068-1074, telif hakkı © 1986 Amerikan Fizik Öğretmenleri Birliği, Amerikan Fizik Enstitüsü'nün izniyle kullanılmıştır. "Walther Nernst and the Last Law", William H. Cropper, *Journal of Chemical Education* **64**, 1987, s. 3-8, telif hakkı © 1987 Amerikan Kimya Derneği Kimya Eğitimi Bölümü, *Journal of Chemical Education*'in izniyle kullanılmıştır. "Carnot's Function, Origins of the Thermodynamic Concept of Temperature", William H. Cropper, *American Journal of Physics* **55**, 1987, s. 120-129, telif hakkı © 1987 Amerikan Fizik Öğretmenleri Birliği, Amerikan Fizik Enstitüsü'nün izniyle kullanılmıştır. "James Joule's Work in Electrochemistry and the Emergence of the First Law of Thermodynamics", William H. Cropper, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* **19**, 1986, s. 1-16, telif hakkı © 1988 California Üniversitesi Mütevelli Heyeti, University of California Press'in izniyle kullanılmıştır.

Bölüm başlıklarının altına yerleştirilen bütün portre fotoğrafları Amerikan Fizik Enstitüsü Emilio Segrè Görsel Arşivi tarafından sağlanmış ve Amerikan Fizik Enstitüsü'nün izniyle kullanılmıştır. Anılması gereken diğer kaynaklar: Bölüm 2 (Newton), Massachusetts Teknoloji Enstitüsü Burndy Kütüphanesi. Bölüm 4 (Mayer), Massachusetts Teknoloji Enstitüsü Burndy Kütüphanesi. Bölüm 5 (Joule), *Physics Today* Koleksiyonu. Bölüm 7 (Thomson), Zeleny Koleksiyonu. Bölüm 8 (Clausius), *Physics Today* Koleksiyonu. Bölüm 10 (Nernst), fotoğrafı çeken Francis Simon. Bölüm 11 (Faraday), E. Scott Barr Koleksiyonu. Bölüm 13 (Boltzmann), *Physics Today* Koleksiyonu. Bölüm 14 (Einstein), ABD Ulusal Arşivler ve Kayıtlar İdaresi. Bölüm 16 (Bohr), Segrè Koleksiyonu. Bölüm 19 (Schrödinger), W. F. Meggers Koleksiyonu. Bölüm 20 (Curie), W. F. Meggers Koleksiyonu. Bölüm 21 (Rutherford), *Nature*. Bölüm 22 (Meitner), Herzfeld Koleksiyonu. Bölüm 23 (Fermi), Fermi Film Koleksiyonu. Bölüm 24 (Dirac), fotoğrafı çeken A. Börtzells Tryckeri. Bölüm 25 (Feynman), WGBH-Boston. Bölüm 26 (GellMann), W. F. Meggers Koleksiyonu. Bölüm 27 (Hubble), Hale Gözlemevleri. Bölüm 28 (Chandrasekhar), K. G. Somsekar, *Physics Today* Koleksiyonu. Bölüm 29 (Hawking), *Physics Today* Koleksiyonu.

MEKANİK

Tarihsel Sinopsis

Fizik gözlemlere dayanır. Hiçbir fizik teorisi gözlemlerle doğrulanmadıkça başarıya ulaşamaz ve gözlemlerle desteklenen sağlam bir teori yadsınamaz. Bizler için bunlar neredeyse bildik gerçeklerdir. Oysa 17. yüzyıl başlarında bu dersler henüz öğrenilmemişti. Gözlemlerin bilimde elzem ve üstün olduğunu öğreten ilk kişi ise Galileo Galilei'ydi.

Galileo önce yeryüzü cisimlerinin, serbest düşen topların, sarkaçların ve mermilerin hareketini inceledi. Gözlemlediği şeyleri orantıların matematik diliyle özetledi. Deneysel verilerinden hareketle de, bugün "eylemsizlik ilkesi" dediğimiz büyük idealleştirmeye vardı. Bu ilke bize başka şeylerin yanı sıra sonsuz ve sürtünmesiz bir düzlem boyunca fırlatılan bir nesnenin sabit bir hızla sonsuza kadar hareketine devam edeceğini anlatır. Galileo'nun gözlemleri şimdi "mekanik" dediğimiz hareket biliminin temellerini attı.

Galileo ayrıca yeni icat edilmiş teleskopla gece gündüz gökyüzünü gözlemledi. Venüs'ün evrelerini, Ay'daki dağları, güneş lekelerini ve Jüpiter'in uydularını gördü. Bu göksel gözlemler Güneş'i evrenin merkezine oturtan bir gök mekaniğini zorunlu kıldı. Kilise öğretisi ise tam tersi yönündeydi: Merkezde yer alan Dünya'ydı. Galileo'nun teleskopu ve kilise dogması arasındaki çatışma Galileo'ya felaket getirdi ama sonunda teleskop galip çıktı. Bu dramatik kapışmanın hikâyesi Galileo'ya en önemli dersi öğretti.

Galileo 1642'de öldü. Aynı yıl büyük halefi Isaac Newton doğdu. Newton selefinden kalan temeller üstünde kütle, momentum ve kuvvet kavramları ile üç hareket yasasına dayanan bir mekanik sistemi kurdu. Ayrıca kendi mekaniğini ifade etmek için bir matematik dili (günümüzün kalkülüsüyle yakından ilişkili "fluksiyon" metodunu) geliştirdi ama tarihin garip bir cilvesiyle kendisi bu dili ancak nadiren uyguladı.

Newton'un mekaniği geçmişte olduğu şimdi de kozmik önem taşıyor. Yeryüzü cisimlerinin ve bunun ötesinde gezegenlerin, yıldızların ve galaksilerin

hareketi için geçerlidir. Birleştirici görkemli kavram, Newton'un evrensel kütleçekimi teorisidir. Bu teori küçük, büyük ve astronomik (bazı egzotik istisnalar dışında) bütün nesnelerin basit bir ters orantılı kare yasasına göre işleyen bir kuvvetle birbirlerini çektikleri anlayışına dayanır.

Galileo ve Newton modern fiziğin kurucularıydı. Bize oyunun kurallarını öğretiler ve fiziksel dünyanın anlaşılabilir olduğu yolundaki sağlam inancı kazandırdılar.

Arşta Neler Oluyor?

Galileo Galilei



Kule Masalı

Rivayete göre genç, hırslı ve o sırada hüsrana uğramış matematik profesörü günün birinde, muhtemelen 1591'de, abanoz ve kurşun topların yer aldığı bir torbayla Pisa çan kulesinin tepesine çıkar. Pisa'daki üniversite camiasına, Aristoteles'in yaklaşık iki bin yıl önce ortaya attığı bir öğretiyi çürütme niyetinde olduğunu duyurmuştur. Cisimlerin ağırlıklarıyla orantılı bir hızda düştüğünü öngören öğretiler bu. On librelilik bir top, bir librelilik bir toptan on kat hızla düşmelidir. Genç profesör aşağıdaki şamatacı öğrencilerin ve durumdan rahatsız felsefe profesörlerinin oluşturduğu kalabalığa çalmlı bir havayla işaret verir, aynı malmemeden ama çok farklı ağırlıklarda topları seçer ve yukarıdan bırakır. Hava direnci olmadığında (yani bir boşlukta), farklı ağırlıklarda (ve herhangi bir malmemeden yapılmış) iki topun yere aynı anda inmesi gerekir. Pisa'da 1591 yılının o gününde bu olay aynen gerçekleşmedi ama açıkçası şöyle ya da böyle Aristoteles'in köhne ilkesi darmadağın oldu. Genç profesörün izleyicilerine anlattığı gibi, zaten çıkarılması gereken ders de buydu. Öğrenciler neşeyle alkış tutarken, felsefe profesörlerinin içine kurt düştü.

Bu masalın kahramanı Galileo Galilei'ydı. Aslında bu "deney"i Pisa Kulesi'nden yapmamıştı ama böyle bir girişim karakterine tamamen uygun düşerdi. Bütün hayatı boyunca otoriteye pek aldrış etmeyen biriydi ve sürekli saldırdığı hedeflerden biri Aristoteles, yani dönemin üniversite felsefe hocalarının gözündeki en üst otoriteydi. Galileo'nun kişisel üslubu bodoslama, nükteli, ironik ve çoğu kez alaycıydı. Düşünsel üslubu, Kule masalının aktardığı gibi, teorilerini uç noktadaki gözlemlere bağlayarak kurmaktı.

Pisa filozofları ne Galileo'nun ne de yöntemlerinin etkisinde kaldılar. Kule deneyine tanık olsalardı bile daha sempatiyle yaklaşımları beklenemezdi. Nitekim hiç de şaşırtıcı olmayan bir gelişmeyle, Galileo'nun Pisa Üniversitesi'ndeki sözleşmesi yenilenmedi.

Padova

Galileo istediği şeyi nasıl kapacağını biliyordu. Pisa'daki mevkiini nüfuzlu bir asilzade ve yetkin bir matematikçi olan Marki Guidobaldo del Monte'nin yardımıyla elde etmişti. Şimdiki hedefi Padova Üniversitesi'nin bir süre önce boşalan matematik kürsüsüydü ve Padova'daki başlıca destekçisi Padova'nın kültürel ve entelektüel hayatında güçlü nüfuz sahibi Gianvincenzo Pinelli'ydi. Pinelli'nin öğütlerine uyarak, sınav görevlilerini büyüledi ve Venedik Senatosu'nun onayını aldı. (Venedik şehrinin otuz beş kilometre batısına düşen Padova o sırada Venedik Cumhuriyeti içindeydi.) Galileo'nun ilk dersi sansasyon yarattı.

Padova daha önce Pisa'da karşılaştığı entelektüel durgunluğa oranla Galileo'nun yeteneklerine ve hayat tarzına çok daha uygun bir atmosfer sundu. Galileo komşu Venedik'te eğlenme olanağı ve daha aristokrat dostlar buldu. Bunlar arasında gözde tartışma ahabası, değer verebileceği eksantrik tarza sahip varlıklı bir asilzade olan Gianfrancesco Sagredo'ydü. Galileo kıvrak zekâsıyla ve polemikğe yatkınlığıyla çok geçmeden şehir salonlarının müdavimleri arasına girdi. Biyografisinin yazarlarından James Reston Jr.'ın "asabi, yılışık, azgın ve muhtemelen cahil" olarak nitelendirdiği Marina Gamba adlı bir metres tuttu. Marina'dan üç çocuğu oldu: Virginia ve Livia adlı iki kız, Vincenzo adlı bir oğul. Sonraki yıllarında, hayatı trajediyle karardığında, büyük kızı Virginia'nın yanında büyük huzur buldu.

Padova'da kaldığı on sekiz yılda (1592-1610) Galileo en önemli mekanik ve astronomi buluşlarından bazılarını yaptı. Titiz gözlemleri sonunda, bir cismin serbest düşüş halinde ya da eğik bir düzlem boyunca aldığı dikey mesafenin düşüş süresinin karesiyle orantılı olduğunu belirten "zamanın karesine bağlılık" yasasını formüle etti. (Modern gösterim biçiminde, serbest düşüş denklemi

$s = \frac{gt^2}{2}$ olarak ifade edilir, s ve t dikey mesafe ile düşüş süresini, g yerçekimi

minin ivmesini belirtir.) Kule deneyinin kontrollü bir versiyonuyla düzlemsel hareket yasalarını tanımladı. Bu versiyon masa üstünde eğik bir düzlemde aşağı yuvarlanan bir topun daha sonra masadan yatay ya da eğik bir yolla ayrılarak yere düşmesine dayanıyordu. Galileo düzlemsel hareketi biri yatay diğeri dikey iki bileşene ayırarak, deneyleriyle aşağı yukarı uyuşan hesaplamalar yapabileceğini saptadı. Topun masadan ayrılma sırasındaki hızının belirlediği yatay bileşen "korunumlu"ydü, yani daha sonra değişmiyordu. Dikey bileşen ise topun ağırlığından dolayı zamanın karesine bağlılık kuralını izliyordu.

Galileo yıllar boyunca sarkaç hareketinin sadeliğine ve düzenliliğine hayranlık duymuştu. Onu en çok etkileyen şey sarkaç "periyodu"nun, yani sarkacın ileri-geri çevrimini tamamlaması için gerekli sürenin, sabitliği idi. Eğer sarkaç

yaklaşık 30° altında bir açıyla salınırsa, gerçeğe oldukça yakın bir tahminle, periyodu yalnızca uzunluğuna bağlı olur. (Bir başka Galileo efsanesi on dokuz yaşında kiliseye giden Galileo'nun ayine pek fazla aldırış etmeksizin, yüksek bir tavadan telle sarkıtılmış bir kandilin salınım zamanını kendi nabzını sayarak tuttuğuna dair tasviri sunar bize.) Galileo, Padova'dayken sabit-periyot kuralını deneylerle doğruladı ve ardından sarkacın daha incelikli bazı sırlarını açığa çıkardı.

1609'da Felemenk'teki gözlük yapımcılarının uzaktaki nesneleri çok yakına getiren bir optik aygıtı -bir süre sonra konan adıyla teleskopu- icat ettikleri haberi Venedik'e ulaştı. Galileo bunun parlak bir fırsat olduğunu derhal anladı. Felemenkli girişimciler ortaya çıkmadan önce bir prototip yaparak, bunu Venedikli yetkililerin huzurunda sergilemesi halinde emsali görülmemiş ödüllere boğulacaktı. Optik konusunda Felemenk tasarımının içbükey ve dışbükey merceklerin bir bileşimi olduğunu tahmin etmeye yetecek kadar bilgiliydi, kendisi ve tuttuğu alet imalatçısı da, mercekleri taşlamak için gereken olağanüstü beceriye sahipti. Galileo'nun ifadesine göre, Felemenkli zanaatkarların ürettiğinden daha kaliteli bir teleskopu yirmi dört saat içinde hazırladılar. Galileo icadı için büyük bir meblağ talep edebilir ve hiç kuşkusuz elde edebilirdi. Ama şöhret ve nüfuz onun için paradan daha anlamlıydı. Gösterişli bir törenle, sekiz büyütme gücünde bir teleskopu Venedik dükü Niccolò Contarini'ye verdi. Reston, *Galileo* adlı kitabında teleskopu sunuş sahnesini süslü bir biçimde şöyle anlatır: "Venedik dehası için broker giysili teşrifatçılarla, kalburüstü ulaklarla ve sırta bürünmüş ustalarla tamamlanan bir kutlama. Sunulan boru bir anda Padova bilim dağarcığının tomurcuklanmasını temsil eder oldu." Galileo yüklü bir ikramiyeyle ödüllendirildi, maaşı iki katına çıkarıldı ve ömür boyu olmak üzere hocalık görevine yeniden atandı.

Ardından Galileo teleskopunu gökyüzüne çevirdi ve bazı önemli, daha sonraki gelişmelere bakılırsa kaderini değiştirici buluşlara ulaştı. İzleyen birkaç yıl içinde, Ay'ın dağlık yüzeyini, Jüpiter'in dört uydusunu, Venüs'ün evrelerini, Saturn'ün (teleskopuyla pek çözölemeyen) halkalarını ve Güneş lekelerini gözlemledi. 1610'da gözlemlerini *Siderius Nuncius* (Yıldızların Habercisi) adlı kitapta yayımladı ve bu kitap yalnızca İtalya'da değil, bütün Avrupa'da yankı uyandırdı.

Ancak Galileo daha fazlasını istiyordu. Gençlik yıllarının çoğunu geçirdiği Toscana ve Floransa'ya dönme yollarını aramaya yöneldi. Toscana Grandükü bir süre önce Galileo'nun öğrencileri arasında yer almış genç Cosimo de Medici'ydi. Galileo amacına ulaşmak için *Siderius Nuncius*'u grandüke ithaf etti ve Jüpiter'in dört uydusuna Medici yıldızları adını verdi. Bu yaltaklanma beklenen etkiyi yarattı. Galileo kısa bir süre sonra Floransa'dan hayret verici bir teklif aldı: Toscana Grandükü'nün başmatematikçisi ve filozofu olarak, en yüksek saray görevlisinin aldığına denk bir maaş ve hocalık meşgalesinden -aslına bakılırsa her türlü meşgaleden- muafiyet. Venedik ve Padova'dan ayrılan Galileo geride gıpta ve burukluk bıraktı.

Floransa ve Roma

Dost canlısı ve ruhtan Galileo bir kez daha soylu çevresinde kafa dengi

ahbaplar buldu. En değer verdiği ilişki genç, yetenekli ve kuşkucu Filippo Salviati'yle kurduğu dostluktu. Galileo ve öğrencileri Salviati'nin Floransa'ya yaklaşıp yirmi beş kilometre uzaklıktaki güzel villasının düzenli ziyaretçileriydi. Ama bu tatlı hayat bile Galileo'yu yerinde tutamadı. Fethedeceği bir dünya daha vardı: Roma, yani kilise. 1611'de grandükün müsteşarına, teleskopunun marifetini sergilemek ve Vatikan'ı astronomi buluşlarının önemiyle etkilemek üzere Roma'ya bir resmi ziyarette bulunmayı önerdi.

Bu seferin tehlikeli yanları vardı. Galileo'nun buluşları evrenin merkezinde Dünya'nın yer aldığına dair kilise öğretisine aykırı kanıtlar içeriyordu. Yunanlı astronom ve matematikçi Ptolemaios'un [Batlamyus] ikinci yüzyılda savunduğu bu kozmoloji öteden beri kilise dogmasıydı. Galileo kendi gözlemlerinden Jüpiter'e bağlı uyduların hareketinin Jüpiter merkezli olduğunu ve daha da belalı bir durumla, Venüs'ün evrelerinden bu gezegenin hareketinin Güneş merkezli olduğunu ortaya koyan kanıtları görebiliyordu. On altıncı yüzyılda Leh astronom Mikolaj Kopernik evrenin merkezine Güneş'i oturtan bir kozmoloji önermişti. Roma yolculuğuna çıktığı 1611'de, Galileo büyük ölçüde Kopernikçi yaklaşımı benimsemiş durumdaydı. *Kitabı Mukaddes*, ayrıca Ay ile Güneş'i en kusursuz cisimlerin timsali saymaktaydı, oysa Galileo'nun teleskopu Ay yüzeyinde dağ ve vadileri, Güneş yüzeyinde de lekeleri ortaya çıkarmıştı.

Ne var ki, 1611'de teleskop ile kilise arasındaki çatışma geçici olarak örtbas edildi ve Galileo'nun ziyareti büyük çapta başarıya ulaştı. Otokrat Papa V. Paulus'la görüşerek duasını ve desteğini aldı. O sırada ve daha sonraları, papalık makamının ardındaki düşünsel güç odağı Kardinal Robert Bellarmine'ydı. Galileo'nun savlarını değerlendirmek ve resmi bir tutumu açıklamak ona düşen bir görevdi. Bellarmine de, Cizvit Collegio Romano'daki astronomlardan ve matematikçilerden görüş istedi. Bu kişiler teleskopun Ay yüzeyindeki dağları gerçekten ortaya çıkardığı konusunda şüphelerini bildirdiler ama daha da önemlisi Venüs'ün evrelerine ve Jüpiter uydularının hareketine ilişkin teleskop kanıtlarına güvenciler.

Galileo Roma'da yeni bir aristokrat velinimet buldu. Bu kişi "Vaşaklar Akademisi" adlı gizli cemiyetin kurucusu ve önderi Prens Frederico Cesi'ydı. Cemiyete "gerçek bilgiye susamış olan ve kendilerini doğayı incelemeye, özellikle de matematiğe verecek olan filozoflar" üye olabiliyordu. Üyeler genç, radikal, ayrıca vaşak metaforuna uygun bir yaratılışla keskin gözlü ve hasımlarına davranışta acımasızdı. Cesi'nin verdiği şatafatlı bir ziyafete onur konuğu olan Galileo, kısa bir süre sonra vaşaklık mertebesine seçildi.

Galileo, Roma ve Floransa'da birçok nüfuzlu dost ve kaçınılmaz olarak da birkaç yeminli düşman kazandı. Floransa'da bunların başını çeken Ludovico della Colombe öne çıkarak Galileo'yu eleştirenlerin önderliğine soyundu. Colombe İtalyanca'da "güvercin" anlamına gelir. Galileo küçümseyici bir tavırla Colombe ve şürekâsına "Güvercinler Birliği" adını taktı.

1611 yılının sonlarında, pek de itibarlı bir adam olmayan Colombe saldırılarını sürdürdü ve Galileo'yu bir entelektüel düelloya davet etti: Yüzen cisimle-

re, özellikle buza ilişkin teori üzerine halka açık bir münazara. Pisalı bir profesörün resmi meydan okumasını iletince, Galileo neşeyle şu karşılığı verdi: "Herkes-ten öğrenmeye hep heveskâr bir kişi olarak, bunu aziz dostunuzla muhabbet etmek ve konu hakkında akıl yürütmek için bir lütuf saymalıyım herhalde." Münazara yeri Pitti Sarayı'ydı. Dinleyiciler arasında iki kardinal, Grandük Cosimo ve Grandüşes Christine ile Cosimo'nun annesi vardı. Kardinallerden biri daha sonra VIII. Urbanus adıyla papalık makamına oturacak ve Galileo dramının son perdesinde önemli rol oynayacak olan Maffeo Barberini'ydi.

Münazarada, Galileo buzun ve diğer cisimlerin içine daldırıldıkları sıvıda daha hafif olmaları nedeniyle yüzdükleri görüşünü benimsedi. Colombe ise ince ve yassı bir buz parçasının özgül şeklinden dolayı suda yüzdüğü yolundaki Aristotelesçi görüşü savundu. Alışlageldiği gibi, Galileo savını gösterilere dayandırdı. Abanoz parçalarının çok ince biçimlerde bile her zaman suda battığını, buna karşılık bir buz kütesinin su yüzeyinde kaldığını gösterince, izleyicileri yanına çekti.

Fırtına Bulutları

Münazara zaferinin ertesi günü Galileo ağır hasta düştü ve sağlığına kavuşmak için Salviati'nin villasına çekildi. Gücünü toparlayınca, yüzen cisimlerle ilgili görüşlerini bir risalede özetledi ve ardından Salviati'yle birlikte Güneş lekelerini incelemeye döndü. İki arkadaş büyük lekelerin Güneş yüzeyi boyunca ekvator yakınında batıdan doğuya doğru ilerleyiş sırasındaki hareketinin haritasını çıkardı.

Derken 1612 ilkbaharında Galileo ve Salviati'ye bir rakip çıktığı haberi ortalıkta dolaşmaya başladı. Bu kişi kendisine Apelles adını vermişti. (Bavyera'da ders veren Peder Christopher Scheiner adlı bir Cizvit matematik profesörü olduğu sonradan saptandı.) Galileo'yu dehşete düşüren bir gelişmeyle Apelles, Güneş lekeleriyle ilgili gözlemleri ilk kez kendisinin yaptığını öne sürdü ve Güneş lekelerini de Güneş'in önünden geçmekte olan yıldızların görüntüleri olarak açıkladı. Bu davetsiz misafir yalnızca Galileo'nun öncelik iddiasına tecavüz etmekle kalmıyor, aynı zamanda Güneş lekelerine ilişkin yanlış bir yorumu yayıyordu. Galileo hep paranoyaya eğilimli biriydi, üstelik o sırada yere sağlam basan bir durumdaydı. Bir aracı vasıtasıyla Apelles'e bir dizi cüretkâr mektup gönderdi ve bu mektupların Vaşaklar Akademisi tarafından Roma'da yayımlanması için Cesi'yle anlaşmaya vardı. Bu mektuplarda Galileo ilk kez açıkça Kopernikçi kozmolojiye bağlılığını ortaya kordu. Kanıt olarak da gezegenlere ilişkin gözlemlerine işaret etti: "Size şunu söyleyeyim ki, hilalimsi Venüs'ten aşağı kalmamak üzere, [Saturn] de yüce Kopernik sistemiyle hayranlık uyandıracak biçimde uyuyor. Rüzgâr artık bu sistemin lehinde esiyor. Böylesine parlak bir kılavuz altında giderken ters rüzgârlardan ve kanaklıklardan korkmak için çok az neden var."

Galileo kısa bir süre sonra Kopernikçilik'e inancını ilan etmek için bir başka vesile buldu. Tilmislerinden Benedetto Castelli daha önce onun bulunduğu göreve, Pisa'daki matematik kürsüsüne geçmişti. Galileo'ya gönderdiği bir mek-

tufta, Castelli koyu dindar Grandüşes Christine'le yakınlardaki rahatsız edici bir görüşmesinden söz etti. "Hanımefendi Hazretleri Kitabı Mukaddes'ten bulduğu dayanaklarla bana karşı çıkmaya başladı" diye yazdı. Grandüşesin özellikle üzerinde durduğu nokta, Yoşıya Kitabı'ndaki bir pasajdı. Bu pasajda Yoşıya'nın ricat etmekte olan düşmanlarının gece karanlığından yararlanarak kaçmaması için Tanrı'nın Güneş'e yerinde durma emrini verdiği belirtiliyordu. Acaba bu anlamtım Güneş'in Dünya etrafında döndüğü öğretisini destekleyici, buna karşılık Dünya'nın hareket ettiği ve Güneş'in sabit olduğu yolundaki Kopernikçi iddiayı çürütücü nitelikte değil miydi?

Galileo tehlikeyi hemen sezdi. Güçlü grandüşesin desteğini yitirmekte olduğu korkusuna kapıldı. İlk kez Kopernikçi görüşlerini açıkça teolojik meselelerle bağlantılı bir çerçeveye oturttu. Önce Castelli'ye bir mektup yazdı. Kitabı Mukaddes sözlerini harfiyen anlamının kimi zaman hatalı olabileceğini belirtti. Kitabı Mukaddes doğrudan gözlemlerle çelişmeyecek bir yaklaşımla yorumlanmalıydı: "Bilge yorumculara düşen görev, kutsal metinlerin duyumsal deneyimlerden çıkan kanıtlarla uyuşacak doğru anlamlarını bulmaktır." Galileo'ya göre, Tanrı'nın Kopernik kozmolojisinde de tıpkı Ptolemaios kozmolojisindeki kolaylıkla Yoşıya'ya yardım etmesi mümkündü.

Castelli'ye yazılan mektup, elden ele dolaşmasına ve sonunda yayımlanmasına karşın, bir yılı aşkın bir süre eleştirel bir tepki görmedi. Bu arada Galileo daha sıkı önlemler aldı. Bir çatışma halinde gözlemlerin öğreti karşısındaki üstünlüğünü vurgulayarak genişlettiği mektubun bir metnini dosdoğru Grandüşes Christine'ye gönderdi. "Kutsal Yazılar'ın başta gelen amacı Tanrı'ya ibadet etmek ve ruhları günahlardan kurtarmaktır" diye yazdı. Ancak "doğal olgulara ilişkin görüş ayrılıklarında, kutsal metinlerin güvenilir kaynaklığından değil, duyumsal deneyimden ve gerekli gösterimlerden yola çıkınak gerektiğini" belirterek, Kardinal Cesare Baronius'un bir zamanlar söylediği şu sözleri hatırlattı: "Kitabı Mukaddes bize arştaki cennete nasıl gidileceğini anlatır, arşta neler olduğunu değil."

Vaiz kürsüsünden Galileo'ya yönelik ilk saldırı Tommaso Caccini adlı genç bir Dominiken rahipten geldi. Rahip öfkeli vaazında Yoşıya mucizesini esas alarak, yerleşik öğretiye itikat etmeden böyle muhteşem olayları anlamaya çalışmanın beyhude olduğunu işledi. Galileo'nun hikâyesinde bir dönüm noktası oldu bu darbe. Reston durumu şöyle anlatır: "Yoşıya'nın en ünlü bilim adamı, Toscanada Grandükü'nün filozofu ve Roma'daki güçlü kardinallerin yakın dostu önemli bir vaiz kürsüsünden seslenen bir itikat belçisinin alenen savurduğu sapkınlık ithamıyla karşı karşıya kaldı." Caccini ve bir başka Dominiken rahip Peder Niccolò Lorini böylece Galileo meselesini Roma Enkizisyonu'na götürerek, Castelli'ye yazılmış mektubu sapkınlığın kanıtı olarak sundular.

Galileo olup bitenleri gözardı edemezdi. Roma'ya gitmekten ve enkizisyoncularla yüzleşmekten başka çaresi yoktu. Dört yıl önce astronomi gözlemlerine ilişkin olumlu görüş bildirmiş olan Kardinal Bellarmine'nin bu kâiler üzerinde herhalde nüfuzu olmalıydı. Ama Galileo bir kez daha hastalık yüzünden aylar boyunca yerinden kıpırdıyamadı. Nihayet 1615 yılının sonlarında Roma'nın yolunu tuttu.

Enkizisyonculara hazırlık mahiyetinde, bir Vatikan komisyonu Kopernik öğretisini incelemiş ve evrenin merkezine Güneş'i oturtma gibi bazı önermelerini "budalaca, saçma ve resmen sapkın" bulmuştu. Enkizisyon 25 Şubat 1616'da toplandı ve Papa Paulus'tan Galileo'nun Kopernik öğretisini işlemesine, savunmasına ya da tartışmasına mahal vermeme talimatını aldı. Buna uymaması halinde hapse atılacaktı.

Ertesi sabah Bellarmine ve bir enkizisyoncu bu uyarıyı Galileo'ya sözlü olarak bildirdi. Galileo kararı itirazsız kabul etti ve Vatikan'dan resmi fermanı bekledi. Birkaç hafta sonra gelen ferman, daha önce Bellarmine'nin verdiği hükme tuhaf biçimde tersti. Galileo'dan ya da yayınlarından hiç söz etmiyor, bunun yerine Kopernikçilik'e genel bir kısıtlama getiriyordu: "Nicolaus Copernicus tarafından vaaz edilen ve *Kitabı Mukaddes*'e külliyen mugayir olan, ezcümle Arz'ın hareketli ve Güneş'in sabit olduğu cihetindeki asılsız Pythagorasçı akidenin halihazırda şayi olduğu ve birçok kimseden kabul gördüğü Kutsal Heyet'in malumatı dahilindedir. Binaenaleyh, Kutsal Heyet bu çeşit kanaatlerin Katolik hakikate hâlel getirecek biçimde ihsas edilmemesi veçhesiyle, Nicolaus Copernicus'un eserlerinin tashih edilene kadar okunmaktan men edilmesini buyurmuştur."

Her zaman iyimser bir mizacı olan Galileo, olayların böyle bir seyre girmesinden cesaret aldı. Bellarmine'nin sıkı tembihine rağmen, Galileo kişisel olarak sansürden kurtulmuştu. Kopernik'le ilgili "tashihler" açıklandığında, bunların ufak tefek şeyler olduğu görüldü. Galileo üç ay kadar Roma'da kaldı ve eskisi gibi dobra konuşma vesileleri yakaladı. Sonunda, Toscana Müsteşarı ona "uyuyan köpeğin kuyruğuna basmaması" tavsiyesinde bulunarak, ortalıkta "hoşa gitmeyen rivayetler" in dolaştığını ekledi.

Kuyrukluyıldızlar, Bir Manifesto ve Bir Diyalog

Floransa'ya dönen Galileo, 1617 ve 1618'in büyük bölümünü hasta ve canı sıkın geçirdi. Öyle ki, 1618'in son dört ayı içinde geceleyin gökyüzünde üç kuyrukluyıldız belirdiğinde, bunu yorumlayacak takati yoktu. Bununla birlikte Collegia Romano'da matematik profesörü ve hünarlı bir bilgin olan Peder Hooran Grassi'nin yayımladığı kitapta kuyrukluyıldızların Kopernik kozmolojisi aleyhinde taze kanıtlar sunduğunu ileri sürmesi heyecana kapılarak canlanmasına yetti. Başlangıçta bizzat cevap veremeyecek kadar mecalsiz olduğu için, bu görevi Collegio Romano mezunu bir avukat olan tilmizi Mario Guiducci'ye verdi. Guiducci'nin imzasını taşıyan *Kuyrukluyıldızlar Üzerine Söylevler* adlı bir kitapçık yayımlandı ama savların Galileo'ya ait olduğu besbelliydi.

Bu hamle Grassi'den kayda değer bir karşılık getirdi. Böylece 1621 ve 1622 yıllarında yeterince kısıktırılan ve sağlığına kavuşan Galileo, parlak manifestosu *Il Saggiatore*'yi (Ayarıcı) yayımladı. Burada şu saptamayı ortaya koydu: "Felsefe sürekli gözümüzün önünde duran evren dediğimiz şu muhteşem kitapta yazılıdır. Ama bir kimse dili sökmeyi ve dilin yazıldığı alfabeyi okumayı öğrenmeden bu kitabı anlayamaz. Evrenin kitabı matematiğin diliyle yazılmıştır, bu dilin karakterleri üçgenler, daireler ve diğer geometrik şekillerdir, ki onlar olmadan kitap-

taki tek bir kelimeyi bile anlamak insanoğlu için mümkün değildir. Bir kimse bu şekiller olmadan karanlık bir labirentin içinde dolanıp durur.”

Il Saggiatore, Vatikan'dan onay aldı ve della Colombe'yle münazarasında Galileo'yu desteklemiş olan Kardinal Barberini dostane ve güven verici bir mektupta, “Size hizmet etmeye hep amadeyiz” diye yazdı. Sonradan görüleceği üzere, Barberini'nin iyi dilekleri bundan daha münasip olamazdı. Barberini 1623'te papalığa seçildi ve VIII. Urbanus adını aldı.

Galileo sağlığının bozuk olduğu bir kış atlattıktan sonra, 1624 ilkbaharında bir kez daha Roma'nın yolunu tuttu. Bu sefer yanında mikroskoplar götürüyordu. Tıpkı teleskop gibi özgün mikroskop tasarımı da Felemenk'ten gelmişti ama Galileo bu aleti bilimsel kullanım alanları için bir hayli geliştirmişti. Roma ehli vakufunu özellikle hayrete düşüren şey, böceklerin büyütülmüş görüntüleri idi.

Roma'ya varışından kısa bir süre sonra, Galileo papalık makamına yeni oturmuş olan VIII. Urbanus'un huzuruna çıktı. Eski Kardinal Barberini'den tekrar destek sözü beklerken, hayretler içinde farklı bir kişilikle karşılaştı. Yeni papa otokrat, akrabalarını kayırmaya meyyal, çenebaz ve kafasını askeri seferlerle bozmuş biriydi. Yine de Galileo, Roma'dan hâlâ önünün açık olduğu inancıyla ayrıldı. Cesi'ye yazdığı bir mektupta şunu belirtiyordu: “Kopernik meselesinde Papa Cenapları, onun görüşlerinin Kutsal Kilise tarafından sapkınlıkla mahkûm edilmediğini ve edilmeyeceğini, yalnızca pervasız sayıldığını söyledi. Doğru gibi gösterilmediği sürece, korkulması için bir neden yokmuş.”

Galileo'nun stratejisi artık savlarını mutlak doğruluk iddiasında bulunmaksızın varsayım olarak sunmaktı. Başvurduğu edebi araç diyalogdu. Kopernik ve Aristoteles sistemlerinin üstünlüklerini tartışacak üç karakter yarattı ama görünüşte tartışma bir sonuca bağlanmayacaktı. Karakterlerden ikisine öbür dünyaya göçmüş Floransalı ve Venedikli dostlarının sevgi dolu anısına Gianfrancesco Sagredo ile Filippo Salviati adlarını vermişti. Diyalogda Salviati aslında Galileo'yu dile getirir, Sagredo da bilim dünyası dışından zeki bir adamı temsil eder. Üçüncü karakter bir Aristotelesçi'dir ve Galileo'nun kalemi ona Simplicio [Yalınç] adını yakışık bulur.

Tam adı *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (İki Büyük Dünya Sistemi Üzerine Konuşmalar) olan diyalog, Galileo'yu 1624'ten 1629'a kadar aralıkla beş yıl meşgul etti. Sonunda çalışma 1629'da yayına hazır hale geldi ve Galileo kilisenin onayını çabuklaştırmak için Roma'ya gitti. Urbanus'la görüştü ve buluşmadan ciddi engeller olmadığı kanısına varmış olarak ayrıldı.

Derken tehlike çanları çalan bazı gelişmeler oldu. Önce Cesi öldü. Galileo *Dialogo*'nun Cesi yönetimindeki Vaşaklar Akademisi'nce yayımlanacağını ummuş ve Roma'daki koruyucusu olarak Cesi'ye bel bağlamıştı. Cesi'nin ölümüyle birlikte, Galileo nereye başvuracağını bilemez duruma düştü. Daha da ciddi bir tehlike işareti Castelli'nin acil bir mektup göndererek, ona *Dialogo*'yu olabildiğince erken Floransa'da yayımlama tavsiyesinde bulunmasıydı. Galileo kısmen o sırada hıyarcıklı veba salgını yüzünden Roma ve Floransa arasında kopukluk olması nedeniyle bunu kabul etti. Salgının ortasında Floransa'da bir matbaacı bul-

du ve kitabı basma işi tamamlandı. Ama kilise onayı iki yıl boyunca verilmedi, bu gecikmenin sonunda yayımlanan *Dialogo*'da, Roma Enkizisyonu tarafından yayımlanmış olan önsöz ve sonuç bölümleri yer almaktaydı. Önceleri kitap sempatik bir ilgi gördü. Okurlar Galileo'nun diyalog formunu kullanmadaki ustalığına hayran kaldı ve çizilen karakterleri, hatta hicivli Simplicio'yu eğlenceli buldu.

Ağustos 1632'de Galileo'nun yayımcısı, Enkizisyon'dan kitabı basma ve satma işlemlerini durdurma emri aldı. Bu ani girişimin ardında Salvati ve Sagredo'nun zekice savları ile Simplicio'nun yavan karşılıklarından hoşnut kalmayan Urbanus'un gazabı yatıyordu. Hatta Simplicio'nun sözlerinde kendi görüşlerinden bazılarını bulan Urbanus, kitabı değerlendirmek üzere yeğeni Kardinal Francesco Barberini'nin başkanlık ettiği bir komite atadı. Eylülde komite raporunu Urbanus'a sundu ve konu Enkizisyon'a havale edildi.

Yargılama

Galileo'nun bir kez daha ağır hasta düşmesi ve veba salgınının geri gelmesi gibi nedenlerin yol açtığı birçok ertelemeden sonra Galileo, Şubat 1633'te Enkizisyon huzurunda kendisini savunmak üzere Roma'ya vardı. Yargılama 12 Nisan'da başladı. Enkizisyoncular dikkatlerini Bellarmine'nin 1616'da Galileo'ya tebliğ etmiş olduğu uyarı üzerinde topladılar. Toscana'nın Roma elçisi Francesco Niccolini, bağlı olduğu Floransa makamına durumu şöyle aktarıyordu: "Burada asıl güçlük şu: Bu beyler [enkizisyoncular] 1616'da ona [Galileo'ya] Dünya'nın hareketini tartışmama ve konuşmama emrinin verildiğini ileri sürüyorlar. Buna karşılık onun söylediği ise, uyarı şartlarının öyle olmadığı yönünde. Öğretinin benimsenmemesi ya da savunulmaması gerektiği bildirilmiş yalnızca. Kendisini haklı çıkaracak gerekçeleri olduğunu düşünüyor, çünkü kitabında öğretiyi benimsediğine ya da savunduğuna ya da bunu çözüme bağlanmış bir sorun saydığına işaret eden hiçbir şey yokmuş." Galileo kanıt olarak Bellarmine'den gelen ve enkizisyoncuların uyarıya ilişkin yorumunun geçerli olmadığına dair iddiasını destekleyen bir mektup sundu.

Her iki tarafın kanıtlarının ağırlığını tartışan tarihçiler, tamamen hukuksal bir temelden hareketle Galileo'nun daha güçlü konumda olduğu sonucuna varmışlardır. (Başka şeylerin yanı sıra, 1616 uyarısı imzalanmış ya da tanıklar huzurunda bildirilmiş değildi.) Ancak enkizisyoncular için beraat kararı vermek gibi bir seçenek yoktu. Makul gibi görünen bir uzlaşma yolunu önerdiler: Galileo hatalı olduğunu itiraf edecek, bir savunma sunacak ve hafif bir ceza alacaktı. Galileo buna razı olarak boyun eğdi. Ama 22 Haziran'da açıklanan ceza, onun beklediğinden çok daha ağırdı: Eseri *Yasak Kitaplar Listesi* kapsamına alındı ve kendisi de ömür boyu hapse mahkûm edildi.

Son Perde

Galileo'nun dostları her zaman düşmanlarından sayıca çok daha fazlaydı. Düşmanları tarafından alt edilmesi üzerine, dostları bu hasarı onarmak için öne atıldılar. Elçi Niccolini hapis cezasının Siena Başpiskoposu Ascanio Piccolomi-

ni'nin yanında gözetime çevrilmesini sağladı. Galileo'nun "zindan"ı başpiskoposun Siena'daki sarayı oldu, burası ona saygılarını bildirmek için gelen şairlerin, bilginlerin ve müzisyenlerin uğrağı haline geldi. Zamanla zihnini tekrar bilim sorunlarına, teolojik dikenli tellere takılmayacak konulara çevirdi. "İki yeni bilim" üzerine bir diyalog tasarladı. Bu eser doğal hareket (yeni bir bilim) üzerine çalışmalarını özetleyecek ve maddelerin gücüyle (diğer yeni bilim) ilişkili problemleri ele alacaktı. Eserdeki üç konuşmacı yine Salviati, Sagredo ve Simplicio adlarını taşıyacaktı ama bu sefer yazarın üç çağını temsil edecekti: Salviati yaşlı bilge Galileo, Sagredo Padova'daki orta yaşlı Galileo, Simplicio ise genç Galileo.

Ama Galileo'nun Siena'da kalması mümkün değildi. Floransa yakınındaki Arcetri kasabasının St. Mattias Manastırı'nda Rahibe Maria Celeste adıyla kalan kızı Virginia'dan aldığı mektuplar gömülü anılarını canlandırdı. Virginia'ya ve yine manastırda rahibe olan diğer kızı Livia'ya yakın olmak amacıyla Arcetri'de bir villa almıştı. Arcetri'ye dönüş izni için papaya başvurdu. Sonunda ricası kabul edildi ama izin ancak Maria Celeste'nin ağır hasta olduğu haberinin gelmesinden ve daha da önemlisi papa casuslarının sapkın adama Siena'da çektirilen rahat "ceza"nın işlediğı suça uygun düşmediğini rapor etmesinden sonra verilmışti. Papalık fermanı, Galileo'nun villasına dönmesini ve orada ev hapsi altında tutulmasını öngörüyordu.

Galileo 1633 sonlarında Arcetri'ye yerleşti ve birkaç ay kadar hasta yatağındaki Virginia'ya baktı. Bir türlü toparlanamayan kızı 1634 ilkbaharında öldü. Bu olay Galileo için neredeyse son darbe oldu. Ama bir kez daha avuntuyu çalışmada buldu. Üç yıl boyunca *Discorsi e dimastrazioni mathematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica* (Mekanikle İlgili İki Yeni Bilim Üzerine Söylevler ve Matematiksel Kanıtlar) üzerinde yoğunlaştı. Son şaheseri olan bu çalışma 1637'de tamamlandı ve 1638'de (yazma metnin gizlice İtalya dışına çıkarılmasıyla Felemenk'te) yayımlandı. O sırada Galileo artık kör olmuştu. Urbanus onun tıbbi tedavi için Floransa'ya kısa bir yolculuk yapmasına ancak kerhen izin verdi.

Gelgelelim, çektiğı bütün sıkıntılara rağmen, Galileo inancını asla kaybetmedi. "Hem bir Katolik hem de bir bilim adamı olarak Galileo'nun vicdanı rahattı" diye yazar, çağdaş bilim tarihçilerinden Stillman Drake. "Bir keresinde, neredeyse umutlarını yitirmiş olmanın etkisiyle içinden bütün eserlerini yakma duygusunun geçtiğini yazmıştı ama inancına sırt çevirme gibi bir düşünceye asla bu düzeyde kapılmadı. Kilise Galileo'ya sırt çevirdi ve bunu yapmakla epey sıkıntıya girdi. Galileo bundan dolayı yalnızca kilise içinde yanlış fikirlere saplanıp kalmış bazı kişileri suçladı."

Metotlar

Galileo'nun matematiksel donanımı ilkeldi. Günümüzde hiç düşünmeden doğru saydığımız matematiksel metotların çoğu Galileo'nun döneminde henüz bulunmamış ya da güvenilir bir kullanıma kavuşmamıştı. Galileo cebirsel sembollerini ya da denklemleri, ayrıca tanjantlar dışında trigonometri kavramlarını

hiç kullanmadı. Sayılarını ifade etme biçimi hep artı tam sayılardı, ondalık sayılara hiç başvurmadı. Daha sonları Newton ile Gottfried Leibniz'in bulduğu kalkülsten yararlanma olanağı yoktu. Galileo gerekli hesapları yapmak için Eukleides'in *Stoikheia* (Elemanlar) kitabında tanımlanan biçimiyle oranları ve orantılılıkları esas aldı. Akıl yürütme tarzı büyük ölçüde geometrikti ve bu da Eukleides'ten öğrenilenlere dayanıyordu.

Galileo'nun matematiksel üslubu tekörnek ve ivmeli hareket üzerine birçok teoreminde belirgindir. Burada yalnızca birkaçı sunulmakta ve daha sonra cebir diline tercümeyle "modern" halde verilmektedir. İlk teorem tekörnek hareketle ilgilidir:

Sabit hızla tekdüzeli taşınan hareketli bir parçacık iki mesafeyi kat ettiğinde, gerekli zaman aralıkları bu mesafelerin oranına göre birbiriyle bağlantılıdır.

Bizler için (Galileo'dan farklı olarak) bu teorem $s = vt$ cebirsel denklemine dayanır. Bu denklemde s mesafeyi, v hızı, t de zamanı temsil eder. Bildik bir hesaplama bu. Örneğin, saatte altmış mil hızla ($v = 60$ mil/saat) üç saat ($t = 3$ saat) yolculuk ederseniz, aldığınız mesafe 180 mil ($s = 3 \times 60 = 180$ mil) olur. Galileo'nun teoreminde, iki mesafeyi hesaplarken, bunlara s_1 ve s_2 deriz, iki zaman için t_1 ve t_2 , aynı hız için de v sembolünü kullanırız. İki hesap şöyle olur:

$$s_1 = vt_1 \text{ ve } s_2 = vt_2$$

Bu denklemlerin iki tarafını birbirlerine böldüğümüz zaman, Galileo'nun teoremindeki oranı buluruz.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

Şimdi iki hızın eşit olmasını gerektirmeyen daha karmaşık bir teoreme bakalım:

İki parçacık eşit olmayan mesafeler boyunca tekdüze ama eşit olmayan hızlarla taşınırsa, işgal edilen zaman aralıklarının oranı hızların ters oranına göre mesafeler arasındaki oranın sonucu olur.

Bu teoremden v_1 ve v_2 diye iki farklı hız söz konusudur ve denklemler şöyledir:

$$s_1 = v_1 t_1 \text{ ve } s_2 = v_2 t_2$$

Denklemlerin iki tarafını bir kez daha birbirlerine böldüğümüz zaman, şu sonuca varırız:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1}{v_2} \frac{t_1}{t_2}$$

Teoremi kanıtlamayı tamamlamak üzere, bu denklemin her iki tarafını $\frac{v_2}{v_1}$ ile çarpalım ve şunu elde ederiz:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{s_1 \cdot v_2}{s_2 \cdot v_1}$$

Sağ tarafta yer alan değer, teoremin öngördüğü biçimde, mesafelerin doğru oranı $\frac{s_1}{s_2}$ ile hızların ters oranı $\frac{v_2}{v_1}$ değerlerinin bir sonucudur.

Bu teoremler v hızının sabit olduğunu, yani hareketin ivmeli olmadığını varsayar. Galileo'nun en önemli katkılarından biri, gerek serbest düşüş halinde gerek eğik düzlemlerden inişte tekdüze ivmeli hareketi ele almasıydı. Burada "tekdüzelik" hızın eşit zaman aralıklarında eşit miktarda değişmesi anlamına gelir. Tekdüze ivme a ile belirtilirse, t zamanı içinde v hızındaki değişim $v = at$ denkleminde göre hesaplanır. Örneğin, arabınıza $t = 10$ saniye boyunca her saniye için $a = 5$ mil/saatlik tekdüze bir hızla ivme kazandırırsanız, nihai hızınız $v = 5 \times 10 = 50$ mil/saat olur. Tekdüze a ivmesi uyarınca t zamanı içinde alınan s mesafesi $s = \frac{at^2}{2}$ şeklindeki ikinci bir denklemle hesaplanır. Bu denklem daha önce belirtilenler kadar bildik değildir. Sonraki bölümde gösterileceği üzere, kalkülüs metotlarıyla çok kolayca gerçekleştirilir.

Serbest düşüş halinde olan herhangi ağırlıktaki bir topun hareketi dikey doğrultuda, yani Dünya yüzeyine dik açılı olarak ivme kazanır. Geleneksel olarak g sembolüyle ifade edilen bu ivme hızı, Dünya'nın her yerinde yaklaşık olarak aynıdır. Serbest düşüş durumunda, $a = g$ olduğuna göre, belirtilen son iki denklem t zamanı içinde serbest düşüşte elde edilen hız için $v = gt$, alınan mesafe için ise $s = \frac{gt^2}{2}$ şeklinde olur.

Galileo $s = \frac{gt^2}{2}$ denklemini kullanmadı ama deneysel gözlemler sonunda

zamanın karesine bağlılık (t^2) kısmını buldu. Vardığı sonuç şu teoremle ifade edilir:

Durgun haldeyken tekdüze ivmeli bir hareketle düşen bir cismin kat ettiği mesafeler, bu mesafeleri alırken geçen zamanın karelerine göre birbirleriyle bağlantılıdır.

Teoremin modernleştirilmiş kanıtlaması serbest düşüş denklemini iki kez yazmakla başlar.

$$s_1 = \frac{gt_1^2}{2} \quad \text{ve} \quad s_2 = \frac{gt_2^2}{2}$$

Bu iki denklem bir araya getirildiğinde, şu sonuç elde edilir:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

Galileo tekdüze harekete ve ivmeli harekete ilişkin ayrı incelemelerinin yanı sıra, eğik atış hareketinde ikisinin bileşik bir biçimi üzerinde de durdu. Bir merminin izlediği yörüngenin parabolik olduğunu kanıtladı. Karmaşık bir geometrik metot kullanarak, herhangi bir yükseliş açısıyla yukarıya doğru fırlatılan bir merminin (sözelimi bir top mermisinin) izlediği parabolün boyutlarını hesaplamak için bir formül geliştirdi. Bu formül günümüzde böyle hesaplamalar için kullandığımız trigonometrik metoda oranla hantaldır ama aynı ölçüde doğrudur. Galileo 1°'den 89°'ye kadar yükseliş açıları için ayrıntılı bir parabol boyutları tablosunu dikkate değer bir kesinlikle hesaplayarak, metodunun yararını gösterdi.

Esas olarak Eukleides'ten alınma matematiksel metotlarının tersine, Galileo'nun deneysel metotları bize daha modern görünür. Galileo bugün kullandığımızla paralellik taşıyan ve sarkaç hareketiyle ilgili deneylerde epeyce işine yarayan bir birimler sistemi geliştirdi. *Punto* adını verdiği mesafe ölçüsü 0,094 santimetreye eşdeğerdi. Bu, bir pirinç cetvel üstünde en ince bölümlmeler arasındaki mesafeydi. Galileo zaman ölçümleri için bir kaptan saniyede yaklaşık üç sıvı onsluk bir hızla akan suyu toplayıp tarttı. Su ağırlıklarını gren (1 ons = 480 gren) olarak kaydetti ve *tempo* adını verdiği kendi zaman birimini 16 gren suyun akması için gerekli zaman şeklinde tanımladı. Saptadığı birim 1/92 saniyeye eşdeğerdi. Bu birimler Galileo'nun mesafe ve zaman ölçümlerinin her zaman büyük sayılar vermesine yetecek kadar küçüktü. Böyle bir yola başvurmak zorundaydı, çünkü matematiksel donanımında ondalık sayılar yer almıyordu, anlamlı haneleri hesaplamalarına katabilmesinin tek yolu sayıları daha büyük hale getirmesinden geçiyordu.

Geride Kalan

Galileo metafiziği fiziğin dışına çıkardı. Bu kitabın sonraki bölümlerinde dallanıp budaklanacak hikâye işte bu noktadan başladı. Stephen Hawking'in yazdığı gibi, "Galileo modern bilimin doğuşunda belki de herkesten daha fazla pay sahibiydi... Galileo insanoğlunun bu dünyanın işleyişini anlama umudunu besleyebileceğini ve dahası bunu gerçek dünyayı gözlemleyerek başarabileceğini öne süren ilk kişilerden biriydi." Mesleğin içindeki hiçbir fizikçi ve keza konuyla ilgili diğer bilimcilerin hiçbirisi, Galileo'nun bu öğüdünü tutmaksızın işinin üstesinden gelemez.

Galileo'nun özgül başarılarından birçoğuna zaten değindim. Ancak mekanik alanındaki çalışmaları bir kez daha kısaca anılmaya değerdir, çünkü en büyük halefinin yolunu açan bir zemindir bu. (Galileo, Ocak 1642'de öldü. Aynı yılın Noel Günü'nde Isaac Newton doğdu.) Galileo'nun mekaniği büyük ölçüde sabit hızla ya da sabit ivmeyle, çoğunlukla yerçekiminin ivmesiyle hareket eden

cisimlerle ilgilidir. Kanımca, onun mekaniğini belirleyen teoremler $v = gt$ ve $s = \frac{gt^2}{2}$ denklemlerine dayanır. Ama Galileo ne bunları ne de başka cebirsel

denklemleri yazmadı, sayısal hesaplarında orantılara ve orantılılığa başvurdu. Mermi hareketinin yerçekimi ivmesinin belirlediği dikey bir bileşen ile fırlatma sırasında mermiye verilen sabit bir yatay bileşenin sonucu olduğunu anladı. Böylece günümüzde “vektör” denen doğrultulu fiziksel niceliklerin yatay ve dikey bileşenlere ayrılabilceğini ilk kavrayanlardan biri oldu.

Galileo mekaniğinin günümüzde “eylemsizlik ilkesi” olarak bilinen bir başka yapı taşını önceki sayfalarda belirtmekle birlikte, öne çıkarmadım. Konuyla ilgili metinlerin birinde Galileo bunu şöyle ifade ediyordu: “Sürtünmesiz yatay düzlem boyunca atılan bir parçacığı düşünelim. Böyle bir durumda şunu biliriz ki... düzlemin sınırsız olması koşuluyla, parçacık bu düzlem boyunca tekdüze ve sürekli bir hareketle ilerleyecektir.” Bu saptama Galileo’nun temel bir idealleştirme gerçeği davranıştan soyutlamadaki dehasını yansıtır. Eğer gerçek bir topa gerçek bir yatay düzlem üstünde bir itiş verirsiniz, hareketini sonsuza kadar sürdürmeyecektir, çünkü ne top ne de düzlem kusursuz derecede düzgündür ve er ya da geç sürtünme etkilerinden dolayı top duracaktır. Galileo sürtünmenin bütün karmaşıklıklarını bir yana bırakarak, mekaniği için yararlı bir postulat elde etti. Daha sonra bu postulayı mermi hareketini incelemesine uyguladı. Bir mermi fırlatıldığı zaman, hava direncinin yokluğunda hareketinin yatay bileşeni sabit olur ve öyle kalır. Buna karşılık dikey bileşeni yerçekiminden etkilenir.

Galileo’nun mekaniğinde her ikisi de haleflerinin mekaniğinde önem kazanan kuvvet ya da enerji kavramları yoktu. Bu nicelikleri ölçme olanağı olmadığı için, onlara yalnızca nitel açıdan yer verdi. Galileo’nun hareket bilimi günümüzde “kinematik” dediğimiz dalın unsurlarından çoğunu barındırır. Kinematik, hareketi kontrol eden kuvvetleri tanımlamaksızın, bize hareketin nasıl meydana geldiğini gösterir. Newton’un mekaniğinde olduğu gibi kuvvetler katıldığı zaman, kinematik artık “dinamik”e dönüşür.

Galileo’nun mekanik bilimine bu özgül katkılarının hepsi, Newton ve halefleri için temel öneme sahipti. Ama diğer bütün katkılarını aşan nokta, Galileo’nun bir bilimsel teorisinin başarısının ya da başarısızlığının gözlemlere ve ölçümlere bağlı olduğu konusunda sarsılmaz bir tavırla ısrar etmesiydi. Stillman Drake bizi Galileo’nun bilimsel katkılarına ilişkin şu keskin sinopsisle başbaşa bırakıyor: “Galileo doğduğunda, iki bin yıllık fizik, gerçek hareketleri kabaca ölçme seviyesine bile varmamıştı. Her bilimin tarihinin ölçümü ilk kez kullandığı aşamaya kadar inen bir süreklilik göstermesi, ondan önce ise metafizik dışında hiçbir köke dayanmaması çarpıcı bir olgudur. Bu durum Galileo’nun elinden geldiği kadar metafizikten uzak tutmaya çalıştığı bilim anlayışının kendi dönemindeki neredeyse her filozofun sert muhalefetiyle niçin karşılaştığını açıklıyor. Bu noktaya ise Galileo’nun elinde bulunan ya da geliştirmeyi başardığı araçlarla mümkün olduğunca titiz bir kesinlikle yaptığı ölçümler sayesinde ulaşıldı.”

Saplantılı Bir Adam Isaac Newton



Sürekli Düşünme

İlcrî yaşlarında Isaac Newton'a evrensel kütleçekimi teorisine nasıl vardığı sorulduğunda, "Sürekli üzerinde düşünerek" diye doğrucu bir karşılık vermişti. Newton için "sürekli düşünme" neredeyse fani kudretin ötesindeydi. Başkalarının sevişirken tattığı bir tutku ve esrimeyle kendisini çalışmalarına kaptırabilirdi. Çalışmasının amacı bir saplantıya dönüşerek onu hiç durmamacasına sarıp avcuna alabilir, aç ve uykusuz bırakarak bitkinliğin ötesine, bedensel çöküşün eşiğine kadar götürebilirdi.

Newton'un esrik haliyle yaşadığı dünya uçsuz bucaksızdı. Onun bu yüzyıldaki önde gelen biyografi yazarı Richard Westfall, bu "düşünce dünyası"nı şöyle tasvir eder: "Çok uzakta kalmış haliyle, Newton'un düşünsel hayatı insan: hayaline sığmayacak kadar zengin görünür. Matematiksel fizikten simyaya kadar uzanan bir yolculukla çeşitli bakış açılarından keşfe çıktığı doğa felsefesinin [bilim] tamamını kuckladığı söylene yeridir. Doğa felsefesi içinde optiğe, mekaniğe ve gök cisimleri dinamiğine yeni bir doğrultu verdi ve modern bilimin ilk kez kendisinin açtığı yollarda daha ileri keşiflerde bulunmasına olanak veren matematiksel aracı [kalkülüs] yarattı. Ayrıca Tanrı'nın zihnini ve ahit kehanetlerinde sunulan biçimiyle dünya ve insanoğlu için öngördüğü ebedi tasarının içyüzünü çözmeye çalıştı."

Ama nihayetinde Newton insandı. Bir araştırmaya dönük tutkusunun söndüğü ve çalışmalarını derli toplu hale getirip yayımlamaksızın bir başka büyük temaya daldığı olurdu. "Kafasını taktığı şeyi sürekli düşünürdü, demem o ki yalnız

ca ya da neredeyse yalnızca onu düşünürdü” diye devam eder Westfall ama “meslek hayatı bölük pörçük geçti.” Tutarlı bir bütün oluşturmak için, Newton kimi zaman bir konuya on yıllara varan bir dönem boyunca birkaç sefer döndü.

Woolsthorpe

Newton 1642 Noel’inde Lincolnshire ilinin Colsterworth köyüne yakın Woolsthorpe Çiftliği’nde doğdu. Cambridge’in yüz kilometre kuzeybatısındaki bu köy Londra’ya da yüz altmış kilometre uzaktaydı. Aynı adı taşıyan babası, doğumundan üç ay önce ölmüştü. Yetim çocuk üç yıl kadar annesi Hannah’la birlikte yaşadı. Hannah 1646’da North Witham’ın yaşlı papazı Barnabas Smith’le evlendi ve yakındaki papazlık konutuna taşınarak, küçük Isaac’ı Woolsthorpe’da dedesi ve ninesi James ve Mary Ayscough’un yanında bıraktı. Smith on yedinci yüzyıl standartlarına göre varlıklıydı ve Ayscough çiftine yüklenen külfeti Woolsthorpe’daki geniş çaplı tamiratın masraflarını karşılayarak telafi etti.

Anlaşıldığı kadarıyla Newton’un üvey babasına, nine ve dedesine, üvey kız kardeşlerine ve erkek kardeşine, hatta annesine karşı pek az sevgisi vardı. Nitekim, Woolsthorpe’dan ayrılıp Cambridge’e giderken kendince yazıya döktüğü bir günah çıkarmada, “anneme karşı hırçınlığım”, “kızkardeşimle didişmem”, “kızkardeşimi yumruklamam”, “birçok kişiyi dövmem”, “Smith babamı ve annemi yakma ve evlerini başlarına yıkına tehdidini savurmam”, “keşke ölseydim demem ve içimden bazılarını bunu dilemem” ifadeleri yer alır.

Barnabas Smith 1653’te ölünce, Hannah ondan olan üç çocuğuyla Woolsthorpe’a döndü. İki yıl sonra Isaac çiftliğe on kilometre uzak olan Grantham’daki ortaokula yazıldı. Orada dehasının belirtileri uç verdi ama bu süreç derslerde başlamadı. Günümüz okullarında bilimsel istidat çoğu zaman önce matematiğe dönük olağanüstü yatkınlıkla göze çarpar. Newton’un böyle bir fırsatı olmadı. Dönemin standart İngiliz ortaokul ve lise müfredatında matematiğe neredeyse hiç yer verilmezdi. Newton bunun yerine hayret uyandırıcı mekanik dehasını sergiledi. İlk biyografisini yazan William Stukely, yel değirmeninin nasıl yapıldığını çarçabuk kavradığını ve çalışan bir maket kurduğunu anlatır. Maket bir farenin basamaklı bir çarkta yürütülmesine dayalı almalı bir güç kaynağıyla donatılmıştı. Newton ayrıca bir manivelayı çevirerek sürülebilir bir araba inşa etti. “Kıvrılmış kâğıt”tan fanuslar yaparak, bunları uçurtma kuyruklarına taktı. Stukely’nin aktardığına göre, bu tehlikeli gösteri “civardaki bütün sakinleri bir süre merak dolu bir korkuya sürükledi ve pazarın kurulduğu günlerde kır insanların bira kupalarını kafaya dikerken koyuldukları sohbetlere epeyce konu oldu.”

Newton’un okul dersleri dışındaki bir başka önemli ilgi alanı, anılarda yalnızca “Bay Clark” adıyla kalan yerel eczacının dükkânıydı. Clark ailesinin yanında kalan Newton bu dükkânla içli dışlı hale geldi. Raflardaki kimyasal madde şişelerinin ve bunlardan yapılan ilaç karışımlarının uyandırdığı merak, onun daha sonraları kimyaya ve onun da ötesine geçerek simyaya ilgi duymasına katkıda bulundu.

Normal ortaöğrenim derslerini tamamlamasıyla birlikte, Newton bir yol ay-

rımına geldi. Hannah onun artık babasının yolunu izleyerek Woolsthorpe arazisini çekip çevirmesi gerektiği kanısındaydı. Bu iş için daha fazla eğitime ihtiyaç olmadığına direterek, oğlunu eve çağırdı. Ancak Newton'un zekâsındaki parlak ışıltı dikkati çekmişti. Hannah'ın Cambridge'de okumuş olan kardeşi William Ayscough ile Grantham okul müdürü John Stokes, inandırıcı konuşmalarıyla Newton'un yardımına yetiştiler ve Hannah'ın yumuşamasını sağladılar. Kabına sığmayan oğluyla evde dokuz ay geçirdikten sonra, Hannah onun çiftliği idare etmeye uygun olmadığını kuşkuyla yer bırakmayacak biçimde gördü. Bu karara varmasında muhtemelen Stokes'un Grantham dışındaki öğrencilerden genellikle alınan kırk şilinlik harçtan vazgeçmeye razı olmasının da payı vardı. Böylece sıkıntılı durumu aşan Newton 1660'ta Grantham'a döndü ve Cambridge için hazırlanmaya başladı.

Cambridge

Newton, Haziran 1661'de Cambridge Üniversitesi'ne bağlı Trinity College'a "ast yamak" olarak girdi. Bu deyiş hizmet işleri karşılığında yurt bedelinden ve öğrenim harcından bağışık tutulan öğrenciler için kullanılıyordu. Cambridge sosyal hiyerarşisinde yamaklar ve ast yamaklar en düşük düzeydeydi. Besbelli ki Hannah Smith maddi bakımdan oğluna daha iyi olanaklar sağlayabilecek güçteydi ama bazı nedenlerle (büyük ihtimalle pintiliği yüzünden) böyle bir masraf a girmeme yoluna gitti.

Bir ast yamak olmanın getirdiği düşük statü ve zaten içe kapanma eğiliminin bir hayli gelişmiş olması nedeniyle, Newton öğrenci arkadaşlarından, rehber öğretmeninden ve (ağırlıklı olarak Aristoteles'e dayanan) Cambridge müfredatının büyük kısmından uzak durdu. Muhtemelen çok az pişmanlık duyacağı bir tavırla, kendi bildiği yolda gitti. Düşünsel gelişim seyrini bir "Felsefe Defteri"nde yazıya dökmeye başladı. Bu defterin Latince *Quaestiones quaedam philosophicam* (Belirli Felsefi Sorunlar) başlığını taşıyan bölümünde, sınırsız merakını çeken birçok konuyu sıraladı ve notlar düştü. Değindiği konulardan bazıları eften püftendi ama bazıları, özellikle de "Hareket" ve "Renkler" başlığı altındaki notlar çok uzundu ve daha sonraki önemli çalışmalarına kaynak olacak nitelikteydi.

Cambridge'de yaklaşık bir yıl geçirdikten sonra, Newton neredeyse ilk kez matematik alanına girdi ve her zamanki gibi kendi öğrenme tarzını izledi. Kısa sürede kendi başına keşiflere girişmek üzere on yedinci yüzyılın matematiksel analiz dünyasına ayak basmasına yetecek kadar yol aldı. Bu ilk çalışmaları çok geçmeden onu kalkülüsün dayandığı temel teoremin geometrik bir gösterimini ortaya koymaya yöneltecekti.

1665 yazından başlayarak, Cambridge'teki ve İngiltere'nin başka birçok kesimindeki hayat iğrenç bir misafirin, hıyarcıklı vebanın arzu endam etmesiyle clırmadağın oldu. Yaklaşık iki yıl boyunca yüksekokullar kapalı kaldı. Newton da Woolsthorpe'a döndü. Zihninde hızla tomurcuklanmakta olan matematiğe ve clıkça felsefesine ilişkin birçok içgörüyü de yanında götürmüştü pek tabii.

Newton İngiltere'de veba salgınının kol gezdiği 1665-66 yıllarını belirli bir

sevecenlikle hatıralarında yaşatmış olan herhalde tek kişi olmalıdır. Elli yıl kadar sonra, “o günlerde icat & tasarlı Matematik & Felsefe açısından ömrümün baharını, üstelik o zamandan beri hiç erişemediğim bir güzellikte yaşadım” diye yazacaktı. Daha sonraları verilen adla bu “mucize yıllarında” fluksiyonlar metodu (kendi kalkülüs versiyonu), renkler teorisi ve kütleçekimi üzerine düşünmeye başladı. İleri yaşlarında birkaç kez ziyaretçilerine anlattığına göre, evrensel kütleçekimi fikri de Woolsthorpe bahçesinde bir elmanın düşüşünü görünce aklına gelmiş ve şöyle düşünmüştü: Yerçekimi elmayı aşağıya indirdiğine göre, daha yukarılara, Ay kadar yükseğe niçin ulaşamasın?

Bu fikirler henüz bölüm pörçüktü ama yine de köklüydü. Daha sonraları Newton'un en önemli eserinin dayandığı temellerin ayrılmaz parçalarını oluşturacaktı. “Asıl mucize” diyor Westfall, “genç bir adamın bu inanılmaz çalışma programına kişisel düzeyde girerek ve uğraşını tek başına sebatla sürdürerek, bir yüzyılın kazanımını özümsemesinde ve Avrupa matematiği ile biliminde en ön safa geçmesinde yatıyor.”

Bu çapta bir deha takdir ister ama bunu her zaman görmez. Newton'un şansı yaver gitti. Lisans derecesiyle mezun olduktan sonra, Cambridge'de kalarak çalışmalarını sürdürebilmesinin tek yolu Trinity College öğretim kadrosuna seçilmesi idi. Başarı şansı zayıftı. Trinity üç yıldan beri öğretim üyesi almamıştı, yalnızca dokuz kadro dolacaktı ve çok sayıda aday vardı. Daha önceki ast yamak statüsü ve alışılmışın dışındaki öğrenim programı, Newton açısından pek lehte sayılmazdı. Ama bütün bu tersliklere rağmen, seçilen kişiler arasında yer aldı. Besbelli ki bir kollayıcısı vardı; bu da muhtemelen Grantham eczacısı Clark'ın akrabası ve kıdemli bir Trinity hocası olan Humphrey Babington'du.

Newton “ast” öğretim üyeliğine seçilmesinden bir yıl sonra, lisansüstü diploması alarak “üst” öğretim üyeliğine seçildi. Ardından 1668'de, henüz yirmi yedi yaşındayken ve kolej, üniversite ve bilim hiyerarşisinde önemsiz bir konumu varken, Lucas kürsüsü matematik profesörlüğüne atandı. Bu şaşırtıcı terfide ona arka çıkan kişi Isaac Barrow'du. Lucas kürsüsünden emekli olmaya hazırlanan ve üniversite dışında daha nüfuzlu bir göreve atanmayı bekleyen Barrow, Newton'un yürüttüğü çalışmaları, ondaki cevheri anlamasına yetecek ölçüde görmüştü.

Newton'un Trinity öğretim üyeliği bir başka ciddi sıkıntıya yol açan bir şartla bağlıydı. Bu görevde kalmak için Anglikan Kilisesi'nin hükümlerine inancını düzenli olarak teyit etmek ve eninde sonunda rahiplik rütbesi almak zorundaydı. Newton teyit şartını birkaç kez yerine getirdi ama rahipliğe geçiş kuralından artık kaçamayacağı 1675'e gelindiğinde, ilahiyatla ilgili görüşleri aykırılığa, hatta sapkınlığa doğru bir yöneliş kazanmıştı. Newton 1670'lerde daldığı ilahiyat çalışmaları sonunda Üçleme öğretisini reddetme noktasına kadar vardı. Sapkınlığa giren bu görüşünü açıkça belirtmesi, kariyerinin mahvı demektir. Sapkın görüşlerini gizlemesine rağmen, Newton için rahipliğe geçiş artık mümkün değildi. Trinity hocalığı ve Cambridge'teki geleceği bir süre feci akibete uğrayacak gibi oldu.

Ama talih bir kez daha Isaac Barrow'un kişiliğinde imdadına yetişti. Camb-

ridge'ten ayrıldıktan sonra kraliyet vaizi olarak görev yapan Barrow'un sarayda iyi bağlantıları vardı. Bunları kullanarak Lucas kürsüsü profesörünü rahipliğe geçiş şartından muaf tutan bir kraliyet izninin çıkmasını sağladı. Böylece Newton'un hayatındaki bir başka evre mutlu sonla kapandı.

Muarızlar

Newton eleştiriye tahammül edemezdi ve onu eleştiren çok sayıda muarızı vardı. En önde gelen ve en etkili muarızları İngiltere'de Robert Hooke, kara Avrupa'sında ise Christiaan Huygens ve Gottfried Leibniz'di.

Hooke öteden beri Newton yanlılarının hazzetmediği biridir. Çağdaşlarından biri onu "bu dünyadaki en huysuz, en kibirli adam, yaratıcılarınca ortaya konduğu anda bütün buluşlara kendi malıymış gibi sahip çıkan, Kraliyet Bilim Derneği üyelerinden çoğunun nefret ettiği ve hakir gördüğü biri" diye nitelendirir. Çizilen bu dokundurucu karakterde bir gerçek payı olsa da, Hooke daha iyisine layıktır. Bilim alanında optiğe, mekaniğe ve hatta jeolojiye yaptığı katkılar vardı. Bir mucit olarak hüneri dillere destandı, ayrıca bir yerölçümcü ve mimardı. Kişilik bakımından Hooke ve Newton zıt kutuplardı. Hooke'un farfaracı ve dışa dönük bir kişiliği, Newton'un ise en azından yaratıcılık yıllarının büyük bölümünde ketum ve içe kapanık bir kişiliği vardı. Hooke akla yakın görünen bir fikri hemen yazıya dökmekte hiç duraksamazdı. Newton ise geliştirdiği kavramlara yıllarca ve hatta on yıllarca düşünerek biçim verirdi. Her ikisi de diğerinden etkilendiğini teslim etmeyi kendine yediremezdi. Çıkarlarının örtüşmesi halinde, amansız bir kavgaya girmeleri kaçınılmazdı.

Huygens on yedinci yüzyıl fizikçileri arasında Newton'un dengi sayılmaya en yakın kişiydi. Matematik alanında önemli katkılar yaptı. Sarkaç saatini icat etti ve yayların saat düzeneçleri olarak kullanılmasını geliştirdi. Teleskop ve mikroskopları inceleyerek, tasarımlarını geliştirici yenilikler getirdi. Mekanik alanındaki çalışmaları istatistik, hidrostatik, esnek çarpışmalar, eğik atışlı hareket, sarkaç teorisi, yerçekimi teorisi ve merkezkaç kuvvet kavramı da dahil örtük bir kuvvet kavramı gibi konuları kapsıyordu. Işığı esnek parçacıkların oluşturduğu bir mecra aracılığıyla iletilen bir dalga cepheleli biçiminde tasvir etti. Fiziğe ilişkin konularda, bu entelektüel çizelge Newton'ununkiyle çarpıcı bir benzerlik gösterir. Ancak Huygens'in kendi yüzyılının ötesindeki etkisi çok sınırlı kalırken, Newton muazzam bir etki bıraktı. Huygens'in önündeki sınırlamalardan biri, tek başına çalışması ve çok az tilmizinin olmasıydı. Yine Newton gibi, çalışmalarını yayımlamada çoğu kez duraksayan biriydi, öyle ki vardıgı sonuçlar basılı hale geldiğinde, başkaları aynı konuyu işleyerek bu alanı kapmış oluyordu. Ancak, daha da önemli nokta felsefi önyargısıydı. Doğal olguların mekanik açıklamalarının olması gerektiğine inanç konusunda René Descartes'in yolunu izledi. Newton'un evrensel kütleçekimi teorisine, matematikten başka bir şey olmadığı ve hiçbir mekanizma önermediği gerekçesiyle karşı çıkarak "saçma" diye nitelendirildi.

Newton'un kara Avrupa'sındaki diğer başlıca muarızı Leibniz, fizikçi yönün-

den çok matematikçi yönüyle hatırlanır. Huygens'in fiziği gibi, onun fiziği de mekanik felsefeyle sınırlıydı. Leibniz matematiğe iki önemli katkıda bulundu. Bunlar (Newton'dan sonra) kendi başına kalkülüsü bulması ve sembolik mantık ilkelerini erken bir aşamada geliştirmesi idi. Leibniz kalkülüsünün belirtilerinden biri günümüzde sayısız matematik ve fizik ders kitabında yer alan gösterim biçiminde görülebilir. Temel kalkülüs işlemleri diferansiyel ve entegral almaktır, bunlar da türevlerle ve entegrallerle yapılır. Leibniz'in türevlere (örn: $\frac{dy}{dx}$) ve

entegrallere (örn: $\int y dx$) ilişkin sembolleri üç yüz yılı aşkın bir süreden beri sürekli kullanılmıştır. Bilim dünyasındaki birçok meslektaşının tersine, Leibniz hiçbir zaman akademik bir mevki sahibi olmadı. Akademisyen olma dışında her türlü sıfatı kazanarak avukat, devlet adamı, diplomat ve profesyonel soyağacı uzmanı oldu, barış müzakerelerini düzenleme, kraliyet şecerelerini izleme ve hukuk reformlarını hazırlama gibi görevler üstlendi. Leibniz ve Newton daha sonraları kalkülüsü kimin ilk kez bulduğu konusunda kepazece bir kavgaya tutuştular.

Kalkülüs Dersleri

Doğal dünya sürekli, sonu gelmez bir akış içindedir. Kalkülüsün amacı bu sürekli değişimi matematiksel olarak betimlemektir. Modern fizikçilerin bakış açısıyla, kalkülüs metotları birbiriyle ilişkili iki problemi çözer. Sürekli değişimi ifade eden bir denklem verili olduğunda, değişim hızının denklemi ne olur? Tersine olarak, değişim hızının denklemi verili olduğunda, değişimin denklemi ne olur? Newton kalkülüse bu tarzda ama geometrik savlarla yaklaşmıştı: Bu savları anlamak geometri bilgisi sınırlı olanlar için sınır bozacak ölçüde zordur. Burada Newton'un karmaşık kurgulamalarından kaçınarak, ileride referans olması için daha çok modern üslupta birkaç temel kalkülüs dersi vereceğim.

Diyelim ki Pisa Kulesi'nden serbest düşen bir topun hareketini betimlemek istiyorsunuz. Burada üzerinde durulacak sürekli değişim, topun yörüngesidir ve şu denklemle ifade edilir:

$$s = \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

Bu denklemde t zamanı, s topun kule tepesinden aşağıya izlediği mesafeyi, g ise daha sonra kütleçekimi ivmesi olarak yorumlayacağımız bir sabit değeri temsil eder. Kalkülüsün uğraştığı problemlerden biri denklem (1)'den yola çıkarak, topun her andaki düşüş hızını hesaplamaktır.

Böyle bir hesaplama Leibniz sembolleriyle kolayca ifade edilir. Topun t zamanında kule tepesinden s mesafesinde olduğunu ve daha sonraki bir anda, $t + dt$ zamanında $s + ds$ mesafesinde olduğunu varsayın. Kalkülüs terminolojisinde "diferansiyeller" denen bu dt ve ds aralıkları göreceli olarak çok küçüktür. Elimizde anın başlangıcında t zamanı için denklem (1) vardır. Şimdi anın sonunda, yani

topun $s + ds$ mesafesine geldiği noktada $t + dt$ zamanına ilişkin denklemi yazalım.

$$\begin{aligned}
 s + ds &= \frac{g(t + dt)^2}{2} \\
 &= \frac{g}{2}[t^2 + 2tdt + (dt)^2] \\
 &= \frac{gt^2}{2} + gtdt + \frac{g}{2}(dt)^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

Son denklemin sol tarafında s teriminin, sağ tarafında ise $\frac{gt^2}{2}$ teriminin olduğuna dikkat edin. Bu terimler denklem (1)'e göre eşit oldukları için son denklemden silinebilirler. Bu durumda şöyle bir denklem çıkar:

$$ds = gtdt + \frac{g}{2}(dt)^2 \tag{3}$$

Kalkülüsün işlerlik kazandığı alanda, dt zaman aralığı çok küçüktür ve $(dt)^2$ ondan da çok daha küçüktür. (Küçük sayıların kareleri çok daha küçük olur, sözgelimi 0,001 ve $(0,001)^2 = 0,000001$ arasında karşılaştırma bunu açıkça gösterir.) Bu bakımdan denklem (3)'te dt^2 'yi içeren terim dt 'yi içeren terimden çok daha küçüktür. Aslında öylesine küçüktür ki ihmal edilebilir ve sonunda denklem (3) şu değere iner:

$$ds = gtdt \tag{4}$$

Bu denklemin her iki tarafını dt faktörüne böldüğümüzde şu sonucu elde ederiz:

$$\frac{ds}{dt} = gt \tag{5}$$

(Her matematikçinin hemen katılacağı üzere, buradaki anlatım, kalkülüsün işleyişinin titiz bir açıklaması olmaktan uzaktır.)

Varılan sonucun basit bir fiziksel anlamı vardır. Bu şekilde topun t zamanındaki anlık hızı hesaplanır. Hızın her zaman bir mesafe aralığını bir zaman aralığına bölerek hesaplandığını hatırlayın. (Örneğin, topsabit hızla 2 saniye boyunca 10 metre düşerse, hızı $\frac{10}{2} = 5$ metre/saniye olur.) Denklem (5)'te ds ve dt anlık mesafe ve zaman aralıklarının bölünmesiyle $\frac{ds}{dt}$ anlık hızı hesaplanmış olur.

Denklem (5)'te $\frac{ds}{dt}$ oranına “türev” denir. Bir türev içeren her denklem

gibi bu denklem de “diferansiyel denklem” olarak anılır. Matematiksel fizikte diferansiyel denklemler her zaman karşımıza çıkar. Bu kitapta değinilen teorilerin çoğu temel diferansiyel denklemlere dayanır. Teorik fiziğin kurallarından biri (birkaç istisna dışında) yasalarının diferansiyel denklemlerin ortak diliyle en özlü biçimde belirtilmesidir.

Buradaki örnek bizi sürekli bir değişime ilişkin denklem (1)'den herhangi bir andaki değişimin hızına ilişkin denklem (5)'e götürmüş bulunuyor. Kalkülüs aynı zamanda bu şavı tersine çevirme ve denklem (5)'ten denklem (1)'i elde etme araçlarını sağlar. Bunun birinci adımı denklem (4)'e dönmek ve denklemin top yörüngesindeki tek bir diferansiyel basamağı, yani ds aralığını hesapladığını saptamaktır. Denklem (1)'i elde etmek için, tam yörüngeye varmamızı sağlayacak basamakların hepsini eklemeliyiz. Bu toplama bir “enteegral alma” işlemidir

ve Leibniz gösterim biçiminde uzatılmış S sembolü olan $\int$ ile ifade edilir. Denklem (4)'ün entegral alma için şunu yazarız:

$$\int ds = \int gtdt \quad (6)$$

Bunun denklem (1)'e eşdeğer olduğunu bildiğimiz için, denklem (6)'daki iki “enteegral”i değerlendirmeye yönelik kuralların şöyle olduğu sonucuna varırız:

$$\int ds = s \quad (7)$$

ve

$$\int gtdt = \frac{gt^2}{2} \quad (8)$$

Teorik fizikte entegraller ve entegral alma en az diferansiyel denklemler kadar temeldir. Teorisyenler çoğunlukla teorilerini önce diferansiyel denklemleri yazarak oluştururlar ama bu denklemler teoremin öngörülerini deneysel ve diğer gözlemlerle karşılaştırma gibi daha sonraki zorunlu uğraş için büyük ihtimalle yetersiz kalır. Dolayısıyla entegrali alınmış denklemler çoğu kez bir zorunluluktur. Asıl büyük talihsizlik başka bazı bakımlardan masum görünümlü olan diferansiyel denklemlerin entegralini almanın son derece güç olmasıdır. Bazı önemli durumlarda (Newton’u uzun yıllar uğraştıran sorun, yani Dünya, Ay ve Güneş’i kapsa-

yan birleşik sistemlere ilişkin hareket denklemlerinin entegralini alma da buna dahildir), denklemler yaklaşık değerlere başvurmadan hiç ele alınamaz.

Bir kalkülüs ders kitabına şöyle bir göz attığınızda, denklem (5)'e, entegral alma kuralları (7) ve (8)'e, düzinelerce başka kurala varmak için kullanılan diferansiyel alma kuralını açık seçik görürsünüz. Esasen kalkülüs, hesap yapmaya, özellikle de türevlerin ve diferansiyel denklemlerin devreye girdiği hesaplara yönelik bir dizgedir. Bu dizge diferansiyel alma ve entegral alma kuralları temelinde düzenlenmiştir.

Kalkülüs mekanik kavramları için kusursuz bir matematiksel bağlam sağlar.

Ele aldığımız örnekte, $\frac{ds}{dt}$ türevi bir hızı hesaplar. Herhangi bir v hızı aynı biçimde hesaplanır.

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (9)$$

Eğer hız zaman içinde değişirse, yani bir ivme söz konusuysa, bu durum v hızındaki değişim hızı, $\frac{dv}{dt}$ türevi olarak ifade edilir. İvme diferansiyel denklemi şöyle yazılır:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (10)$$

Denklemdaki a ivmeyi temsil eder. Serbest düşen top ivme kazanır, yani zaman içinde hızı artar. Bu durum denklem (5) ve denklem (9)'un bir araya getirildiği şu denklemle gösterilir:

$$v = gt \quad (11)$$

Sabit faktör g serbest düşüşün ivmesi, yani yerçekimi ivmesidir.

Burada açıklamada hep Leibniz gösterim biçimi kullanılmıştır. Newton'un kalkülüs gösterim biçimi benzerdi ama daha az kullanışlıydı. Newton zaman içindeki değişim hızlarını öne çıkardı ve bunları "fluksiyonlar" diye adlandırarak, tepede noktalı bir gösterimle ifade etti. Örneğin, Newton'un gösterim biçiminde denklem (5) şöyle bir durum alır:

$$\dot{s} = gt$$

Burada Newton'un $\frac{ds}{dt}$ için kullandığı s sembolü mesafe fluksiyonunu temsil eder. Hız fluksiyonunun $\frac{dv}{dt}$ terimini temsil eden v sembolüyle gösterildiği denklem (10) ise şöyle bir biçime bürünür:

$$a = \dot{v}$$

Optik

Newton'un bilim camiasının dikkatini çekmesini sağlayan ilk çalışma, teorik ve hatta matematiksel bir girişim değil, harika bir teknik başarı oldu: 1668'de, Lucas kürsüsü profesörlüğüne atanmasından kısa bir süre önce, bir "aynalı" teleskop. Felemenk icadından ve Galileo'nun buna kattığı yeniliklerden başlamak üzere, önceki teleskoplarda ışık mercekler aracılığıyla kırılıp odaklanıyordu. Newton'un teleskopu ise ışığı bir içbükey aynayla yansıtıp odaklıyordu. Mercekli teleskopların sınırlı bir çözülümü vardı, yüksek büyütme gücüne ulaşmak için aletin rahat kullanmayı engelleyecek kadar uzun olması gerekiyordu. (O sıralarda bazı mercekli teleskopların uzunluğu otuz metreye varıyordu ve üç yüz metrelik bir teleskopun yapımı tasarlanıyordu.) Newton'un tasarımı her iki açıdan hatırı sayılır bir gelişme sağladı.

Newton'un teleskop projesi Galileo'nunkinden daha da çarpıcıydı. Usta bir alet yapımcısını yanında çalıştıran Galileo'nun tersine hiçbir yardım almayan Newton, kendi hazırladığı bir bakır alaşımını kullanarak aynayı döküp taşıladı ve daha sonra perdahladı, boruyu, kaideyi ve donanım takımını yaptı. Ortaya çıkan ürünün boyu yalnızca on beş santimetreydi ve altı metrelik bir mercekli teleskopunkine eşdeğer olan kırk büyütme gücüne sahipti.

Newton aynalı teleskopu tarif eden ilk kişi değildi. İskoçya'nın St. Andrews Üniversitesi matematik profesörlerinden James Gregory daha önce Newton'un-kine benzer bir tasarımı yayımlamış ama bunu kurmaya yetecek kadar becerikli zanaatkarlar bulamamıştı.

Newton'un teleskopu Galileo'nunkinden aşağı kalmayan geniş bir hayranlık uyandırdı. Barrow 1671'de Kraliyet Bilim Derneği'nin seçkin doğa felsefecilerinin Londra'daki bir toplantısında teleskopu gösterdi. Derneğin sekreteri Henry Oldenburg, Newton'a bir mektup yazarak, teleskopunun "optik biliminin ve mesleğinin en tanınmış bazı mensuplarınca incelendiğini ve çok beğenildiğini" bildirdi. Newton derhal Kraliyet Bilim Derneği üyeliğine seçildi.

Aynalı teleskoptan önce Newton, optik alanına başka önemli katkılarda da bulunmuştu. Daha 1660'ların ortalarında olağan beyaz ışığın kırmızıdan başlayıp turuncu, sarı, yeşil ve mavi dizilişleriyle mora kadar uzanan saf renklerin bir bileşimi olduğunu öne süren bir teori geliştirmişti. Beyaz bir ışık demetinin tutulduğu bir prizma, bu renklerden oluşan gökkuşağını sergilemekteydi. Newton'a göre, prizma her birini farklı ölçüde kırarak saf bileşenleri ayırmaktaydı. Bu açıklama Hooke ve başkalarının savunduğu mevcut geçerli teoriye, yani ışığın en saf haliyle beyaz olduğu ve renklerin yalın beyaz ışığın değişimlere uğramasıyla ortaya çıktığı görüşüne tersti.

Newton iki prizmanın kullanıldığı bir deneyle teorisinin dayanaklarını ortaya koydu. Birinci prizma güneş ışığını alışılmış kırmızı mor yelpazeli bileşenlere ayırdı, ikinci prizmaya tutulan demette biri dışında bütün bu renklerin önü kapatıldı. Can alıcı gözlem, ikinci prizmanın bu ışıktaki hiçbir değişikliğe yol açmamasıydı. Newton'un 1666'daki gözlemine göre, "ikinci prizmadan geçerek kırılan

katıksız kırmızı ışınlar, kırmızıdan başka hiçbir renk, katıksız mavi ışınlar da maviden başka hiçbir renk vermiyordu." Prizmanın ortaya çıkardığı kırmızı ve mavi, aynı biçimde diğer renkler saf renklerdi. Saf olan renk beyaz değildi.

Newton 1671'de aynalı teleskopla elde ettiği yankı uyandırıcı başarıdan kısa bir süre sonra, Oldenburg'a bu teorisini açıklayan bir bildiri gönderdi. Bildiri Kraliyet Bilim Derneği'nin bir toplantısında okundu ve hararetle bir olumlu tepki aldı. Newton o sırada henüz tanınmayan bir bilim adamıydı, bu nedenle Oldenburg masumane bir adım daha atarak, çok yönlü ilgi alanları arasında optik de yer alan Robert Hooke'tan Newton'un teorisini yorumlamasını rica etti. Hooke bu çığır açıcı ve karmaşık bildiriye incelemeye yaklaşık üç saatlik zaman ayırdı ve Oldenburg'a Newton'un savlarının inandırıcı olmadığını bildirdi.

Bu cevap Newton'un muarızlarıyla giriştiği polemik muharebelerinden ilkinin patlak vermesine yol açtı. Newton'un ilk karşılığı ölçülü oldu. Bu tutum Hooke'u söz konusu bildiriye daha fazla kurcalamaya ve ışığın zerreye benzediği yolundaki varsayım üzerinde durmaya yöneltti. (Hooke bu noktada bir tutarsızlık yakalamıştı, çünkü Newton varsayımlardan hareket etmediğini öne sürüyordu.) Newton bir süre sessiz kaldı ve asla susmayan Hooke kendisinin Newton'dan önce bir aynalı teleskop yaptığını öne sürdü. Ardından Huygens ve Cizvit papaz Gaston Pardies tartışmaya katıldı. Görünüşte Newton'u destekleyen Huygens, "Bay Newton'un ışığa ve renklere dair teorisi bana son derece dahice geliyor" diye yazdı. Pardies ise Kraliyet Bilim Derneği'nin *Philosophical Transactions* dersisine gönderdiği bir mektupta Newton'un prizma deneyini sorguladı. Newton'un aynı dergide çıkan cevabı küçümseyiciydi. Hooke'un Oldenburg'a şikâyetinde bulunarak Newton'un tartışmayı bayağılaştırdığını bildirmesi üzerine, Oldenburg kaleme sarılıp Newton'a bir uyarı mektubu yazdı. Artık dayanamayıp harekete geçen Newton, Kraliyet Bilim Derneği'ne yazdığı uzun bir mektupta Hooke'un bütün itirazlarını çürüttü ve bu mektup *Transactions*'da yayımlandı. Bu da tartışmayı tam kapatmadı, son bir gayretle, Huygens yeniden tartışmaya katılarak, Hooke'un ortaya attıklarına benzer eleştirilerde bulundu.

Newton ve muarızlarını çıkmaza sokan tartışma birçok bakımdan küçüktü ama sonuçta önemli bir nokta etrafındaydı. Newton'un savı deneysel kanıta dayanıyordu, Hooke ve Huygens ise bu kanıtı geçerli saymaya yanaşmıyordu. Aynı yüzyılda daha önce Galileo'nun öğretmeyi umduğu bir dersti bu. Şimdi sıra Newton'daydı.

Simya ve Sapkınlık

On dokuzuncu yüzyılda yazdığı Newton biyografisinde, David Brewster okurlarını hayret verici bir keşifle şaşkınlığa uğrattı. Newton'dan kalan belgeler arasında simya üzerine geniş bir kitap, elyazmaları, laboratuvar defteri, tarif ve yazılı nüsha koleksiyonu bulunduğunu ilk kez açığa çıkardı. Nasıl olur da "böylesine güçlü bir zihin... en pespaye simya şiirlerinin kopyasını çıkaracak kadar alçaklabilir?" diye soruyordu Brewster. Newton'un simyacılık yönü üzerine bunun ötesinde söyleyeceği bir şey yoktu.

Brewster'ın bu biyografiyi yazdığı sıralarda, simya ölü ve gözden düşmüş bir uğraştı, modern kimya disiplini hızlı bir atılım içindeydi. Newton'un yaşadığı yüzyılda ise simya ve kimya arasındaki çatlak daha yeni açılıyordu ve önceki yüzyılda simya zaten kimya demektir.

Bugünün kimyacıları gibi, simyacılar da maddelerin başka maddelere dönüşmesini inceliyor, bu değişimlere yön veren kuralları ve tarifleri ortaya koyuyordu. Simyacılar için en uç nokta metallerin dönüşümüydü, kurşunu altına çevirmeye dönük kötü damgalı girişimler de buna dahildi. Dönüşüm teorisinin birçok varyasyonu ve inceltilmiş biçimi vardı ama öğretinin temel unsurlarından biri metallerin cıva ve kükürt bileşimine dayandığı inancıydı: Sıradan cıva ve kükürt değil, onlardan çıkarılan "felsefe cıvası" ve "kükürt ruhu" ilkeleri. Simyacıların hedefi bu ilkeleri doğadaki katışık cıva ve kükürten elde etmekti, bu başarıldığında, saf biçimler bir araya getirilerek istenen dönüşümler sağlanabilirdi. On yedinci yüzyılda bu program hâlâ meslek erbablarını çekecek kadar akla yakındı ve bu sanatla uğraşanların krallar arasında bile destekçi bulması mümkündü.

Simya literatürü dehşetengizdi. Yüzlerce kitap vardı (Newton'un kütüphanesi bunların 138'ini barındırıyordu) ve hepsi de simyacıların çalışmalarını rakiplerinden gizlemek için geliştirdikleri tuhaf terminolojiyle ve şifreli talimatlarla doluydu. Ancak Newton bütün bu uydurmalar ve düzmeceler yığınının altında, deneylerle desteklenmiş kapsamlı ve titiz çalışmalarla güvenilir gözlemlere dayalı bir damar bulabileceği kanısındaydı. Böylece 1669 dolaylarında simya dünyasına daldı, kaotik simya literatürünü sistemleştirmenin güçlükleriyle uğraşmaktan hemencecik haz aldı simyacıların kılı kırk yaran tariflerinin gerektirdiği laboratuvar becerilerinde ustalaştı.

Newton'un simya tutkusu neredeyse otuz yıl sürdü. Bir milyon kelimeyi aşkın tutarda yazma metin biriktirdi. Humphrey Newton adlı (akrabası olmayan) bir asistanının aktardığına göre, laboratuvarındaki simya deneyleri Newton'a "büyük tatmin ve keyif [veriyordu]... Ateş [laboratuvar fırınlarında] gece gündüz nadiren sönerdi... O belirlenmiş zamanlardaki İhtimamı, Gayreti bende insana mahsus Zanaat ve Endüstri menziline ötesinde bir şeyi amaçladığı düşüncesini uyandırır.".

Newton simyacılarla eşlik ettiği yıllarda neler öğrendi? Dönüşüm deneyleri başarıya ulaşmadı ama modern kimyanın ve fiziksel kimyanın hâlâ öğrettiği temel bir dersi kavrama noktasına vardı: Kimyasal maddelerdeki parçacıkların çekme ve itme kuvvetlerinden etkilenmesi. Newton kimyasal olguların bazılarında bir "sokulganlık ilkesi", bazılarındaysa "bir uzaklaşma çabası" bulunduğunu gördü. Bu saptama, Westfall'ın yazdığı gibi, "herhalde 17. yüzyıl kimyasının en ileri ürünü"ydü. 10. Bölüm'de ele alınacak olan modern "kimyasal cazibeler" teorisinin habercisiydi.

Newton'a göre, eritme kaplarında gördüğü çekme kuvvetleri kütleçekimi kuvvetinin bir parçasıydı. Bu iki kuvvet türünü eşdeğer saydığına ilişkin bir bulgu yoktur ama bazı yorumcular evrensel kütleçekimi kavramındaki esin kaynağının bir Lincolnshire elması değil, simyanın çok daha karmaşık dersleri olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Newton 1670'lerde sürekli incelediği ve düşündüğü bir başka konuya kapıldı. Bilimsel metinler yerine kutsal kitap metinlerine kafa yordu. İlk Kitabı Mukaddes versiyonlarında Üniteryen inancın ifade edildiği kanısına vardı. Buna göre ibadet edilmesi gerekse bile, İsa Tanrı'ya tabi konumdaydı. Newton söz konusu metnin dördüncü yüzyılda Üçleme öğretisinin ortaya atılmasıyla birlikte çarpıtıldığını gösteren tarihsel kanıtlar buldu. Üçleme karışıklığının her biçimi 17. yüzyılda sapkınlık sayılmaktaydı. Cambridge'deki öğretim üyeliğini korumak için, Newton aykırı inançlarını gizli tuttu ve daha önce de belirtildiği gibi, bu görevinin gerektirdiği rahipliğe geçiş şartından bir özel izinle kurtuldu.

Halley'nin Sorusu

Mahir bir astronom olan Edmond Halley 1684 sonbaharında Newton'a bir soru yönelmek üzere Cambridge'e gitti. Güneş ile gezegenler arasındaki kütleçekimi kuvvetinin bir ters orantılı kare yasasına bağlı olduğu sonucuna varmıştı. Newton'un daha sonra verdiği adla bu "merkezci kuvvet" ile gezegen ve Güneş merkezlerini ayıran r mesafesi arasındaki bağlantı şöyle ifade edilir:

$$\propto \frac{1}{r^2}$$

(Buradaki $\propto$ sembolünü "orantılı" diye okuyun.) Kuvvet, r 'nin iki kata çıkmasıyla $1/2^2 = 1/4$ oranında, r 'nin üç kata çıkmasıyla $1/3^2 = 1/9$ oranında artar vb. Halley'in ziyareti ve sorusu, Newton'un bir tilmizi Abraham DeMoivre tarafından daha sonraları şöyle aktarılacaktı:

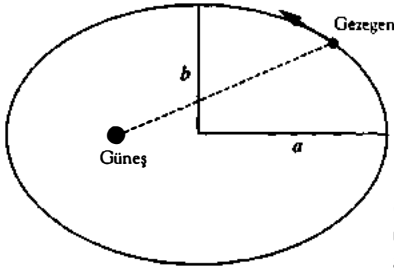
Dr. Halley 1684'te [Newton'u] ziyaret için Cambridge'e geldi. Bir süre başbaşa kaldılar. Daha sonra Dr., Güneş'e doğru çekme kuvvetinin aradaki mesafenin karesiyle ters orantılı olduğu varsayılırsa, gezegenlerin izleyeceği eğrinin biçimi konusunda ne düşündüğünü sordu. Sir Isaac anında bunun bir [elips] olacağı karşılığını verdi. Sevinç ve şaşkınlık içindeki Doktor bunu nasıl bildiğini sorunca, "bak şu işe, ben bunu daha önce hesaplamıştım" dedi. Dr. Halley'nin bu hesaplamayı hiç geciktirmeden kendisine göstermesini rica etmesi üzerine, Sir Isaac kâğıtlarını karıştırıp baktıysa da, aradığı şeyi bulamadı ama hesabı yeniden yapma ve daha sonra gönderme sözünü verdi.

Söz verilen belge birkaç ay sonra Halley'nin eline geçti. *De motu corporum in gyrum* (Yörüngedeki Cisimlerin Hareketi Üzerine) başlıklı kısa ama dikkate değer bir risaleydi bu. Halley'nin sorusuna cevap vermekle kalmıyor, aynı zamanda yeni bir gök mekaniği sisteminin ana hatlarını, Kepler'in gezegenlere özgü hareketle ilgili üç yasası için gerekli teorik temeli ortaya koyuyordu.

Kepler Yasaları

Johannes Kepler, onunla hiç görüşmemiş olsa da, Galileo'nun kuşağından-

di. 1600'de Danimarkalı büyük astronom Tycho Brahe'nin yanına asistan olarak girdi ve onun ölümü üzerine, yürüttüğü görevin yanı sıra geniş astronomik gözlemler birikimini devraldı. Tycho'nun verilerini süzerek üç büyük ampirik yasa-yı özetledi:



Çizim 2.1. Eliptik bir gezegen yörüngesi. Buradaki yörünge abartılmıştır. Gezegen yörüngelerinin çoğu daire biçimine yakındır.

1. Yörünge Yasası: Gezegenler, Güneş'in odaklarından birinde yer aldığı eliptik yörüngelerde dolanırlar.

Çizim 2.1, bir gezegen elipsinin geometrisini gösteriyor. Büyük ve küçük yarı eksenlerin a ve b boyutlarına, Güneş'in odaklardan birinde yer almasına dikkat edin.

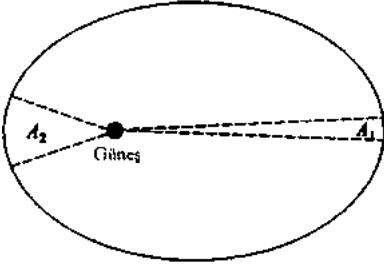
2. Eşit Alanlar Yasası: Bir gezegeni Güneş'e bağlayan doğru parçası eşit zaman aralıklarında eşit alanları tarar.

Çizim 2.2, bu yasayı açıklamak üzere, bir gezegeni Güneş'e bağlayan ışınal doğruları ve gezegenin eliptik yörüngesinin farklı kısımlarını dolanması sırasında bu doğrularla taranan alanları gösteriyor. İki alan birbirine eşittir ve gezegenin dolanımı Güneş'e yaklaştıkça hızlanır.

3. Periyotlar Yasası: Bir gezegenin Güneş etrafında dolanma periyodunun karesi, büyük yarı eksenin uzunluğunun küpüyle orantılıdır.

Bir gezegenin periyodu bütün yörüngesini dolanması için gereken süredir. Dünya için bu süre 365 gündür. Bir orantılılık biçiminde ifade edilen bu yasa, p periyodu ve a büyük yarı eksenini temsil etmek üzere, şunu öngörür:

$$p^2 \propto a^3$$



Çizim 2.2. Kepler'in eşit alanlar yasası. A_1 alanı A_2 alanına eşittir.

Halley'nin Ödülü

"Ben [bir] konuyu sürekli gözümüm önünde tutarım" diye açıklamıştı Newton bir keresinde, "ve ilk tan ağartılarının yavaş yavaş, azar azar açılarak tam ve berrak ışığa dönüşmesine kadar beklerim." Kepler yasaları öğrencilik günlerinden beri Newton'un zihnindeydi. "İlk tan ağartılarında" ters orantılı kare kuvvet yasası ile Kepler'in birinci ve ikinci yasaları arasındaki bağlantıları saptamıştı. *De motu* risalesindeyse Kepler yasalarını ve diğer astronomik gözlemleri destekleyen bütün teorik yapı "tam ve berrak bir ışık" altında artık gözüne ilişıyordu. Bir kez daha, Newton'un eseri "saplantılı bir adamın tutkulu çalışması" biçimindeydi. Başta gelen teması evrensel kütleçekimine ilişkin matematiksel teoriydi.

Önce, gök mekaniğine odaklanmayı sürdürerek *De motu*'yu gözden geçirip genişletti, ardından daha muhteşem bir hedefe, gök olgularının yanı sıra yer olgularını kapsayacak bir genel dinamiğe yöneldi. Bu girişim *De motu*'nun çok ötesine geçti ve başlığa bile yansıdı. Newton son eseri için Latince, *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri) adını seçti. Bu eser çoğunlukla *Principia* biçimindeki kısaltılmış adla anılır.

Sonunda ortaya çıktığı zaman, *Principia*, bir giriş bölümü ile üç kitaptan oluşuyordu. Giriş bölümü tanımları ve Newton'un temel hareket yasalarına dönük ilk belirlemelerini içerir. Bu temellerden yola çıkan birinci kitap, geniş ve sofistike matematiksel elemanlar kurar ve bunu dirençsiz ortamda, sözgelimi boşlukta hareket eden cisimlere uygular. İkinci kitap direnç gösteren ortamlardaki, sözgelimi bir sıvı içindeki hareketi ele alır. Üçüncü kitap da Newton'un kozmolojisini, yani "dünya sistemi"ni sunar.

Principia'nın doğup dünyaya gelmesinde Halley bir bakıma Newton kadar pay sahibidir. İlk Cambridge ziyareti Newton'a gök mekaniğindeki bitmemiş işini hatırlattı ve onu *De motu*'yu yazmaya yöneltti. Halley, Kasım 1684'te *De motu*'yu gördüğünde, ne anlama geldiğini, yani mekanik biliminde bir devrimin başlangıcı olduğunu hemen kavradı. Hiç zaman kaybetmeksizin, daha fazla teşvik vermek üzere Cambridge'e döndü. Bu teşvike hiç gerek yoktu. Newton artık tamamen yeni dinamikle meşguldü. "Ağustos 1684'ten 1686 ilkbaharına kadar" diye yazar Westfall, "[Newton'un] hayatı *Principia* dışında neredeyse bomboş geçti."

Nisan 1686'ya varıldığında, birinci ve ikinci kitaplar bitmişti. Halley bunların Kraliyet Bilim Derneği tarafından yayımlanması için bir kampanya açtı. Bir biçimde (büyük olasılıkla Halley'nin dernek yazmanlığından gelen sınırlı yetkisini aşmasıyla) üyeler bir genel toplantıda ikna oldu ve "Bay Newton'un *Philosophiae naturalis principia mathematica*'sının derhal basılmasını" öngören bir karar geçti. Yayının sorumluluğu Halley'e verildi.

Halley artık *Principia*'yı yayın yoluna koymuştu ama kasislerle dolu bir yolculuk olacaktı bu. Önce Hooke sorun çıkardı. Kütleçekimine ilişkin ters orantılı kare yasasını kendisinin bulduğu kanısındaydı ve Newton'un bunu teslim etmesini istedi. Bitmek üzere olan üçüncü kitapta, bir tür şükran borcuyla buna değinilecekti. Newton bu konuda Hooke'un önceliğini kabul etmeye yanaşmadı ve üçüncü kitabın yayımını engelleme tehdidinde bulundu. Halley henüz üçüncü kitabı görmemişti ama onsuz *Principia*'nın başsız bir gövde gibi duracağını farkındaydı. "Efendim, bizi üçüncü kitaptan mahrum etmek pahasına küskünlüğünüzü bu kadar ileri noktaya vardırmamanız için size tekrar yalvarmak zorundayım" diye yazdı Newton'a. Böylece başın kesik kalmasının önüne geçildi ve bunda Halley'nin diplomatik yakarışları belirleyici rol oynamış olabilir.

Editörlük görevlerinin yanı sıra, Halley'den *Principia*'nın yayınına mali destek bulması da istendi. Kraliyet Bilim Derneği iflasın eşiğindeydi ve Halley'nin elli sterlinlik yazman maaşını bile ödeyemeyecek durumdaydı. Gençliğinde Halley'nin hali vakti yerindeydi ama 1680'lerde artık geçindirecek bir ailesi vardı ve malvarlığı azalmıştı. *Principia* bir kumardı ve bazı yüklü finansal riskler taşıyordu.

Sonunda Halley 5 Temmuz 1687'de Newton'a bir mektup yazarak, "Kitabınızı nihayet son noktaya getirmiş bulunuyorum" haberini verdi. İlk baskı kısa sürede satıldı. Halley en azından masraflarını çıkardı ve daha da önemlisi, Newton'dan hak ettiği şu takdiri aldı: "Bu eserin yayımlanması sırasında, son derece keskin ve evrensel bilgi dağarcığına sahip Bay Edmund Halley bana yalnızca baskı hatalarını düzeltme ve geometrik şekilleri hazırlama konusunda yardımcı olmakla kalmadı, esirgemediği himmetleriyle de bu eserin yayımlanacak duruma gelmesini sağladı."

Principia

Halley'nin gönlünü alarak Newton'dan kopardığı şey bilim literatürünün en büyük başeserlerinden biridir. Ayrıca şimdiye kadar yazılmış kitaplar arasında anlaşılması en zor olanlardandır. *Principia*'daki savlar (kimi zaman kabataslak) gösterimlerle birlikte ve kuralcı bir dille sunulan önermeler biçimindedir. Önermelerden bazıları teoremlerdir, bazıları ise "problemler" diye anılan açıklayıcı hesaplamalar olarak hazırlanmıştır. Okur bütün savı kavramak için her önermenin yarattığı güçlükleri sırayla aşmak zorundadır.

Günümüzün *Principia* okurları için bir başka zahmet de Newton'un kendine has matematiksel üslubudur. Önermeler geometri diliyle belirtilip gösterilmekte ve çoğunlukla bir şekle gönderme yapılmaktadır. (Yaklaşık beş yüz sayfalık *Principia*'da 340 şekil vardır ve bunlardan bazıları son derece karmaşıktır.) Bu

bir anakronizm gibi görünmektedir. *Principia*'nın yazım aşamasında olduğu 1680'lerde, Newton kalkülüsle ilgili fluksiyon metodunu geliştirmişti. O halde, dinamik sistemini ifade etmek için, bugün yaptığımız gibi, kalkülüsü kullanma yoluna niçin gitmedi?

Kısmen estetik bir tercihin sonucuydu bu. Newton "kadim" bilginlerin, özellikle de Eukleides ve Appolonius'un geometrisini, Descartes'ın yakın dönemde ortaya koyduğu ve fluksiyon denklemlerinde çok önemli rol oynayan cebirine yeğ tutuyordu. Ona göre geometrik metot "Descartes metodundan çok daha zarıftı)... [o] sonuca cebirsel bir kalkülüs yoluyla varıyor, öyle ki (kadim bilginlerin yazılarındaki alışkanlığa uygun olarak) kelimelere döküldüğünde, bunun mide bulandıracak kadar sıkıcı ve karmaşık olduğu ve anlaşılır olmadığı ortaya çıkar."

Bir başka sorun daha vardı. Newton yirmi yıl kadar önce geliştirdiği fluksiyon dilini, çalışmalarının hiç yayımlamamış (ve bir yirmi yıl daha yayımlamayacak) olmasının getirdiği pratik nedenlerle kullanabilecek durumda değildi. Bilim tarihçisi François De Gandt bu durumu şöyle açıklar: "[*Principia*'nın] çığır açıcı karakterinin görüş ayrılıkları uyandıracak kesindi. Bu çığır açıcı karakteri matematiksel nitelikte bir başka yenilikle bir araya getirmek ve fizik alanındaki şaşırtıcı savları henüz yayımlanmamış matematik işlemlerine oturtmak, hiçbir şey elde edememe riskini taşımaktaydı."

Bu nedenle Newton, *Principia*'yı kadim geometrik üslupla yazdı ve sürekli değişimi ifade etmek gerektiğinde bazı küçük değişiklikler yaptı. Ama hedef kitlesine ulaşamadı. Newton'un çağdaşlarından yalnızca birkaçı *Principia*'yı tam anlayarak okudu ve sonraki kuşaklar bu eseri, cebir ve Newton-Leibniz kalkülüsünün bileşimi temelinde, zarafetten daha uzak olsa bile, daha şeffaf bir dile çevirdi. *Principia*'nın yazgısı, tıpkı bilim literatürünün diğer bazı başeserleri (Clausius'un termodinamik, Maxwell'in elektromanyetik alan, Boltzmann'ın gaz teorisi, Gibbs'in termodinamik ve Einstein'ın genel görelilik eserleri) gibi, okunmaktan çok hayranlık uyandırmak oldu.

Principia'nın göz korkutucu güçlüğü ayrıntılı savlarında yatar. Ana hatlarıyla, yani karmaşık geometriden ve çıldırtıcı şekillerden arındırılmış haliyle, eser çok daha rahat anlaşılır. Kitap, mekanğin en temel iki kavramının tanımıyla başlar:

Tanım 1: Madde miktarı bir araya getirilmiş haldeki yoğunluğundan ve yığılmasından çıkan ölçüyle aynıdır.

Tanım 2: Hareket miktarı bir araya getirilmiş haldeki hızdan ve madde miktarından çıkan ölçüyle aynıdır.

Newton "madde miktarı"yla bizim "kütle" dediğimiz şeyi kasteder. "Hareket miktarı" bizim terimimizle "momentum"dur. "Yığın" hacim olarak ölçülebilir. "Yoğunluk" ise birim hacim başına küttedir (kurşun sudan daha yoğundur ve su da

havadan daha yoğundur). Cebir diline çevrildiklerinde, iki tanım şu hale gelir:

$$m = \rho V \quad (12)$$

ve

$$p = mv \quad (13)$$

Burada kütle m , yoğunluk ρ , hacim V , momentum p ve hız da v sembolüyle ifade edilmektedir.

Tanımların ardından Newton'un aksiyomları, yani meşhur üç hareket yasası gelir. Bunlardan ilki Galileo'nun eylemsizlik yasasıdır:

Yasa 1: Her cisim, üzerinde etkiye yaratan kuvvetlerce bunu değiştirmeye zorlanmadığı sürece, durgun konumdaki halini ya da bir doğru hattaki tekdüze hareketini sürdürür.

İkinci hareket yasası bize kuvvet kavramı konusunda daha çok şey anlatır:

Yasa 2: Hareketin değişimi etkimedeki bulunan, harekete geçirici kuvvetle orantılıdır ve bu kuvvetin etkimeyi yarattığı doğru hattın yönündedir.

Newton "hareketin değişimi"yle momentumda $\frac{dp}{dt}$ zaman türeviyle eşdeğer olan anlık değişim hızını kasteder. Modern uygulamada kuvvet bu türev biçiminde tanımlanır ve bir f kuvvetini hesaplamaya yönelik denklem şu basit ifadeye dayanır:

$$f = \frac{dp}{dt} \quad (14)$$

Başka bir yol da p momentumunun denklem (13)'e göre değerlendirilmesidir:

$$f = \frac{d(mv)}{dt} \quad (15)$$

İlk iki yasa basit fiziksel mesajları iletir. Diyelim ki arabanız motoru kapatılmış olarak düz bir yolda yokuş aşağı iniyor. Eğer araba hiçbir dirençle (örneğin, sürtünme etkileriyle) karşılaşmazsa, Newton'un birinci yasası bize arabanın ilk momentumunda ve doğrultusunda sonsuza kadar inmeye devam edeceğini söyler. Motoru çalıştırdığınızda ve ayağınızı gaz pedalına bastığınızda, araba artık motorun kuvvetiyle sürülür ve Newton'un ikinci yasası momentumun bu kuvvete eşit

bir hızla $= \frac{dp}{dt}$ artacağını öngörür. Bir başka deyişle gaz pedalına basarak kuvveti artırırsanız, arabanın momentumu artar.

Newton'un üçüncü yasası iki cisim arasında karşılıklı olarak işleyen kuvvetler üzerindeki zorunlu bir kısıtlamayı belirtir:

Yasa 3: Her etkinin karşısına her zaman eşit bir tepki çıkar. Yani, İki cismin karşılıklı etkileri her zaman birbirine eşittir ve zıt yöndedir.

Newton yalın bir örnekle bize şunu hatırlatır: "Bir taşı parmağınızla bastırırsanız, taş da parmağınıza basar." Eğer öyle olmasa, taş yumuşak olur ve taş gibi olmaz.

Newton bu basit, anlaşılır hareket noktasından yola çıkarak, bizi yer ve gök dinamiğinde muhteşem bir geziye çıkarır. Birinci kitapta ters orantılı kareye bağlı bir merkezci kuvveti varsayar ve Kepler'in üç yasasını türetir. Yol boyunca ilerlerken (önerme 41'de), günümüzde mekanik enerji korunumu olarak bildiğimiz geniş bir kavram belirir, ancak Newton "enerji" terimini kullanmaz ve korunum temasını vurgulamaz.

Birinci kitap dirençsiz ortamda hareket eden cisimlerin (örneğin gezegenlerin) hareketini anlatır. İkinci kitapta, Newton direnç gösteren bir ortamdaki harekete ilişkin daha karmaşık soruna eğilir. Başlangıçta birinci kitabın bir parçası olarak öngörülen bu kitap bir bakıma sonradan yapılmış bir eklenti sayılır. Diğer iki kitaba göre daha az uzmancadır ve Newton'un görkemli tasarısında daha az önem taşır.

Üçüncü kitap *Principia*'yı doruğuna çıkarır. Newton burada üç hareket yasasını, daha önce geliştirilmiş olan ve çoğunlukla birinci kitapta yer alan matematiksel metotları, gezegenlere ve uydularına ilişkin astronomi gözlemlerinden çıkan mevcut ampirik ham malzemeleri esas alarak kendi "dünya sistemi"ni kurar.

İlk üç önerme gezegenleri ve uydularını ters orantılı kareye bağlı merkezci kuvvetlerin kontrol ettiği eliptik yörüngelere oturtur. Böylece gezegenler Güneş'in ve uydular da bağlı oldukları gezegenlerin çevresinde döner. Bu önermeler merkezci kuvvetleri matematiksel olarak tanımlar, ama fiziksel nitelikleri konusunda hiçbir şey söylemez.

Önerme 4 bu can alıcı adımı atar. "Ay'ın Dünya'ya doğru bir çekim içinde olduğunu, her zaman doğrusal hatlı bir hareketle çekildiğini ve yerçekimi kuvveti sayesinde yörüngesinde kaldığını" belirtir. Newton "yerçekimi kuvveti"yle bir kayanın (ya da elmanın) yere düşmesine yol açan kuvveti kasteder. Önerme Ay'ın bir kaya olduğunu ve aynı biçimde yerçekimi kuvvetini tepki gösterdiğini anlatır.

Newton'un önerme 4'ü sunuş biçimi, sadeliğin bir harikasıdır. Önce, Ay yörüngesinin gözlemlenen boyutlarından hareketle, yörüngesinde kalması için Ay'ın her saniyede Dünya'ya doğru 15.009 "Paris kademi" (= 16.000 kadem) düştüğü sonucuna varır. Daha sonra, Huygens'in gözlemlediği kesin sarkaç verilerine dayanarak, Ay'ın (ya da başka bir şeyin) Dünya yüzeyine doğru saniyede 15,10 Paris kademi düşeceğini hesaplar. İki sonuç, önermenin doğruluğunu gösterecek ölçüde birbirine yakındır.

Önerme 5, basit bir yaklaşımla, Dünya ve Ay için doğru olanın Jüpiter ve Satürn ile uyduları için, Güneş ile gezegenleri için de doğru olacağını varsayar.

Nihayet, sonraki iki önermede Newton evrensel kütleçekimi yasasını açıklıkla ifade eder. Burada bazı incelikleri ve ayrıntıları atlayarak, Newton'un kütleleri m_1 ve m_2 olan iki cisim arasındaki F kütleçekimi kuvvetine ilişkin ters orantılı kare hesaplamasına eşdeğer olan cebirsel denkleme dosdoğru geçeceğiz.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (16)$$

Bu denklemde r iki cismin merkezlerini ayıran mesafe, “kütleçekimi sabiti” denen G ise evrensel bir sabit değerdir. Nötron yıldızları ve kara delikler gibi tuhaf cisimlerin söz konusu olduğu birkaç istisna dışında, bu denklem evrendeki her türlü iki cisim arasındaki ilişkide geçerlidir: Gezegenler, uydular, kuyrukluysıldızlar, yıldızlar ve galaksiler. G kütleçekimi sabiti her zaman aynı değerdedir, kütleçekimi teorisinin alameti farikasıdır. Hikâyemizin daha sonraki aşamalarında, buna her biri önemli bir teoride benzersiz yer tutan birkaç evrensel sabit değer daha katılacak.

Üçüncü kitabın geri kalan önermelerinde, Newton daha ayrıntılı problemlere yönelir. Dünya'nın biçimini hesaplar (bu hesapta ekvatorun çapı kutupların çapından biraz daha büyüktür), gelgit dalgalarına ilişkin bir teori geliştirir ve Dünya'nın farklı noktalarındaki ağırlık varyasyonlarını ortaya koymak için birkaç verilerinin nasıl kullanılacağını gösterir. Ayrıca Ay yörüngesinin karmaşıklıklarını hesaplamaya çalışmakla birlikte tam başarıya ulaşamaz, çünkü dinamik sisteminin kaçınılmaz bir sınırlılığı vardır: Bu sistem iki cismin (kütleçekimine ya da başka faktörlere bağlı) karşılıklı etkileşimini kolayca ele alır ama üç ya da daha fazla cisimle ilgili problemler için kesin çözüm sunmaz. Ay'ın yörüngesini büyük ölçüde Dünya-Ay kütleçekimi belirler ama tek etken bu değildir. Tam hesaplama “üç cisimli” bir problemidir ve Güneş'in hafif etkisini de kapsar. Üçüncü kitapta Newton Dünya-Ay probleminin ilk kez çözüldüğü ve ardından Güneş'in “düzensizlik yaratıcı” etkisinin de katılmasıyla biraz değiştirildiği yaklaşık bir hesaplama metodunu geliştirir. İzlediği strateji ardışık yaklaşıma dayanır. Bu “düzensizlik teorisi”nin zorunlu kıldığı hesaplamalar usandırıcıdır ve Newton bunları uygun kesinliğe varmaya yetecek ölçüde sürdürmeyi başaramamıştır. Hesaplamaları daha üst kesinliğe ulaştırma beklentisinin “başını ağrıttığı” yakınmasında bulunmuştur.

Principia'nın yayımlanması dikkatleri kitaptan çok Newton'a çekti. Çoğu imzasız ve yüzeysel olmak üzere, yalnızca birkaç değerlendirme yazısı çıktı. De Gandt'ın yazdığı gibi, “dönemin filozofları ve hümanistleri ile sonraki kuşaklar bu sayfaların müthiş harikaları barındırdığı kanısındaydı. Onlara Newton'un hakikati açığa çıkardığı söylenmişti ve buna inanıyorlardı... Ama *Principia* mühür-lü bir kitap olarak kalmaktan kurtulamadı.”

Opticks

Newton gençlik yıllarında renkler teorisi ve optiğin çeşitli yönleri üzerine Hooke ve başkalarıyla küçük çaplı kavgalara girdi. Polemikler sonunda onu optik konusunda neredeyse otuz yıl süren bir suskunluğa yöneltti. Gerekçesi ise “bu meselelerle ilgili Dalışmalara karışmak” istememesiydi. Onu suskunluğunu bozmaya ve optik üzerine daha önceki çalışmalarını, ayrıca bazı çarpıcı kestirimlerini yayımlamaya ikna eden şey baş hasmı Hooke’un 1703’teki ölümü olabilir. Nedeni her ne olursa olsun, Newton diğer başeseri *Opticks*’i (Optik) 1704’te yayımladı.

Opticks ve *Principia* tezat oluşturan rehberlerdir. İki kitabın farklı meşrepleri vardır ve bu durumun aslında Newton’un değişen kişiliğini yansıttığı pekâlâ söylenebilir. *Principia*, Cambridge’in akademik kuytuluğunda, *Opticks* ise Newton’un Londra’ya taşındıktan sonra girdiği toplumsal ve siyasal ortamda yazılmıştı. *Principia*’ya oranla *Opticks* daha kolay anlaşılırdır. Dili Latince değil, İngilizce’dir, okuru zorlu matematiksel savlarla sıklmaz. Newton’un haleflerinin *Opticks*’ten sıklıkla söz etmesi ama *Principia*’ya nadiren değinmesi hiç de şaşırtıcı değildir.

Newton *Opticks*’te deneysel temeller sunarken, aynı zamanda optik biliminin teorik temellerini ortaya koymaya çalışır. Işık ışınlarının ana fiziksel özelliklerini sergileyen deneyleri açıklar: Yansıma, “kırınım derecesi” (ışığın kırılma derecesi), “bükünüm” (ayrılım) ve girişim.

Newton’un sözcük dağarcığında “girişim” terimi olmasa da, günümüzde “Newton halkaları” dediğimiz olguyla girişim etkilerini açıklar. Bunu gösteren deneyde, hafif dışbükey iki prizma üst üste konur, prizmaların birbirlerine değdikleri noktaların çevresinde eşmerkezli halkalardan oluşan çarpıcı bir renk deseni ortaya çıkar..

Ayrılım etkileri dar bir güneş ışığı demetini bir iğne deliğinden geçirip bir odanın içine tutarak ve bu ışık kaynağının bir perde üstüne düşürdüğü gölgelerin kenarlarında “Paralel Saçaklar veya renkli Işık Şeritleri” bulunduğunu gözleyerek ortaya konur.

Bu optik etkiler katalogunu açıklamak amacıyla, Newton *Opticks*’te, ışık ışınlarının küçük parçacıkların izlediği yollar olduğu kavramına dayanan bir teori sunar. *Opticks*’i sonuca bağlayan “sorgular”ın birinde bunu şöyle ifade eder: “Işık Işınları parlayan Maddelerden salınan çok küçük Cisimler değil midir? Çünkü böyle Cisimler Gölgenin içine bükülmeyen doğrusal Hatlar izleyerek Ortamların içinden geçer, ki bu özellik Işık Işınlarının Doğasıdır.”

Bir başka sorguda, Newton ışık parçacıklarının belirli optik kuvvetlerden etkilendiği fikrini ileri sürer: “Cisimler bir mesafede Işığa etkide bulunarak Işınlarını büküyor mu ve de bu etki en düşük mesafede en güçlü noktaya çıkmıyor mu?”

Newton *Opticks*’te, parçacıkları ve kuvvetleri temel bileşenler biçiminde ele alarak, daha önce *Principia*’nın birinci kitabında ana hatlarını ortaya koymuş olduğu bir optik mekanik kurar. Yansıma ve kırılma olgularını optik kuvvetlerin

farklı ortamlarda farklı olduğunu, ayrılım olgusunu ise bir nesnenin yakınından geçen ışık ışınlarının daha uzaktan geçenlere oranla kuvvetlerden daha güçlü bir şekilde etkilendiğini varsayarak açıklar.

Halkaları açıklamak için, Newton ışık ışınlarının “kolay Yansıtma Nöbetleri ile... kolay İletme Nöbetleri” arasında dönüşümlü bir seyir izlediği fikrine dayanan “nöbetler” teorisini ortaya atar. Böylece ışıklara periyodiklik, yani dalga benzeri bir karakter yakıştırır. Ancak parçacık bakış açısından vazgeçmez ve böylelikle karmaşık bir ikiliğin içine düşer.

Günümüzde Newton halkalarının iki dalga dizisinin buluşmasıyla ortaya çıkan bir girişim olgusu olduğunu biliyoruz. Bu teoriyi öneren Thomas Young, *Opticks*’in yayımlanmasından yaklaşık bir yüzyıl sonra ışığa ilişkin basit bir dalga teorisinin avantajlarını ilk görenlerden biriydi. 1830’lara varıldığında, İngiltere’de Young ve Fransa’da Augustin Fresnel o sırada ışığın bilinen bütün fiziksel özelliklerinin bir dalga teorisiyle kolayca açıklanabileceğini göstermişlerdi.

Newton’un parçacık ışık teorisi bu darbeye dayanamadı. Yetmiş beş yıl boyunca parçacıklar unutuldu. Derken 1905’te Albert Einstein herkesi hayrete düşürecek biçimde konuyu yeniden gündeme getirdi. (Ne var ki, Newton’un hikâyesinin yaklaşık iki yüzyıl ilerisine atlamış oluyoruz. Bu nedenle ışık dalgalarının ve parçacıklarının garip dünyasında kapsamlı bir gezintiyi daha ileriye, Bölüm 19’a erteleyeceğim.)

Opticks’in sonundaki sorgular bize iki büyük fiziksel kavram konusunda en son nerde durduğunu gösteriyor. Sorgu 17’den sorgu 24’e kadar, Newton bizi “eter” denen evrensel ortama ilişkin bir tabloyla karşı karşıya bırakır. Optik ve kütleçekimi kuvvetlerini ileten, ışık ışınlarını taşıyan ve ısıyı aktaran bir ortamdır bu. Sorgu 18 şunu yöneltir: “Bu ortam Havaya oranla aşırı ölçüde daha ender ve anlaşılmaz, daha esnek ve aktif değil midir? Ve bütün Cisimleri kolayca sarmaz mı? Ve de (esnek kuvvetinden dolayı) bütün Gökler boyunca yayılmaz mı?” Şu ya da bu biçimiyle eter kavramı, 18. ve 19. yüzyıllarda teorisyenlerin ilgisini çeken bir konuydu. Einstein’ın ışık parçacıklarını diriltmekle kalmayıp böyle bir kavramın düpedüz gereksiz olduğunu göstermesiyle ortadan kalktı.

Sorgu 31’de Newton *Opticks*’i fizikte birleştirici kavramların en görkemlisi olarak gördüğü (ve bugün bizlerin de öyle gördüğü) atomculuğa ilişkin fikir yürütmelerle bitirir. Atomları bir başka görkemli kavramın, kuvvetler kavramının dünyasına yerleştirir: “Cisimlerdeki küçük parçacıkların yalnızca onları [parçacıklar halinde] yansıtmak, kırmak ve bükmek üzere Işık Işınlarına değil, aynı zamanda Doğa Olgularının harika bir Parçasını yaratmak üzere birbirlerine bir mesafede etkide bulunmalarını sağlayan belirli Güçleri, Hasletleri ya da Kuvvetleri yok mudur?”

Newton ayrıntılı kimya bilgileri sayesinde metal, tuz, asit, çözücü, yağ ve buhar gibi her türlü kimyasal maddeye ait parçacıklar arasındaki çekme ve itme kuvvetlerine ilişkin kanıtlar sunar. Bu parçacıkların kinetik yapıda ve yok edilemez olduğunu ileri sürer: “Bütün bu şeyler göz önünde tutulduğunda, bana öyle geliyor ki, Tanrı yaratış Gayesine en uygun biçimde yardımcı olması için Başlan-

gıçta Maddeyi çeşitli Boylara ve Biçimlere sahip katı, kütleli, sert, nüfuz edilemez, hareketli Parçacıklardan ve de Boşlukla Orantılı bir halde oluşturdu. Öylesine bir sertlik ki bunlar asla aşınmayacak veya ufalanmayacaktı. Bizzat Tanrı'nın İlk Yaratış sırasında tek olarak yaptığı şeyi hiçbir sıradan Güç bölmeyi başaramayacaktı."

Londra

Newton'un yetişkinlik döneminin iki büyük dönüm noktası vardı: 1660'ların ortalarında Lincolnshire'ın kırsal ortamından kopup Cambridge'in akademik dünyasına geçişi ve otuz yıl sonra elli dört yaşına vardığında, Cambridge'in ücra kuytuluğundan çıkıp Londra'da iyi konuma sahip bir devlet görevlisinin toplumsal ve siyasal dirliğine yöneliş. Londra'ya taşınmanın ardında muhtemelen hızla artmakta olan bir şöhretin Lucas kürsüsü profesörlüğünün sunduğundan daha büyük bir maddi ödül hak ettiği duygusu yatıyordu. Ayrıca bilim alanındaki yaratıcı çalışmaya dönük müthiş yeteneğinin artık sönmeye yüz tuttuğunun farkına varmanın da Newton'a yön verdiğini varsayabiliriz.

Newton Mart, 1696'da Cambridge'den ayrılarak Londra'ya yerleşti ve Darphane idare amiri olarak yeni bir kariyere başladı. Ona bu makamı bir süre önce maliye bakanlığına getirilen eski öğrencisi ve yakın dostu Charles Montague önermişti. Darphane amirliğini bir arpalık olarak nitelendiren Montague'ye göre, "boş zamanlarda şöyle bir görünmekten daha fazla bir iş yapmasına gerek yoktu." Ama Newton'un aklından geçen şey bu değildi. Küçük ya da büyük olsun, bir görevi o biçimde yürütmek onun karakterine uymuyordu.

Newton karmaşık bir problemle karşılaştığında her zaman yaptığına yönelerek konuyu incelemeye koyuldu. İktisat, ticaret ve finans kitapları aldı, irdeleyici sorular sordu ve yığınla not tuttu. Bunu yapması da İngiltere'nin hayrına oldu. Bağlı olduğu Darphane Müdürü Thomas Neale, o sırada Darphane'nin karşı karşıya olduğu devasa bir görevin üstesinden gelmekten çok, kendi servetini artırmanın peşinde olan bir spekülâtördü. İngiliz para birimi ve buna bağlı olarak Hazine kriz içindeydi. Dolaşımda iki tür sikke vardı: Boş bir metal plakayı kalıp üstüne koyup döverek üretilen sikkeler ve özel makinelerde basıldıkları için kenarları tırtıklı olan sikkeler. Dövmüş sikkeler kolayca taklit edilebildiği ve kırılabilirdiği için, aynı birimdeki tırtıklı sikkelerden daha değersizdi. Haliyle, dövmüş sikkeler kullanılıyor, tırtıklı sikkeler ise saklanıp biriktiriliyordu.

Bu tehlikeli sorundan kurtulmanın bir yolu olan yeniden genel sikke basımına, Newton'un Darphane'ye girişinden önce izin verilmişti. Amir olarak doğrudan sorumluluğuna giren bir konu olmamasına karşın, Newton yeniden sikke basımı sorunuyla derhal uğraşmaya girişti. Westfall'un belirttiği gibi, "[o] doğuştan idareciydi ve Darphane onun varlığının yararını sezdi." 1696 sonuna doğru, Newton'un daha görevde bir yılı doldurmasından önce, kriz kontrol altına alındı. Montague daha sonraları Newton olmaksızın yeniden sikke basımının altından kalkılamayacağını hiç tereddütsüz söyleyecekti. 1699'de Neale öldü ve sıfatı taşımamakla birlikten fiilen müdürlüğü yürüten Newton onun yerine geçti.

Newton'un kişiliği muammalarla doluydu. En derinde yatanlardan biri de kadınlara karşı tutumuydu. Anlaşıldığına göre annesiyle hiçbir zaman sıcak bir ilişkisi olmamıştı. Gençken delicesine tutulduğu ve evlenme teklifinde bulunmuş olabileceği bir sevgili dışında hayatına giren bir kadın yoktu. Catherine Barton adlı bu kadın, Newton'un üvey kardeşi Hannah Smith'in kızıydı. Babası Peter Robert Barton'un 1693'te ölmesi üzerine, 1690'ların ikinci yarısındaki bir tarihte Londra'ya giderek Newton'un yanına yerleşti. Alımlı ve güzeldi, aralarında Newton'un hamisi Charles Montague'nün de bulunduğu çok sayıda hayranı vardı. Hiç kuşkusuz Newton'un onayıyla Montague'nün metresi oldu. Bu ilişki geride cömertçe bir gelir bırakan Montague'nün ölümüne kadar sürdü. Barton'un dostlarından biri de *Journal to Stella* (Stella'ya Günlük) adlı mektuplar derlemesinde ondan sıkça söz eden Jonathan Swift'ti. Voltaire şöyle bir dedikodu yapacaktı: "Newton'un kısmetinin açılması meziyetlerindenmiş... sanırdım... Hiç de öyle değilmiş. Bakan Halifax'ı [Montague] tavlaman... çok cazibeli bir yeğeni varmış Isaac Newton'ın meğer. Fluksiyonlar ve kütleçekimi tatlı bir yeğen olmadan hiç işe yaramazdı." Montague'nün ölümünden sonra, Barton servetini İngiliz ordusunda yapmış olan John Conduitt adında varlıklı bir adamla evlendi. Bu evlilik Conduitt'in (aslında uygun görüldüğü) bir başka mesleğe rahatça geçmesini sağladı: Newton'un ilk biyografi yazarlarından biri oldu.

Newton idareci olarak iki kurumun tam felaketin eşiğinden dönmesinde hayati bir rol oynadı. Darphane'deki yeniden sikke basımı krizinden yıllar sonra, 1703'te Kraliyet Bilim Derneği'nin başkanlığına seçildi. Tıpkı görevce başladığı sıradaki Darphane gibi, Kraliyet Bilim Derneği de enerjik bir liderliğe vahim derecede muhtaçtı. 1690'ların başlarından beri başkanlar göstermelik olmanın ötesine geçmeyen aristokratlardı. Newton bu görüntüyü çarçabuk değiştirdi. Başlıca bilim dallarıyla (matematik, mekanik, astronomi ve optik, biyoloji, botanik ve kimya) ilgili toplantılarda sunum uygulamasını başlattı, derneğe yeni bir bina buldu, Halley'yi sekreterliğe getirdi ve ondan sonra da yerine diğer tilmizleri geçirdi. Derneğe yeniden saygınlık kazandırdı, ama bu saygınlığı iki kepaze tartışmada üstün çıkmak için kullanmaktan da geri kalmadı.

Kraliçe Anne 16 Nisan 1705'te Cambridge Trinity College'da Newton'a "sir" unvanı verdi. Anlaşıldığı kadarıyla bu tören Newton'un bilimsel başarıları için bir takdir nişanesi olmaktan çok, (Newton'un o sırada Parlamento'ya aday olmasından dolayı) Montague'nün siyasal amaçlarla telkin ettiği bir olaydı. Siyasal olsun ya da olmasın, bu onur Newton'un Londra'daki yıllarının doruk noktasıydı.

Başka Çekişmeler

Newton kavgacıydı ve en direşken hasmı, aynı ölçüde kavgacı olan Robert Hooke'tu. Newton hikâyesi adının karıştığı gazez dolu iki olaya değinilmezse eksik kalır. Bunların ilki astronomi verilerine ilişkin bir dalaşmaydı. Sarayın başastronomu John Flamsteed, Ay'la ilgili bir dizi gözlem yapmıştı. Newton yörünge düzensizliği teorisini doğrulamak ve arındırmak için bunlara gerek olduğu kanı-

sındaydı. Flamsteed istenen gözlemleri gönülsüzce sundu ama verileri kusurlu bulan Newton'un eleştirel görüşlerinden gücendi.

On yıl kadar sonra, Newton hâlâ teorisinden memnun değildi ve Flamsteed'in Ay verilerine ihtiyacı vardı. Artık Kraliyet Bilim Derneği başkanıydı, her zamanki tezcanlılığıyla bu konumundan yararlanarak, Flamsteed'i astronomi verilerini içerecek bir katalog yayımlamaya zorladı. Flamsteed önce direndi. Ama Kraliçe Anne'nin kocası Prens George'un desteğini arkasına alan Newton'un bastırmasıyla, çarnaçar katalog işine soyundu.

Projenin kapsamı tanımlanmamıştı. Flamsteed katalogunda, Ptolemaios'tan Hevelius'a kadar uzanan önceki astronomlara da yer vermekten yanaydı, ancak Newton'un istediği şey yalnızca kendi hesaplamaları için gerekli verilerdi. Flamsteed birkaç yıl işi yokuşa sürdü. Prens George'un ölümünden sonra, Kraliyet Bilim Derneği'nin başkanı sıfatıyla Newton astronomların gözlemleri üzerinde müstebit bir denetim kazandı. Verilerden bazıları 1712'de Halley'nin editörlüğünde *Historia coelestis* (Gök Cisimlerinin Tarihi) adıyla yayımlandı. Ne yayın, ne de editörü Flamsteed için makbuldü.

Newton savaşı değil, bir çarpışmayı kazanmıştı. Kraliçe Anne'nin 1714'te ve Montague'nün 1715'te ölmesiyle birlikte, Flamsteed'in siyasi bahtı yükselirken, Newton'ununki geriledi. Flamsteed, *Historia coelestis*'in geri kalan nüshalarını ele geçirdi ve Halley'nin katkılarını çıkarıp yakarak "Semavi Hakikat'e kurban etti." Ardından Newton'un müdahalesinden önce tasarladığı projeye döndü ve 1719'da ölmeden önce bitirmeye yakın bir noktaya vardı. Görev iki eski asistanınca tamamlandı ve 1725'te *Historia coelestis britannica* adıyla yayımlandı. Newton'a gelince, istediği verileri hiçbir zaman elde edemedi ve sırf Ay yörüngesini kesin hesaplamasının güçlüğünden dolayı sonunda yenilgiye uğradı.

Yolu Newton'la kesişen ve onunla destansı bir kavgaya tutuşan bir başka kişi Gottfried Leibniz'di. Bu sefer çekişme, bilim adamlarının en değerli fikri mülkiyet haklarından biri olan öncelik konusuyla ilgiliydi. Gerek Newton gerek Leibniz kalkülüsün buluşçusu olduğunu ileri sürüyordu.

Eğer Newton 1666'da fluksiyon metodu üzerine bir risale yayımlamış olsaydı, ortada bir anlaşmazlık olmayacaktı. Bu metodu ve aslına bakılırsa diğer matematik çalışmalarını yayımlaması için aradan kırk yıl geçmesi gerekti. Ancak Leibniz 1676'dan sonra Newton'un matematik alanındaki çalışmalarından en az kısmen haberdardı. Newton o yıl Leibniz'e iki mektup yazarak, cebir ve fluksiyonlar üzerine son araştırmalarını ana hatlarıyla aktardı. Leibniz kendi kalkülüsüne ilişkin temel kavramları 1675'te geliştirdi ve diferansiyel almayla sınırlı katabaslak bir dökümü 1684'te Newton'dan hiç söz etmeksizin yayımladı. Newton'un gözünde, bu yayın ve bu sürçme, Westfall'un deyişiyle, Leibniz'in "ilahi lütfun bile haklı göremeyeceği ilk günahıydı."

1680'ler ve 1690'lar arasında, Leibniz kendi kalkülüsünü entegral almayı da kapsayacak biçimde geliştirdi, Newton *De quadratura*'yı (*quadrature*, entegral alma için kullanılan ilk terimlerden biriydi) kaleme aldı, John Wallis de *Algebra* (Cebir) adlı eserinin ikinci cildinde fluksiyonların kısa bir açıklamasına yer ver-

di. Newton'un kol kanat gerdiği kişilerden Nicholas Fatio de Duillier 1699'da yayımladığı *Lineae brevissimi* (En Çabuk Düşüş Hattı) adlı teknik risaledc, kalkülüsün önce Newton ve daha sonra Leibniz tarafından bulunduğunu öne sürdü. Bir yıl sonra Fatio'nun *Lineae'sı* üzerine bir değerlendirme yazısında, Leibniz 1684'teki kitabının öncelik kanıtı olduğunu belirterek karşılık verdi.

Anlaşmazlığın fitili tutuşmuştu artık. Newton'un bir başka tilmizi John Keill'in Leibniz'i düpedüz aşırımacılıkla suçlaması ateşi daha da körükledi. Leibniz Kraliyet Bilim Derneği sekreteri Hans Sloane'a bir mektup yazarak, Keill'in "terbiyesizce ithamları"nı şikâyet etti. Bu durum başkan sıfatıyla Newton'a, Keill ile Leibniz'in iddialarını inceleyecek bir komite atama fırsatını verdi. Şaşırtıcı olmayan bir sonuçla, komite Newton'un lehinde bir karara vardı ve çatışma tırmandı. Newton ve Leibniz'i bir araya getirmeye yönelik çeşitli girişimler sonuçsuz kaldı. Leibniz'in 1716'daki ölümü tartışmayı soğuttu ama söndüremedi. Newton ve Leibniz yanlılarının kapişması en az elli yıl daha sürdü.

İnancılar'a Daha Yakın

Biyografi yazarları ve diğer yorumcular, Newton'un karakteri konusunda ortak bir görüşe asla varmamışlardır. Çağdaşları onu ya tamamen ilahlaştırıyor ya da tamamen canavarlaştırıyor. Üstelik görüşler büyük çapta yazarın dost ya da düşman olmasına göre belirleniyordu. On dokuzuncu yüzyıla varıldığında, göklerle çıkaran tutumun ağır basmasıyla Newton kusursuz örnek niteliğine büründü. Günümüzde canavar modeli geri geliyormuş gibi görünüyor.

Bir saptamada herhalde hiç kuşku olmamalıdır: Newton fizik dünyasının gördüğü en büyük yaratıcı dehaydı. Bu sıfatın diğer adaylarından hiçbiri (Einstein, Maxwell, Boltzmann, Gibbs ve Feynman) Newton'un teorisyen, deneyci ve matematikçi olarak elde ettiği birleşik başarıların düzeyine erişememiştir.

Newton yaratıcı dehaların benmerkezci ve eksantrik hayatlar sürmesi kuralının dışına çıkamadı. Ketumdu, içe kapanıktı, mizah duygusundan yoksundu ve aşırı namusçuydu. Eleştiriye tahammül etmezdi, kendisini eleştirenlere karşı kaba ve alçakça davranışlara girebiliyordu. Hayatı boyunca nevrozluymuş ve en azından bir kez asap bozukluğuna kapıldı.

Ama hiç de canavar değildi. Küçük büyük demeden meslektaşlarına ve muhtaç akrabalarına yardım eli uzatmaktan kaçınmazdı. Tartışmalarda karşısındakinden daha fazla ağızını bozmazdı. Hiç evlenmedi ama Catherine Barton'a düşkünlüğünün de gösterdiği gibi, kadın düşmanı değildi. Akademisyen arkadaşlarına pek hayranlık beslemediği Cambridge'de, elini eteğini dünyadan çekmişti. Ama Londra'nın daha canlı fikri ortamında hayatın tadını çıkarmasını bildi.

Eğer zaman içinde yolculuk ederek Newton'la 17. yüzyılda karşılaşmanız mümkün olsaydı, onu önce ortalıkta görünmeyerek herkesin sabrını tüketen ve daha sonra sahneye çıkıp melek civıltısıyla şarkı söyleyen bir sanatçıya benzetebiliriniz. Tatlı nağmelere duyulan aşırı hayranlık, daha önceki sevimsiz davranış bağışlatır. Newton'un davranışlarını herkes kadar yakından bilen Halley, *Principia*'nın önsözünde Newton'a yönelik bir methiyede, "hiçbir fani Tanrılar'a

yaklaşamaz” diye yazmıştı. Bir teorisyen olarak hiç kuşkusuz Newton’la aynı ayar-
da (ve de kusursuzluktan uzak) olan Albert Einstein, *Opticks*’in bir baskısına yaz-
dığı önsözde Newton’u şöyle değerlendirir:

Talihli Newton, bilimin mutlu çocukluğu! Zamanı ve huzuru olanlar bu kitabı okuyarak, gençlik günlerinde büyük Newton’un başından geçen harika olayları tekrar yaşayabilir. Onun için doğa, harflerini hiç zorlanmadan okuyabildiği açık bir kitaptı. Deneyim malzemesini düzene koymak için kullandığı kavramlaştırmalar bizzat yaşantının içinden, tıpkı oyuncaklar gibi sıraya koyduğu ve sevecen bir ayrıntı zenginliğiyle anlattığı güzel deneylerden sanki kendiliğinden akıp geliyor gibiydi. O, tek bir kişide deneyciyi, teorisyeni, makinisti ve açıklayıcılığıyla onlardan aşağı kalmayan sanatçıyı birleştirmişti. Karşımızda güçlü, kendinden emin ve tek başına durur: Yaratıcılıktan aldığı keyif ve ince titizliği her kelimesinde ve her şeklinde belirgindir.

TERMODİNAMİK

Tarihsel Sinopsis

Tarihimizin yapraklarını şimdi, hareketin bilimi mekanikten ısıнын bilimi termodinamiğe çeviriyoruz. Isı teorisi ancak ısıнын “kalorik” denen ağırlıksız bir sıvı olarak görüldüğü 18. yüzyıl sonlarında nicel bir bilim niteliğine büründü. Sıvı benzetmesini çağrıştıran şey, ısıнын yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa doğru “akış” izlenimini vermesiydi. On sekizinci yüzyıl mühendisleri akıllıca tasarlanmış makinelerle, bu ısı akışının yararlı iş çıktısı elde etmek üzere bir “ısı makinesi”nde kullanılabileceğini biliyorlardı.

Kalorik teorisinin temel dayanağı ısıнын “korunurluğu”, yani vardan yok ve yoktan var edilemez olmasıydı. Bu varsayım ısı teorisi öncülerinin, bu arada ısı makinesi çalışmalarıyla termodinamik hikâyemizi başlatan Sadi Carnot’nun epeyce işine yaradı. Gelgelelim, ısı korunumu öğretisi 1840’larda Robert Mayer, James Joule, Hermann Helmholtz ve başkalarının saldırılarına hedef oldu. Onların eleştirileri kalorik teorisinin sonunu getirdi ama yeni bir teorisin kurulmasına çok az rehberlik etti.

Zamanla termodinamik adı verilen yeni ısı biliminin esaslarını geliştirme görevi 1850’lerde William Thomson ve Rudolf Clausius’a düştü. Onların teorisinin temel bileşenlerinden biri, her türlü sistemin Thomson tarafından “enerji” olarak nitelendirilen içkin bir özellik taşıdığı kavramıydı. Thomson’a göre bu özellik sistemdeki moleküllerin rasgele hareketiyle bir biçimde bağlantılıydı. Thomson bu molekül yorumunu arındıramadı, çünkü 19. yüzyıl ortalarında moleküllerin yapısı ve davranışı, hatta varlığı tartışmalıydı. Ama bir sistemin ısısının değil, enerjisinin korunduğunu görebildi ve vardığı bu sonucu basit bir diferansiyel denklemle ifade etti.

Modern termodinamikte enerjinin “entropi” denen eşit bir ortağı vardır. Entropi kavramını ortaya atan ve adını koyan Clausius’tu, ancak temel önemi ni kavrama konusunda ikircikliydi. İkinci bir basit diferansiyel denklemle entropinin ısı ve sıcaklıkla nasıl bağlantılı olduğunu gösterdi ve günümüzde ter-

modinamiğin ikinci yasası olarak bilinen şu saptamayı yaptı: Yalıtılmış bir sistemde entropi maksimum değere çıkar. Ne var ki, Clausius daha ileriye gitmekte duraksadı. Molekül hipotezinin şüpheli statüsü bir kez daha endişe kaynağı olmuştu.

Termodinamik, Willard Gibbs'le kendi Newton'unu buldu. Clausius gibi tereddüde düşmeyen Gibbs, enerji-entropi ortaklığını gördü ve buna kimyasal değişimi incelemeye büyük bir yararı dokunan, "kimyasal potansiyel" kavramını ekledi. Mevcut sınırlı deneysel sonuçların rehberliğine pek başvurmaksızın, bu dizgesini uzun bir liste oluşturan bir dizi farklı olguya uyguladı. Gibbs termodinamik üzerine bir şaheser niteliğini taşıyan uzun ama özlü broşürünü 1870'lerde yayımladı.

Gibbs'in broşürü Clausius ve Thomson'un peşine düştüğü ısı teorisinin çok ötesine geçen teorik ufuklar açtı. Çok yönlü mesajlarının anlaşılmasıyla (ya da yeniden akla gelmesiyle) birlikte, yeni diyarlarda keşfe çıkıldı. Bu kâşiflerden biri kimyasal cazibeye ya da ilgiye, yani kimyasal tepkimelere yön veren kuvvete ilişkin bir teori arayışında olan Walther Nernst'ti. Düşük sıcaklık fiziği ve kimyası alanında dolambaçlı yolları aşan Nernst sonunda teorisini kurdu.

İki Devrimin Hikâyesi

Sadi Carnot



Düşünceler

Termodinamiğin hikâyesi 1824'te Paris'te başlar. Fransa savaş, devrim ve diktatörlükle geçen otuz beş yıl içinde temellerine kadar sarsılmıştı. Bir kral idam edilmiş, çeşitli anayasalar yazılmış, Napolyon iki kez iktidara gelip gitmiş ve monarşi iki kez geri getirilmişti. Napolyon muzaffer ordularının başında Avrupa ülkelerini boydan boya geçmiş ve ardından faciayla biten Rusya seferine girişmişti. Fransa istila edilerek işgal altına alınmış ve yüklü bir savaş tazminatı ödemişti.

İşte bu toplumsal, askeri ve siyasal kargaşa ortamında doğan genç bir askeri mühendis 1824'te teknik nitelikte bir çalışma raporu yayımladı. Mühendisin adı Sadi Carnot'ydu ve kitabı da *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (Ateşin Hareket Ettirici Gücü ve Bu Gücü Açığa Çıkaran Makineler Üzerine Düşünceler) başlığını taşıyordu. "Hareket ettirici güç"le işi ya da iş yapma düzeyini kastediyordu, "ateş" de ısı için kullandığı terimdi. Amacı daha önce hayallerin ucundan bile geçmemiş olan bir problemi çözmekti. Isı girdisinden iş çıktısı sağlayan buhar makinelerinin ve ısı makinesi aygıtlarının genel işleyiş ilkelerini açığa çıkarmayı umuyordu. Bu hedefine tam ulaşamadı ve yayımlandığı dönemde çalışmaları büyük ölçüde gözardı edildi ama yirmi yılı aşkın bir süre geçince yeniden keşfedilen bu kitap, termodinamik alanında daha sonraki çalışmaların başlıca esin kaynağı oldu.

Lazare Carnot

Hep dönemin bilim dünyasının kıyılarında çalışmasına rağmen, Sadi Car-

not diğer yönleriyle gölgede kalmayan bir hayat sürdü. Babası Lazare 18. yüzyıl sonlarında ve 19. yüzyıl başlarında Fransa'nın en nüfuzlu adamlarından biriydi. Sadi, babasının beş kişilik yürütme organı Direktuvar'ın üyesi olduğu 1796'da Paris'teki Luxembourg Sarayı'nda doğdu. Lazare Carnot yüksek mevkilerde yalnızca dört yıl görev yaptı ama siyasal başarıları ve siyasetteki uzun solukluluğu o çalkantılı döneme göre olağanüstüydü. Direktuvar yönetiminde yer almadan önce, başında Maximilien de Robespierre'in bulunduğu ve geniş yetkili Kamu Güvenliği Komitesi'nin nüfuzlu bir üyesiydi. Bu görevdeyken devrimci savaşa dönük çabaların seferber edilmesinden sorumluydu. Lojistiği ve stratejiyi ustalıkla yürütmesi, ülkeyi bir askeri felaket yaşamaktan kurtardı, nitekim Fransız tarih ders kitaplarında "Koca Carnot" ve "zaferin örgütçüsü" diye anılır. Robespierre'in 1794'te devrilmesinden sonra Kamu Güvenliği Komitesi'nin iktidarda kalan ve Direktuvar'a katılan tek mensubu oydu. 1797'deki sol darbeyle birlikte sürgüne gitmek zorunda kaldı ama Napolyon'un savaş bakanı olarak geri döndü. (Napolyon'u 1797'de İtalya ordusunun komutanlığına getirmişti.) Ne var ki, Napolyon'un diktatörce yaklaşımları çok geçmeden açığa çıktı. Sarsılmaz Cumhuriyetçi inançlara sahip olan Lazare birkaç ay sonra istifa etti. Napolyon rejiminin sona doğru yaklaştığı 1814'te bir kez daha boy gösterdi, önce Anvers valisi, ardından Napolyon'un son içişleri bakanı oldu.

Lazare Carnot'nun tarihte benzersiz bir yer taşıdığı söylenebilir. Yalnızca siyaset ve savaş alanındaki uğraşlarıyla ünlenmedi, bilim ve mühendislikte önemli buluşlar da yaptı. Biyografisini yazan Charles Gillispie'ye göre, 1783'te yayımladığı çalışma raporu mühendislik mekanik konusunu teorik bir yaklaşımla ele almaya yönelik ilk girişimdi. Lazare'ın bu kitapta ve daha sonraki mühendislik bilimi eserlerinde gözettiği amaç, karmaşık makinelerin mekanik çalışma biçimlerinden yola çıkarak genel işleyiş ilkelerini soyutlamaktır. Gillispie onun hedefinin "her türden makinenin işlemesi için optimum koşulları tamamen genel bir tarzda belirlemek" olduğunu yazar. Lazare Carnot o sıralarda alışlagelmiş tutumla makine tasarımının birçok ayrıntılı unsurunu irdelemek yerine, ilkelelerini anlamada ayrıntılara gerek olmayan teorik metotları aramaya yöneldi.

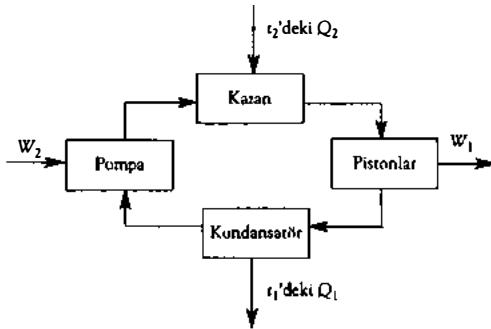
Lazare'ın ulaştığı ve Gillispie'nin "gücün sürekliliği ilkesi" olarak adlandırdığı başlıca sonuç, makinelerin hareketli parçalarında ivmelerden ve darbelerden kaçınmak gerektiğini, çünkü bunların "etkinlik momenti"nde, yani iş çıktısında kayıplara yol açtığını ortaya koyar. İdeal makine, gücün çok küçük adımlarla sürekli aktarıldığı düzendir. Su makinelerine (sözelimi su dolaplarına) uygulandığında, Lazare'ın teoremi maksimum randıman için su ile makine arasında hiçbir çalkantılı ya da çarpmalı etki bulunmaması gerektiğini ve makineden ayrılan suyun hissedilir hızla akması gerektiğini öngörür.

Lazare'ın çeşitli raporları günümüzde mühendislik bilimine önemli katkılar olarak kabul edilmemektedir ama çalışmaları önemli bir açıdan geçerliliğini korumaktadır. Ortaya koyduğu yaklaşım oğlu Sadi için, ısı makineleri teorisine yönelik eleştirisinin hareket noktasına ilişkin berrak bir gösterge oldu. Lazare'ın su makinelerinin tasarımıyla ilgili görüşlerinin kısmen etkili olduğu söylenebilir. Su

dolapları ve diğer hidrolik makineler düşmekte olan suyla çalışır, düşüş ne kadar büyük olursa, makinenin su girdisi birimi başına iş çıktısı da o ölçüde yüksek olur. Sadi Carnot'un düşünme tarzına yön veren şey, su makinelerinde suyunu düşüşü ile ısı makinelerinde ısıнын düşüşü arasındaki bir benzetmeydi: Ona göre, tasarımı yüksek sıcaklıkta ve düşük sıcaklıkta iki bölümü kapsamayan bir ısı makinesi çalışmaz, bu bölümler arasında ısıнын düşmesi makinenin çalışan parçalarını harekete geçirir.

Dönemin ve Bugünün Isı Makineleri

Sadi Carnot'un ilgi alanına makine düzeneklerini, gemileri ve taşıyıcıları çalıştırma gibi işlerde kullanılan buhar makineleri türünden ısı makineleri giriyordu. Fransa'da 1810'lu ve 1820'li yıllarda özellikle Cornwall'lı İngiliz mühendis Arthur Woolf'un icat ettiği buhar makinesine karşı büyük bir hayranlık vardı. Woolf buhar makinesinin işleyişi Çizim 3.1'de diyagram olarak verilmektedir. Bir yakıtı yakarak sağlanan yüksek t_2 sıcaklığındaki Q_2 ısısı makineye besleniyor



Çizim 3.1. Woolf buhar makinesinin diyagramı.

ve bu ısıyla bir kazanda yüksek basınçlı buhar elde ediliyordu. Buharın harekete geçirdiği iki piston W_1 iş çıktısını sağlıyordu. (Bu bölümde ve kitabın başka yerlerinde, t sembolünün 1. Bölüm ve 2. Bölüm'deki gibi zamanı değil, sıcaklığı temsil ettiğini akılda tutun.) Buhar, pistonlardan azalmış bir basınç ve sıcaklıkla ayrılıyordu. Daha sonra Q_1 ısısının aktarıldığı bir kondansatörde soğutulup daha düşük t_1 sıcaklığına indiriliyor ve sıvı suya dönüştürülüyordu. Son olarak, sıvı suyun geçirildiği bir pompa W_2 işini sarf etme yoluyla yüksek basıncı tekrar sağlıyordu ve düşük sıcaklıktaki basınçlı su kazana dönüyordu. Bu işlemler çevriminin net etkisi, ısıнын yüksek t_2 sıcaklığından düşük t_1 sıcaklığına düşmesi, bu arada pistonlardan W_1 iş çıktısının elde edilmesi ve pompaya çok daha az miktardaki W_2 iş çıktısının verilmesidir.

Woolf buhar makinesi ve varyasyonları zamanla gelişerek devasa bir modern teknolojiye dönüşmüştür. Günümüzün çoğu enerji santrali benzer biçimde çalışır. Modern tesislerde ölçek çok daha büyüktür, işleyen buhar basınçları ve sıcaklıkları daha yüksektir, çalışan düzenek ise pistonlar yerine bir türbindir. Ama

net bir iş çıktısı vermek üzere ısının yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa indirilmesi kavramı hâlâ geçerlidir.

Carnot Çevrimi

Sadi Carnot babasıyla aynı tutkuların peşindeydi. Gerçek makinelerin ayrıntılı karmaşık yapılarını soyutlama yoluyla, muhtemel en iyi performansı belirleyen genel ilkelere ulaşmayı umuyordu. Lazare'nın analizinin merkezinde ideal mekanik işleyiş yer alıyordu, Sadi ise bu mekanik idealin yanı sıra ideal ısı işleyişi bulmayı amaçlıyordu.

Sadi'nin öncelikle görebildiği nokta, bir ısı makinesinin ancak ısının yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa düşmesiyle iş yapabilir duruma gelmesiydi. Kavramsal inodeli ise ısı makineleri ve su makineleri arasındaki bir benzetmeye dayalıydı. Buradan hareketle, maksimum randıman için bir buhar makinesinin sıcaktan soğuğa doğrudan düşüş olmaksızın işleyebilecek biçimde tasarlanması gerektiği sonucuna vardı. Tıpkı ideal su makinesinde su akışının su dolabını döndürmek yerine kısmen taşmasının ve doğrudan düşmesinin söz konusu olamayacağı gibi. Kusursuz ısı makinesinde, temas halindeki sıcak ve soğuk bölümlerin sıcaklık bakımından ancak hafif bir farklılık gösterebileceği anlamına gelir bu. Biraz daha ayrıntıya girmek gerekirse, Carnot'nun ideal ısı makinesinde ısı itici kuvvetlerin (yani sıcaklık farklarının) çok küçük olması gerektiği söylenebilir. Bu tasarımın Lazare Carnot'nun mekanik güç iletiminde süreklilik ilkesiyle tesadüfün ötesine geçen bir benzerliği vardı.

Daha özgül bir ifadeyle, Sadi Carnot ideal ısı makinesinin çevrimsel değişimlerle devreye giren, Woolf buhar makinesinin pistonlarındaki buhara benzer-gaz biçiminde bir çalışma maddesi kullanmasını tasarlamaktaydı. Carnot çevriminin dört aşaması vardı:

1. Gazın yüksek t_2 sıcaklığındaki bir ısı "haznesi"nden ısıyı emdiği eş-ısıt (sabit sıcaklıkta) genleşme.
2. Gazın sıcaklığını t_2 'den t_1 'e indiren adyabatik (yalıtılmış) genleşme.
3. Gazın düşük t_1 sıcaklığında tutulan bir ısı haznesine ısıyı aktardığı eş-ısıt sıkışma.
4. Gazın ilk yüksek t_2 sıcaklığına çıkmasını sağlayan adyabatik sıkışma.

Birinci ve üçüncü aşamalar ısıyı yüksek sıcaklıkta emerek ve düşük sıcaklıkta aktararak ısı düşüşünü gerçekleştirir. Birinci aşamada genleşen gaz üçüncü aşamada sıkışan gaza oranla daha fazla iş yapar, ikinci ve dördüncü aşamalarda gaz üzerinde ve gaz tarafından yapılan iş tutarları aşağı yukarı birbirlerini götürürler. Böylece, her çevrim sırasında ısı yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa iner ve net iş çıktısı elde edilir.

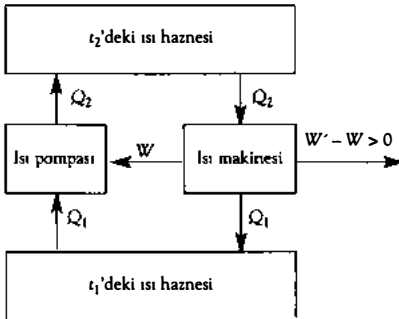
Carnot İlkesi

Özetlemek gerekirse, Carnot ideal ısı makinesini Lazare'nın kendi ideal ma-

kinelerini yapmasına benzer bir tarzda kurdu. Öyle ki bütün parçalar ve aşamalar çok küçük ısı ve mekanik itici kuvvetler sayesinde çok küçük adımlarla sürekli işliyordu. Bu düzen ve iki sabit sıcaklık arasında çevrimler halinde çalışma gereği, Carnot'nun farkına vardığı gibi, bütün ideal ısı makinesi işleyişlerinde gerekli olan ana özelliklerdi. Dört aşamalı gaz çevrimine özgü özellikler kullanışlı olmakla birlikte gereksizdi. İki ısı haznesi arasında ısıyı düşürmek ve iş çıktısı elde etmek için başka yollar bulunabilirdi.

Carnot'nun bakış açısına göre, ideal bir ısı makinesini çalıştıran kuvvetler öylesine küçük olmalıdır ki, bunlar ek dış etkiye gerek kalmadan tersine çevrilebilsin ve makine de ters yönde işleyebilsin. Bir ısı makinesine uygun normal işleyiş tarzıyla ileriye doğru çalışan ideal makine, sözgelimi t_2 ve t_1 sıcaklıklar arasında ısıyı düşürür ve iş çıktısı sağlar. Bütün itici kuvvetlerinin tersine dönmesiyle geriye doğru çalıştığında ise, ideal makine iş girdisi gerektirir ve ısıyı t_1 'den t_2 'ye çıkarır. Suyu alçak bir düzeyden yüksek bir düzeye pompalayabilen bir mekanik düzeneğe benzer bir ısı pompasıdır bu. Carnot şu temel sonuca varmıştı: Her türlü ideal ısı makinesi, gerektiği gibi çok küçük itici kuvvetlerle çalıştığında, kelimenin gerçek anlamında "tersine dönebilir" niteliktedir, yani tersinirdir. Bütün aşamaları öbür yöne çevrilebilir, ortamda önemli bir etkinin olmaması halinde, ısı makinesi bir ısı pompası haline getirilebilir ve bunun tersi de mümkün olabilir.

İdeal ısı makinesi işleyişinin bu tersinirlik özelliği, Carnot'u asıl amacına, yani t_2 ve t_1 'de tutulmuş ısı hazneleri arasında işleyen her ideal ısı makinesinin verili bir Q_2 ısı girdisinde aynı W iş çıktısını vermek zorunda olduğu yolunda bir kanıta ulaştırdı. İki ideal ısı makinesinin farklı W ve W' iş çıktılarının olması ve W 'nin W' 'den büyük olması halinde, daha yüksek W' iş çıktısına sahip makine daha düşük W çıktısına sahip makineyi tersine çalıştırmak için kullanılabilir, böylece Q_2 ısı üst ısı haznesindeki ilk ısı seviyesine pompalanır ve net $W' - W$ iş çıktısı elde edilir (Çizim 3.2).



Çizim 3.2. Farklı W ve W' iş çıktıları olan iki ideal ısı makinesini birbirine bağlayarak elde edilen olanaksız sonsuz iş çıktısının görsel çizimi.

Eğer bu bileşik düzenek mümkün olsaydı, üst ısı haznesindeki ısıyı yenilemeye gerek kalmadan iş sağlayacağı için bir sonsuz hareket makinesi işlevini görürdü.

Isı makinesi aracılığıyla düşen her ısı birimi ısı pompası tarafından üst hazneye geri aktarılırdı. Bir başka deyişle, bu bileşik ısı makinesi yakıt kullanmaya gerek kalmaksızın sonsuza kadar çalışabilirdi. Lazare Carnot büyük ölçüde her türden sonsuz hareketin fiziksel bakımdan olanaksız olduğu aksiyomunu esas almıştı, oğlun babasından öğrendiği bir başka ders buydu. Sadi Carnot da sonsuz hareket olasılığını kategorik olarak reddetti ve dolayısıyla bu bileşik düzenekteki iki ideal ısı makinesinin aynı iş çıktısını vermek zorunda olduğu, yani $W = W'$ denkleminin geçerli olduğu sonucuna vardı.

Daha kuralcı bir ifadeyle, Carnot'nun vardığı sonuç şudur: Q_2 ısı girdisiyle t_1 ve t_2 sıcaklıkları arasında çevrimler halinde işleyen bütün ideal ısı makineleri aynı W iş çıktısını verir. Tasarımdaki ayrıntılar hiçbir farklılık yaratmaz. Çalışma malzemesi buhar, hava ve hatta sıvı ya da katı olabilir, çevrimin çalışma kısmı Carnot'nun çevriminde olduğu gibi bir gaz genişmesi ya da başka bir şey olabilir. İdeal ısı makinesinin W iş çıktısını tam olarak üç şey belirler: Q_2 ısı girdisi ve ısı makinesinin aralarında işlediği iki haznenin t_1 ve t_2 sıcaklıkları. Bu saptama "Carnot ilkesi"ni ifade eder ve Carnot'nun bütün ardılları için vazgeçilmez esin kaynağı olmuştur.

Carnot İşlevi

Analizini sürdürmek için, Carnot'nun ideal makine işleyişinin fiziksel ve matematiksel niteliğine ilişkin elinden geldiğince tümdengelimle yönelmesi gerekiyordu. Bu noktada ısı makinelerinin yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa ısı düşüşüyle çalıştığına dair fikrinden daha da yararlandığı söylenebilir. Anlaşıldığı kadarıyla bir ısı makinesinde ısının iş yapma yeteneği t sıcaklığıyla ifade edilen ısı düzeyine bağlıydı, tıpkı bir su makinesinde suyun iş yapma yeteneğinin yerçekimi düzeyine bağlı olması gibi.

Carnot ideal ısı makinesinin t sıcaklığındaki işleyiş randımanını ifade eden $F(t)$ fonksiyonunu öne çıkardı. Bu $F(t)$ fonksiyonu için dikkate değer üç sayısal değer hesaplaması yaptı. Hesaplamalar çalışma malzemesi olarak havanın, kaynayan suyun ve kaynayan alkolün kullanıldığı üç farklı ısı makinesi tasarımına dayanıyordu. Carnot'nun teorisi, ideal ısı makinesi davranışının çalışma malzemesinin niteliğinden ve diğer özel tasarım özelliklerinden tamamen bağımsız olmasını gerekli kılıyordu: Her üç örnekte $F(t)$ için elde edilen değerler yalnızca t sıcaklığına bağlı olmalıydı. Carnot'nun hesaplamada kullanabildiği ilkel verilerin kesin değerlere varmayı sınırlandırmasına karşın, $F(t)$ için elde ettiği sonuçlar söz konusu şartı karşılar gibiydi. Hiç kuşkusuz bu başarı, Carnot'nun ısı makinesi teorisinin temelde doğru olduğu kanısına varmasını sağladı.

Teorisini tamamlamak için, Carnot yalnızca sayılar değil, $F(t)$ fonksiyonu için bir matematiksel ifade de bulmak zorundaydı. Bu çabasında başarıya ulaşamadı, sıcaklığın artmasıyla birlikte $F(t)$ 'nin azaldığını kavrayabildi ancak. Carnot'nun birçok halefi de bu problemle uğraşmanın çekiciliğine kapıldı. Gerçi sonunda Carnot fonksiyonunun mutlak bir ölçek üzerinde ifade edilen sıcaklığın evrik değerinden ibaret olduğu anlaşıldı ama bu sonucun kuşkuya yer bırakma-

yacak biçimde saptanması iki kuşak içinde yer alan en az sekiz termodinamikçinin çabalarıyla gerçekleşti. Bunlardan beşi (Carnot, Clausius, Joule, Helmholtz ve Thomson) 19. yüzyıl fiziğinin başlıca simalarıydı.

Umursanmayan Bir Yayın

Sadi Carnot'nun çalışmaları 1824'te, babasının ölümünden bir yıl sonra kişisel çabayla yayımlanan bir çalışma raporu biçiminde sunuldu ve garip bir kaderle karşılaştı. Rapor önde gelen bir bilim kitapları yayımcısı tarafından basıldı, olumlu eleştiriler aldı, önemli bir dergiye konu oldu ve ardından yirmi beş yılı aşkın bir süre boyunca tamamen unutulup gitti. Tarihli bir istisna dışında, Fransa'nın saygın mühendisler ve fizikçiler camiasından hiç kimse Carnot'nun raporuna başkaca bir ilgi göstermedi.

Bu alıdrışsızlığın nedenleri konusunda ancak tahminler yürütülebilir. Belki Carnot'nun hitap ettiği kitle onun bilimsel yazış üslubunu beğenmemiştir. Bilimsel çabaları önceleri gözardı edilen babası gibi, Carnot da yarı popüler bir üslupla yazıyordu. Matematik denklemlerine nadiren başvuruyor ve bunları da çoğunlukla dipnotlara atıyordu. Savlarının çoğunu sözel anlatımla ifade ediyordu. Besselli ki Carnot, tıpkı babası gibi, mühendisler için yazıyordu ama kitabı böyle bir çalışmayı okuması beklenen buhar makinesi mühendislerine göre yine de çok teorikti. Bilim çevresindeki diğer kişiler, mekanikle ilgili kitapçıklarda dönemin yaygın analitik matematik dilini aradıklarından, savlarını formüle etmek için sözel bilime başvurmakta ısrar eden meçhul bir genci herhalde pek ciddiye alamazdı. Carnot'nun ortalıkta görünmekten kaçınan ketum kişiliği de duruma tüy dikeniyordu. Davranış kurallarından biri şuydu: "Bildığın konuda az söz söyle, bilmediğin konuda hiç ağzını açma." Sonuç olarak, *Principia*'da Newton'un başına geldiği gibi, Carnot da hedef kitlesine ulaşamadı.

Zamanla Carnot belki Fransa'da olmasa bile, ısı ve ısı makineleri üzerine teorik araştırmaların daha yoğun olduğu yerlerde çalışmalarının takdir edildiğini görebilirdi. Ama bilim dünyasının kendisine yetişmesini bekleme fırsatını hiç bulamadı. 1831'de kızıla yakalandı ve hastalığı ilerleyerek "beyin humması"na dönüştü. Kısmen iyileşti ve nekahat devresi için kırsal kesime gitti. Ama daha sonra, 1832'de bir kolera salgınına incelerken, kendisi koleraya kurban oldu. Hastalık birkaç saat içinde canını aldığı anda, henüz otuz altı yaşındaydı. Bir kolera vakasını izleyen alışlagelmiş tedbir uyarınca, belgelerinin çoğu ve diğer kişisel eşyaları yok edildi.

Carnot'dan Sonra

Carnot'nun çalışmalarını tamamen karanlığa gömülmekten kurtaran kişi, Politeknik Okulu'ndan sınıf arkadaşı Émile Clapeyron oldu. Bu eski dost 1834'te *Journal de l'École Polytechnique*'te yayımlanan bir makalede, Carnot'nun mesajını makbul matematiksel analiz diliyle ortaya koydu. En önemlisi de, Carnot'nun $F(t)$ randıman fonksiyonunun nasıl hesaplanacağına ilişkin çeşitli sözel anlatımlarını diferansiyel denklemlere dönüştürdü.

Clapeyron'un Almanca ve İngilizce'ye çevrilen makalesi on küsur yıl boyunca Carnot ile izleyicileri arasındaki tek bağlantı olarak kaldı. Carnot'nun teorisi, Clapeyron tarafından sağlanmış matematiksel anlatım biçimiyle, 1840'lar da ve 1850'lerin başlarında ikinci kuşak termodinamikçilerden ikisi için hareket noktası oldu: Halle Üniversitesi'nin genç Alman öğrencilerinden Rudolf Clausius ve Cambridge Üniversitesi'nin yeni mezunlarından William Thomson (daha sonra Lord Kelvin). Thomson 1845'in birkaç ayını Victor Regnault'nun Paris laboratuvarında geçirdi. Carnot'nun çalışma raporunun bir nüshasını bulmak için Paris'teki kitaphevlerini boş yere dolaşıp durdu. Ne kitabı ne de yazarını hatırlayan vardı.

Clausius ve Thomson farklı yollardan Carnot'nun çalışmalarını geliştirerek, daha sonraları Thomson'un termodinamik adını verdiği ısı bilimine dönüştürdüler. Clapeyron'un diferansiyel denklemlerinden biri Thomson'un termodinamiğe yaklaşımında bir demirbaş haline geldi; Thomson bir mutlak sıcaklık ölçeğini tanımlamak için bu denklemi kullanmanın bir yolunu buldu. Daha sonraları enerji kavramını ortaya attı ve Carnot'nun teorisindeki temel bir kusuru, yani görünüşte kalorik teorisine dayanmasının yol açtığı aksaklığı giderdi. Clausius'un katkılarından biri Carnot'nun ısı makinesi analizini ayrıntılı olarak açıklamasıydı. Bu açıklamayla ısı makinesinde ısının yalnızca yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa düşmediğini, aynı zaman kısmen işe dönüştüğünü ortaya koydu. Carnot'nun su makinesi benzetmesinden bir kopuşu ifade eden bu yaklaşım, daha sonraki araştırmalarda entropi kavramının önünü açtı.

Değerbilirlik

Böylece sonunda Sadi Carnot'nun teorisi hayata döndü, anlaşıldı ve kullanıldı. Babası Lazare'dan aşağı kalmayan büyük bir devrimci olarak kutlanması gerektiği de nihayet açıklığa kavuştu. Bir siyasal devrim sırasında doğan Carnot bir bilimsel devrimi başlatmıştı. Teori köklü biçimde yeni ve tamamen özgündü. Öncelerinden hiçbirisi ısı düşüşünün ısı makinelerinin evrensel itici kuvveti olduğu fikrinden yararlanmamış, hatta şöyle ucundan bile değinmemişti buna.

Carnot'nun çağdaşları onun çalışmalarının değerini bilecek vizyondan yoksun olsa da, çok sayıdaki halefi bu umursamazlığın hasarını en azından sonraki kuşaklar için onarmıştır. Bilim tarihçileri günümüzde Carnot'yu en yaratıcı bilim adamlarından biri saymaktadır. Donald Cardwell termodinamiğin tarihini anlatan *From Watt to Clausius*'ta Lazare Carnot'nun muazzam hedefine, yani makinelerin karmaşık yapılarından genel fiziksel ilkeleri soyutlama hedefine varmada Sadi Carnot'nun çarpıcı başarısını şöyle değerlendirir: "Carnot'nun büyüklüğünün belki de en doğru göstergelerinden biri, buhar makinesi denen son derece karmaşık mekanik icattan... kendi savının esaslarını ama yalnızca esaslarını soyutlamadaki şaşmaz becerisidir. Fuzuli hiçbir şeyi katmamış, gerekli hiçbir şeyi atlamamıştır. Doğrusu, bilim tarihinde Galileo'nun... prosedürün temelini öğretmesinden bu yana daha verimli bir soyutlama örneğini düşünüp bulmak çok zor."

Carnot'nun hayatından ve kişiliğinden günümüze kalan kayıtlar çok azdır.

Yayımlanmış olan iki portresinde, sabit ve hafif melankolik bakışlı iri gözlerini üzerimize dikmiş olan hassas ve zeki bir yüz görürüz. Onunla ilgili biyografik malzemelerin çoğu kardeşi Hippolyte'in yazdığı kısa bir makaleye dayanır. (Lazare Carnot oğullarına egzotik adlar vermeye düşküncü.) Hippolyte'in anekdotları Carnot'nun daha çocukken sergilediği başına buyrukluğu ve gözüpekliği anlatır. Küçüklüğünde, Napolyon'un konutuna ziyaretlerde kimi zaman babasının peşine takılmış, Lazare ve Bonaparte devlet işleriyle uğraşırken, Sadi de, Madam Bonaparte'in yanına bırakılmış. Bir keresinde, evin hanımı ve diğer kadınlar bir havuzdaki sandalda kendi başlarına eğlenirken, birden beliren Bonaparte teknenin çevresine taşlar fırlatarak üstlerine su sıçratmaya başlamış. O sırada dört yaşında olan Sadi bir süre olayı seyretmiş, ardından öfkeyle Bonaparte'in karşısına dikilerek "Seni gidi alçak Birinci Konsül!" demiş ve taş atmaya bırakmasını istemiş. Bonaparte şaşkınlık içinde ufacak saldırganı süzmüş ve katılırcasına kahkahalara boğulmuş.

Napolyon'a kafa tutan çocuk Fransa'nın askeri talihinin inişe geçtiği sıralarda Politeknik Okulu'na girdi. İki yıl sonra Napolyon tam bir bozguna uğradı ve Fransa istila edildi. Hippolyte'in aktardığına göre, boş durmayı kendine yediremeyen Sadi, Paris'i savunacak bir birlik kurmak için Napolyon'a başvurdu. Öğrenciler Vincennes'da cesurca çarpıştı ama Paris Müttefik ordularının eline geçti ve Napolyon çekilmek zorunda bırakıldı.

Hippolyte, kardeşinin cesaretine ilişkin bir olayı daha anlatır. Sadi bir gün Paris'te dolaşırken, sokak boyunca atını dörttnala sürerek "kılıcını savuran ve yoldan geçenleri tepeleyen" sarhoş bir askere rastlamış. Ona doğru koşmuş, kılıcın ve atın önünden sıyrılıncasına geçmiş ve askeri tuttuğu gibi "küçük su kanalının içine atmış." Ardından "bu yürekli davranışa hayran kalan kalabalığın tezahüratından kurtulmak için yoluna devam etmiş".

Sadi Carnot çoğunlukla Paris odaklı ve emsali görülmemiş bir bilimsel hareketlilik döneminde yaşadı. Ömrünün geçtiği yıllarda Paris'te çalışan ünlü fizikçiler, matematikçiler, kimyacılar ve mühendisler arasında Pierre-Simon Laplace, André-Marie Ampère, Augustin Fresnel, Siméon-Denis Poisson, Adrien-Marie Legendre, Pierre Dulong, Alexis Petit, Evariste Galois ve Gaspard de Coriolis sayılabilir. Bu adların birçoğu Carnot'nun bilimsel eğitimi gördüğü Politeknik Okulu'nun öğretim kadrosuna ya da öğrenci kitlesine mensuptu. Öğrencilik dönemi sayılmazsa, Carnot hiçbir zaman bu seçkin camianın bir parçası olmadı. Bilim tarihinin diğer bazı emsalsiz dehaları (en başta da hikâyemize konu olan Gibbs, Joule ve Mayer) gibi, önemli çalışmalarını bilim dünyasının dışında biri olarak yürüttü. Ama büyük Fransız fizikçilerine ilişkin bütün listelerde Carnot adının yer alacağına hiç kuşku yoktur. İçlerinden en büyüğü olduğu da pekâlâ söylenebilir.

Zifiri Karanlık

Robert Mayer



Korunan Bir Şey

Günümüz öğrencisi için enerji teriminin neredeyse açıklama gerektirmeyen bir anlamı vardır. Oysa 19. yüzyıl başlarındaki bilim adamları için bu anlam açık olmaktan uzaktı. Sonunda enerji kavramı altında birleştirilecek birçok etki hâlâ büyük ölçüde ayrı olgular gibi görülüyordu. Mekanik, ısı, kimyasal, elektriksel ve manyetik etkilerin ortak bir şey taşıdığı az çok tahmin ediliyordu ama bağlantılar eksik ve karman çormandı.

1820'lere ve 1830'lara varıldığında en belirgin yön, çarpıcı ayrılıklar gösteren etkilerin birbirine dönüşebilir olmasıydı. Alessandro Volta'nın 1800'de icat ettiği elektrik pili, kimyasal etkilerden elektriksel etkiler elde ediyordu. 1820'de Hans Christian Oersted elektriksel etkilerle yaratılan manyetik etkileri gözlemledi. Manyetizma hareket (mekanik etkiler) 'yaratır ve hareketin sürtünme yoluyla elektriksel etkiler doğurabildiği uzun yıllardan bilinen bir olgudur. Bu ardışıklık bir "dönüşümler" zinciri biçimindedir:

Kimyasal etki → elektriksel etki → manyetik etki → mekanik etki → elektriksel etki.

1822'de Thomas Seebeck bir bimetalik bağlantının ısıtıldığında bir elektriksel etki yarattığını gösterdi ve on iki yıl sonra Jean Peltier tersine dönüşümü, yani bir elektriksel etkiyle sağlanan soğumayı ortaya koydu. Isı makineleri dönüşüm düzenekleri işlevini görerek, ısıl etkiyi (ısı) mekanik etkiye (iş) çevirirler.

Önemli bilim teorilerinin çoğu tek bir bilim adamı ya da en fazla birkaçı tarafından bulunmuştur. Geniş teorik bütünlüklere dönük arayışlar daha çok zorlu, tekil uğraşlar biçimine bürünür. Genellikle önemli bilimsel buluşlar ancak özel türden dehalarla kavranıp geliştirilecek ölçüde incelikler taşır. Ancak Thomas Kuhn'un da belirttiği gibi, bu kuralın en azından bir açık istisnası vardır. Sonunda enerji kavramına varmamızı sağlayan dönüşüm süreçlerine ilişkin buluşların esinlediği teorik çalışmalar tekil bir çabaya sığmaktan uzaktı. Kuhn bu "eşzamanlı buluş"un ilk evrelerine önemli katkıda bulunmuş on iki bilim adamını saymaktadır.

Her on ikisi de dönüşümün bir biçimde *korunumla* bağlantılı olduğu fikrine -tam eşzamanlı olmasa da, birbirinden habersiz- varmıştı. Bir etki diğerine dönüştüğünde, nicel olarak birinci etkinin belirli bir miktarının yerini ikinci etkinin aynı miktarı alıyordu. Birbirine dönüşebilir çeşitli etkilerin hepsi için geçerli olan bu miktar korunuyordu: Bir dönüşüm süreci boyunca bunun toplamı, şu ya da bu etkinin ölçülmesine bağlı olmaksızın, kesinlikle sabitti.

Eşzamanlı on iki buluşçu, bir korunum ilkesinden önemli çapta yararlanan ilk kişiler değildi. Şu ya da bu biçimiyle korunum ilkeleri, neredeyse sezgisel denebilecek bir ilgiyle, uzun yıllardan beri bilim adamları arasında rağbet görmüştü. Teori kurucuları en çarpıcı başarılarını sıralarken, vardan yok ve yoktan var edilemeyen niceliklere ilişkin buluşlarına hep yer vermişlerdi. Isıyla ilgili kalorik teorisinin savunucuları ısının korunumu önermesinden hareket etmişlerdi. On sekizinci yüzyıl sonlarında, Antoine-Laurent Lavoisier ve başkaları kimyasal tepkimelerde kütlelerin korunduğunu saptamışlardı. Kapalı bir kap içinde bir kimyasal tepkime gerçekleşirken, toplam kütlede hiçbir değişiklik olmaz.

Bu bakımdan dönüşüm süreçlerini inceleyenlerin teorilerini bir korunum yasası üzerine kurmaya çalışmaları doğaldı. Ne var ki, bir korunum ilkesinin formüle edilmesinden hep gündeme geldiği gibi, daha baştan zorlu bir soruyla uğraşmak gerekiyordu: Korunan nicelik nedir? Her seferinde görüldüğü üzere, bizat korunum yasasına ilişkin bazı bilgiler olmadan bu soruya elverişli bir cevap bulmak hemen hemen olanaksızdı, çünkü korunan niceliğin, yani sonunda enerji olduğu saptanan şeyin en belirgin özelliği korunuyor olmasıydı. Korunum özelliğini doğrulamak için, kütlede olduğu gibi doğrudan bir ölçüm yapmaya olanak yoktu. Fiilen bulunana kadar tam bir tanıımı yapılamayacak bir şeye dönük bir arayıştı bu.

Buluş Yolculuğu

Bu kavramsal arapsağının içine ilk dalan kişilerden biri, Alman hekim ve fizikçi Robert Mayer'di. Hayatının büyük bölümünü Almanya'nın Heilbronn şehrinde geçiren Mayer, çağdaşı James Joule (5. Bölüm) gibi, ilgisini en çok çeken bilimsel alanlarda bir amatördü. Üniversite öğrenimini tıp dalında yapmıştı, Tübingen Üniversitesi'ndeki öğrencilik kayıtları düşünsel bir dehanın emarelerini pek vermemektedir. Bilardo ve iskambilde ustaydı, arkadaş çevresine bağlıydı, asi eğilimliydi ve üniversite yetkilileriyle arası iyi değildi, nitekim sonunda

bir yıl uzaklaştırma cezası aldı. Dönüp geriye baktığımızda, Mayer'in altı günlük açlık greviyle bu cezaya gösterdiği tepkide, eleştiriler karşısındaki inatçılığının ve alınganlığının belirtilerini, hatta daha sonraki zihinsel sorunlarının bazı işaretlerini görebiliriz.

Ancak Mayer'in çolpa gençlik davranışı iflah olmaz bir isyankârlığa varmadı, Tübingen yetkilileri izin verince okuluna döndü, tezini tamamladı ve doktora sınavından geçti. Yine de geleceğini alışılagelmiş (ve ailesinin öngördüğü) beklentilere göre planlamayacak kadar delidoluydu. Mutat bir hekimlik mesleğine atılmak yerine, Doğu Hint Adaları'na yelken açan bir Hollanda gemisinde cerrah olarak yolculuğa çıkmaya karar verdi. Bu gezide ne mürettebatın yarenliğinde ne de yemeklerin tadımlık ve doyumluk düzeyinde heves verici bir şey buldu. Ama onun için her türlü açlığa ve can sıkıntısına katlanmaya değecek bir seyahat oldu bu.

Mayer bilimsel hayal gücünün egzotik masal havasıyla, Cava'da başından geçen ve onu geri kalan hayatı boyunca izleyeceği düşünsel yola yönelten bir olayı anlatır bize. 1840'ta bir Doğu Cava limanında gemicilere çeşitli vesilelerle hacamat yaparken, toplardamardaki kanın şaşırtıcı ölçüde parlak kırmızı renkte olması dikkatini çeker. Tropik bölgelerdeki bu alışılmamış kan kırmızılığının daha yavaş bir metabolik oksitlenme hızının belirtisi olduğu tahminini yürütür. Gıda maddelerindeki oksitlenmenin bünyede ısı yarattığı ve vücut sıcaklığının sabit bir noktada kalmasını sağladığı kanısına varır. Sıcak bir iklimde oksitlenme hızının azalmış olabileceğini düşünür.

Teorisyenlerin en heyecanlı atılımlarını sezgisel sıçramalarla yaptıkları yolundaki romantik bakışa eğilimli olanlarımız için, bu hikâye ve doğurduğu sonuçlar büyüleyicidir. Mayer'in kan rengi ile metabolik oksitlenme hızı arasında varsaydığı bağlantı elbette aşırı basitleştirmeye dayalıydı ve kısmen yanlıştı ama bu teori tohumu Mayer'de daha önce hiç tatmadığı bir heyecan ve canlılık uyandırdı. Buluşunun yeni bir tıbbi olgunun çok ötesine geçtiğini anlaması çok uzun sürmedi: Metabolik oksitlenme gıda maddelerinden ısının elde edildiği, yani kimyasal etkinin ısı etki yarattığı bir fizyolojik dönüşüm süreciydi. Mayer kimyasal etkinin ve ısı etkinin bir biçimde bağlantılı olduğu kanısındaydı. Teorisini ifade etmek için benimsediği terminolojiyle belirtmek gerekirse, bu kimyasal tepkime metabolik süreçte biçim değiştiren ama büyüklüğü aynı kalan bir "kuvvet"ti. Ve de Mayer'in bakış açısıyla en önemli nokta, metabolik oksitlenmeye ilişkin bu yorumun genel bir ilkenin yalnızca bir örneği olmasıydı.

Kuvvet (Enerji) Korunumu

Heilbronn'a 1841'de dönen Mayer, bakış açısını en geniş ifadelerle özetleyen bir bildiri hazırlamaya başladı. "Bütün cisimler değişime tabidir... [ve bu değişim] kuvvet dediğimiz... bir neden olmaksızın meydana gelmez... Bütün olguları temel bir kuvvetten türetebiliriz... [ve] kuvvetler tıpkı madde gibi değişmez niteliktedir" diye yazdı. Kendi ifadesine göre, fiziği "kuvvetin varlığının niteliği" üzerinde duran bir bilim olarak yazmak niyetindeydi. Bu fiziğin programı kimya-

nın programına paraleldi. Kimyacılar maddenin özellikleriyle uğraşmaktaydı ve kütlelerin korunduğu yolundaki ilkeyi esas almaktaydı. Fizikçiler de benzer biçimde kuvvetleri incelemeli ve bir kuvvet korunumu ilkesini benimsemeliydi. Gerek kimya gerek fizik “[uğraş konusu] varlıkların niceliğinin değişmez ve sadece niteliğinin değişken olduğu” ilkesi üzerine kuruluydu.

Mayer’in *kuvvet* terimini kullanması biraz açıklama gerektiriyor. On dokuzuncu yüzyıl fizikçilerinin *kuvvet* kavramına ikili bir anlam vermeleri yaygındı. Bunu kimi zaman Newtoncu anlayışla bir itmeyi ya da çekmeyi belirtmek için kullanıyorlardı ama aynı sıklıkta bir başka kullanım biçimi kuvvetin günümüzün *enerji* terimiyle eşzamanlı tutulduğunu çağırıyordu. “Enerji” kelimesinin iş yapma kapasitesi biçimindeki modern tanımı ancak 1850’lerde William Thomson tarafından ortaya kondu. Yukarıdaki alıntılarda ve Mayer’in yazılarının çoğunda, ikinci kullanımı varsaymak ve “kuvvet”i “enerji” diye okumak uygun olur. Bu basit ama önemli değişiklikle, Mayer’in tezi enerji korunumu ilkesine dönük bir sav haline gelir.

Geri Çevrilme

Mayer 1841 tarihli bildirisini Johann Poggendorff’un *Annalen der Physik und Chemie* dergisine gönderdi. Bildiri yayına uygun görülmediği gibi, nazik bir teşekkürle iade bile edilmedi. Ama Mayer’in biyografisini yazarlardan R. Bruce Lindsay’e göre, bu kayıtsız davranışta aslında bir hayır vardı. Mayer’in bildirideki ayrıntılı savları “mekaniğe ilişkin köklü bir yanlış anlayışa dayanıyordu.” Her ne kadar geri çevrilme Mayer’in gururunu incittiye de, “daha sonra ulaştığı şöhret açısından [bildirinin] genişliğine çıkmaması iyi bir şey oldu.”

Mayer ne kadar mağrur olsa da, sebatkârlığı çok daha güçlüydü. Daha sonraları Stuttgart’ta matematik profesör olan arkadaşı Carl Baur’un yardımıyla bildiriye düzeltti, çeşitli bakımlardan genişletti ve sonuçta 1842’de Justus von Liebig’in *Annalen der Chemie und Pharmacie* dergisinde çıkmasını sağladı. Bildiriye yaptığı en önemli ekleme, bir gazın ısıtılmasıyla, yani ısıl etkiyle elde edilen genleşme sırasında yaptığı işten oluşan mekanik etkiye ilişkin bir hesaplamaydı. Bu aslında “ısının mekanik eşdeğeri”ne yönelik bir saptamaydı ve o sıralarda bağımsız olarak Joule’u da meşgul eden bir konuydu. Mayer’in böyle bir hesaplamayı ilk kez yapıp yapmadığı ünlü bir tartışmaya konu oldu. Bu konudaki öncelik iddiasını zayıflatan hususlardan biri, 1842 tarihli bildirideki hesaplamada bütün ayrıntıları es geçerek yalnızca sonuca yer vermesiydi. Kullandığı yöntemi ancak 1845’te daha geniş bir bildiriyle açıklığa kavuşturdu. O sıralarda Joule ısının mekanik eşdeğerine ilişkin çarpıcı deneysel ölçümleri sunmaya başlamıştı.

Mayer 1842 tarihli çalışmasında ünlü hesaplamasını bir gazın sıcaklığının sabit basınçta yükseltmenin sabit hacimde yükseltmeye oranla daha fazla ısı gerektirdiği yolundaki deneysel olguya dayandırmaktaydı. Ona göre, sabit-basınç ve sabit-hacim sonuçları arasındaki fark, sabit basınç altında genişirken gazın yaptığı eşdeğer iş tutarına dönüşen bir ısı miktarını yansıtmaktaydı. Mayer ayrıca yapılan bu işi hesaplamayı başardı. Bulduğu iş-ısı oranı, ısının mekanik eşde-

ğinin sayısal bir saptamasıydı. Hesaplaması işe dönüştürülen 1 kilokalori ısının 1 kilogram ağırlığı 366 metreye çıkarabildiğini ortaya koydu. Bir başka deyişle, Mayer tarafından bulunan ısının mekanik eşdeğeri kilokalori başına 366 kilogrammetreydi.

Bu da Joule'un 1843'te başlayan bir dizi anıtsal deneyle ölçmüş ya da ölçmek üzere olduğu nicelikti. Joule'un (daha sonra onun adından dolayı J sembolü verilen) en iyi sonucu şöyleydi:

$$J = 425 \text{ kilogrammetre/kilokalori.}$$

Mayer'in hesaplaması esas olarak ısı ölçümlerindeki hatalar nedeniyle yanlıştı. Victor Regnault'nun 1850'lerdeki daha kesin ölçümleri Mayer'in hesaplamasını Joule'un sonucuna daha fazla yaklaştırdı.

$$J = 426 \text{ kilogrammetre/kilokalori.}$$

Mayer'in 1845 tarihli çalışması ısının mekanik eşdeğerine ilişkin belirlemesini açıklığa kavuşturmanın yanı sıra, enerji korunumu, daha doğrusu Mayer'in terminolojisiyle kuvvet korunumu konusundaki kestirimlerini genişletti. İki alıntı Mayer'in korunum kavramına ne kadar kararlı sarıldığını gösterecektir: "Kimyanın madde açısından yerine getirdiği işlevi, fizik, kuvvet durumunda yerine getirmelidir. Fiziğin tek misyonu çeşitli biçimleriyle kuvveti yakından tanımak ve değişimini düzenleyen koşulları araştırmaktır. Eğer bir anlamları varsa, kuvvetin yaratıcılığı ya da yıkıcılığı insan düşüncesinin ve eyleminin alanı dışında kalıyor." "İşin doğrusu, tek bir kuvvet mevcuttur yalnızca. Bu kuvvet sonu gelmez bir alışverişle bütün ölü ve canlı doğa içinde dolanıp durur. Canlı doğada olduğu kadar ölü doğada hiçbir şey, kuvvette biçim değişkenliği olmaksızın meydana gelmez!"

Mayer 1845 tarihli çalışmasını Liebig'in *Annalen* dergisine iletti. Anlaşıldığı kadarıyla üstünkörü bir okumadan sonra, bir editör yardımcısı tarafından reddedildi. Yardımcının tavsiyesi Poggendorff'un *Annalen*'ini denemektir ama Mayer aynı yayın yolunu tekrar izleme zahmetine girmedir. Sonunda bildiriye kendi çabasıyla yayımladı ve yaygın bir dağıtım yoluyla gerekli takdiri göreceğini umdu. Ama birkaç derginin kitap listelerindeki kısa değinmelerin ötesinde, Mayer'in başeseri olan bu çalışma pek dikkat çekmedi.

Bıçak Sırtı ve Dönüş

Şevk kırıcı ortama karşı kavgada artık tutunamayacak duruma gelmesine karşın, Mayer'in sebatkârlığı yine baskın çıktı. 1846'da bir başka çalışma yazdı ve bir kez daha yayın masraflarını şahsen karşılamayı kabul etmek zorunda kaldı. (Gök mekaniğiyle ilgili bu çalışma, William Thomson'ın çok sonraları yürüttüğü çalışmaların habercisiydi.)

Bu arada Mayer'in meslek sorunları aile ve sağlık sorunlarıyla daha da ağır-

laştı. 1846-1848 arasından çocuklarından üçü öldü ve evliliği sarsılmaya yüz tuttu. Sonunda 1850'de neredeyse ölümcül bir ruhsal çöküntüye girdi. Bir uykusuzluk nöbeti onu intihar girişimine sürükledi, girişim sonuçsuz kaldı ama içine düştüğü derin çaresizlikte Mayer bunu bir başka sakarlık olarak görmüş olabilir.

Kendini toparlama çabasıyla gönüllü olarak sanatoryuma yattı. Oradaki tedavi durumunu daha da kötüleştirdi ve sonunda bir akıl hastanesine havale edildi. Özensiz ve kimi zaman acımasız bir muamele gördü. Zihinsel ve bedensel durumunakonan teşhis öylesine iç karartıcıydı ki tıp yetkilileri atık umutlarını kesiler ve 1853'te onu kurumdan taburcu ettiler.

Mayer'in bu berbat tecrübeyi atlatması ve hatta kısmen iyileşmesi en büyük başarılarından biri sayılabilir. Taburcu olduktan sonra Heilbronn'a gitti, ufak çapta hekimlik mesleğine döndü ve yaklaşık on boyunca bilinçli olarak her türlü bilimsel uğraştan kaçındı. Yavaş evrelerle ve arada bir depresyonlarla, sağlığı düzelmeye başladı. Mayer'in kendi iradesiyle nispeten normal sağlığa kavuşması, başka bir şeye yaramasa bile, zihinsel durumunun umutsuz denecek ölçüde dengelessiz olmadığını gösterdi. Bir saplantı haline gelmiş bir uğraşı on yıl boyunca tamamen bırakması düpedüz akli başında bir davranıştı.

Mayer'in zorunlu emekliliği yaşadığı 1850'ler, termodinamiğin gelişmesinde son derece hareketli bir dönemdi. Enerji bir kavram olarak yerleşti ve enerjinin korunum ilkesi çoğu teorisyence benimsendi. Daha çok İngiltere'de James Joule'un, Almanya'da Rudolf Clausius'un ve İskoçya'da William Thomson ile Macquorn Rankine'in yürüttüğü bu çalışmalarda Mayer'in daha önceki çabaları çok az takdir edildi. Teorisinin gözardı edilmesi yetmiyormuş gibi, 1858'de bizzat Mayer'in bir akıl hastanesinde öldüğü haberi Liebig tarafından duyuruldu. Mayer'den gelen protestolar bile Poggendorff'un *Handwörterbuch*'unda resmi ölüm ilanının çıkmasını önleyemedi.

Garip Başarı

İronilerle dolu bu hayatın son perdesi herhalde en uç noktadaki ironi gibi gelecektir. Mayer'in başardığı işlere sonunda kadirşinaslık gösterildi ama bunun kayıtsızlığa, geri çevrilmeye, ruhsal çöküntüye, acımasız tıbbi tedaviye ve kendi ölüm haberine katlanmış bir adama layık bir biçimde olduğu pek söylenemezdi. Mayer artık huzura kavuşmuş olarak Heilbronn'daki bağlarını çekip çevirdiği 1860'ların başlarında meşhur bir bilimsel tartışmanın merkezine birdenbire oturdu.

Her şey popüler bir konferansçı, profesör ve Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde Michael Faraday'ın çalışma arkadaşı olan John Tyndall'ın ısı üzerine bir dizi konferansa hazırlanmasıyla başladı. Tyndall bilgi almak için Almanya'daki Hermann Helmholtz'a ve Rudolf Clausius'a mektup yazdı. Clausius'un cevabında Mayer'in yazılarının önemli olmadığı yorumu yer alıyordu. Bununla birlikte Mayer'in bildirilerinin nüshalarını göndermeye söz verdi ve postalamadan önce bildirileri besbelli ki ilk kez dikkatle okudu. Bunun üzerine tamamen farklı bir değerlendirme içeren ikinci bir mektup yazdı: "Son mektubumda Mayer'in yazı-

larında pek önemli bir şey bulamayacağınızı belirten ifadelerimi geri almak zorundayım. İçerdikleri bir sürü güzel ve doğru düşünce karşısında hayretler içindeyim.” Clausius artık Mayer’in enerji kavramını ve dayandığı korunum öğretisini ilk anlayanlardan biri olduğu kanısındaydı. Helmholtz da Mayer üzerine olumlu görüşler bildirerek, özellikle ısıнын mekanik eşdeğerine ilişkin erken değerlendirmesine işaret etti.

Tyndall münakaşayı seven ve haksızlıktan nefret eden bir adamdı. Haksızlıklara ilişkin fikirleri halka açık tartışmada aynı ölçüde usta olan başka kişilerce çoğu kez paylaşılmadığı için, hararetili ama bazen dostane olmaktan uzak ağız kavgalarına sıklıkla girerdi. Mayer’in savunucusu olmaya karar veren Tyndall, belki de hayatı boyunca giriştiği en büyük tartışmaya soyundu. Her zamanki gibi, Kraliyet Enstitüsü’ndeki popüler konferanslarını forum olarak seçti. Alelacele aldığı bir kararla, konusunu ısı yerine genel olarak enerjiyi kapsayacak biçimde genişletti. Enerji o sıralarda, yani 1860’larda büyük ölçüde anlaşılmıştı. Konferans için “Kuvvet Üzerine” adı seçildi. (Faraday ve Kraliyet Enstitüsü’ndeki meslektaşları “enerji”yi kastederken hâlâ “kuvvet” terimini kullanmayı tercih ediyorlardı.)

Tyndall konuşmasına çok sayıda enerji dönüşümü örneğini sıralayarak başladı, ardından Mayer’in rolünü özetleyerek şunu ilan etti: “Bilginize sunduğum şeylerin hepsi Mayer adlı bir Alman hekimin emeklerinden alınmıştır.” Ona göre Mayer ilk termodinamikçilerden biri olarak, “bütün hayatlarını tamamen Doğa Felsefesi’ne adanmış insanlardan önce en önemli sonuçlara varmış bir dâhi” olarak kabul edilmeliydi. Tyndall öncelik bakımından Mayer’in Joule’a karşı üstün olduğu kanısını kesin bir dille belirtti: “Bay Joule ilk bildirisi ‘Isının Mekanik Değeri’ni 1843’te yayımladı, oysa 1842’de Mayer ısıнын mekanik eşdeğerini fiilen hesaplamıştı.” On dokuzuncu yüzyıl bilimsel söyleminin kibar dünyasında, bu aslında bir ağız kavgasına davetti. Nitekim Joule ve Thomson’dan, ayrıca Thomson’ın yakın dostu Peter Guthrie Tait’ten çarçabuk tepkiler geldi. Edinburgh Üniversitesi’nde doğa felsefesi profesörü olan Tait, polemiğe dayalı tartışma sanatında Tyndall’la boy ölçüşebilecek biriydi.

İlk cevabı *Philosophical Magazine*’de çıkan bir mektupla Joule verdi. “Dinamik ısı teorisinin” (yani başka şeylerin yanı sıra ısı-ış bağlantısına dayanan ısı teorisinin) Mayer ya da dönüşüm süreçleri üzerine fikir yürütmüş başka yazarlarca ortaya konduğunu asla kabul edemeyeceğini belirtti. Güvenilir sonuçların “deneyleri gerekli” kıldığını söyleyerek şunu ekledi: “Dolayısıyla bu teorinin doğruluğuna ilişkin kesin kanıtı sunan ilk kişi olarak fizikçi meslektaşlarımla genellikle bana verdiği paye üzerindeki hakkımı hiç korkusuzca iddia ediyorum.”

Tyndall yine *Philosophical Magazine*’de çıkan bir mektupla Joule’a karşılık vererek, onun başardığı işleri küçümseme niyetinde olmadığı yolundaki itirazını dile getirdi: “ [Benim görüşlerimde] ısı ve ışı eşdeğerliğini deneyle ortaya koyan ilk kişi olma onuruna sahip çıkmanızı sorgulama yönünde bir arzu taşıdığımı gösteren hiçbir şey bulamayacağınıza eminim.” Tyndall doğrudan Mayer’in yazdıklarına bakılmasından yanaydı. Onun önerisi üzerine, Mayer’in enerji temasını işleyen bildirileri çevrilerek *Philosophical Magazine*’de yayımlandı.

Ancak sorunu çözmeye yetmedi bu. O sıralarda yayın yönetmenliğini Charles Dickens'in yaptığı *Good Words* adlı popüler dergide, Thomson ve Tait'in imzasını taşıyan (ama üslubuyla Tait'in kalemini çağrıştıran) bir makale çıktı. Makalede Mayer'in 1842 tarihli bildirisinin esas olarak yeni deneylere yönelik birkaç öneriyle birlikte daha önceki çalışmaların aktarılmasından ibaret olduğu, sadece "ısıнын mekanik eşdeğerini bulmak için bir metodun ortaya atıldığı" belirtiliyordu. Yazarlara göre, bu önemsiz bir katkıydı ve İngiliz savlarından vazgeçmek için hiçbir neden yoktu:

Sırf bu yayından dolayı, Enerjinin Korunumu ilkesini bütün genelliğiyle ilk ortaya koyan kişi payesini Mayer'e verme yönünde bir çaba içine girilmiştir. Evet, doğru, *la science n'a pas de patrie* [bilimin yurdu yoktur] ve İngiliz filozofların bu düstura uygun olarak açık fikirli davranmış olması son derece saygındır. Ama bu yüzden bilimsel yurtseverliğe hiç gerek olmadığı ya da bir yabancıya hakkını teslim edeceğiz diye, kendi yurttaşlarımızın iddialarını küçümsememiz ya da bastırmamız gerektiği hayaline kimse kapılmamalıdır.

Tyndall bir kez daha *Philosophical Magazine*'de cevap vererek, sivri bir dille eleştirilerini yalnızca Thomson'a yöneltti ve bilimsel öncelik gibi ağır konuları popüler bir derginin sayfalarında tartışmanın ne kadar akla uygun olduğunu sorguladı. İlk tutumunu yumuşatarak, Joule ve Mayer'e ortak bir rol biçme yoluna gitti:

Mayer'in çalışmalarında bir ölçüde derin sezginin damgası vardır. Bu sezgi yazarın zihninde enerji konusunda kesin bir kanıya ulaştı. Buna karşılık Joule'un çalışmaları deneysel bir gösterim çerçevesindedir. Kendi ülkesindeki kuramsal düşünme içgüdüsüne uygun olarak, Mayer yetersiz önermelerden büyük çaplı ve okkalı sonuçlar çıkardı. Oysa İngiliz her şeyden önce olguları sıkı sıkıya saptama peşindeydi. Ve de bunu gerçekten başardı. Kanımca, geleceğin bilim tarihçileri bu adamları bir husumet içinde göstermeyecektir.

Bu sefer Tait'ten ses geldi. *Philosophical Magazine* editörlerinden birine mektup yazarak, önce bir gözlemini bildirdi: Bilimsel konuları tartışmak için *Good Words*'ün uygun bir araç olmadığı düşünülüyorsa, Kraliyet Enstitüsü'ndeki belirli popüler konferans dizileri için de aynı şey söz konusu olmalıydı. Ardından şöyle devam etti: "Prof. Tyndall çoğu kez başına geldiği üzere... haksızlık yapıldığını sandığı kişilerin iddialarının kendisinin konuya dahil olmasından önce enine boyuna konuşulduğu, tartışıldığı ve bilim adamlarının genel hükmüyle sonuca bağlandığı gerçeğini kavramasını önleyen bir zihinsel önyargıya sahip olduğu için son derece talihsizdir. Acaba Prof. Tyndall aslında Mayer'in bildirisinin hiç de yenilik ya da doğruluk taşımadığını, sırf şans eseri bir benzetmeyle her bakımdan yanlış bir analojiden doğru bir sonuca yaklaştığını biliyor mu?"

Polemiklerden kaçınılmış olsaydı bile, Joule ve Mayer'in çatışan iddialarını çözmeye yönelik bir girişim herhalde sonuçsuz kalırdı. Tartışmanın hedefi ener-

ji kavramını bulan kişinin kesin olarak belirlenmesi olsaydı, yarıştan ne Joule ne de Mayer galip çıkardı. Enerji kavramının hikâyesi hiç bitmez. Üstelik Mayer'in fikir yürütmeleriyle ve Joule'un deneysel olgularıyla başladığı da söylenemez. Kuhn'un eşzamanlı buluşçularından bazıları daha tereddütlü olsa da, bu konuya Joule ve Mayer'den önce eğilmişti. Her ikisinin en önemli katkılarının geride kaldığı 1840'ların sonlarında enerji kavramı yarı yarıya anlaşılmıştı henüz. Günümüzdeki kuvvet ve enerji ayrımı bile açık seçik ortaya konmamıştı. Daha sırada Helmholtz, Clausius ve Thomson'un temel öneme sahip katkıları vardı.

Öncelik savaşlarına tutuşarak zamanlarını heba edenler, kişisel iddialarını bir yana bırakmalı ve bilim sosyolojisinin daha önemli bir yönünü kavramayı öğrenmelidir: İrk, sınıf ve uyruk sınırlarını aşan çeşitliliğiyle bilim camiası, sıklıkla olduğu gibi, herkesin kabul edeceği bir mutabakata varabilir. Joule-Mayer çekişmesindeki son hüküm bu dersi veriyor bize. 1870'te, son Tyndall ya da Tait feve-
ranından yaklaşık on yıl sonra Kraliyet Bilim Derneği saygın Copley madalyasını Joule'a verdi, ertesi yıl ise aynı ödüle Mayer layık görüldü.

Kutsal Bir Vecibe James Joule



Amatör Bilimci

James Joule'un hikâyesi biraz inanılmaz gelebilir. Meslek hayatının büyük bölümünde İngiltere'nin bilim hinterlandı Manchester yakınlarında yaşadı. Ailesi orada bir bira fabrikası işletiyordu. En önemli çalışmalarının bir kısmını sabahları ve akşamları, fabrikadaki günlük mesaisinin öncesinde ve sonrasında yürüttü. Üniversite okumadığı gibi, fen alanında düzenli bir eğitim de görmedi. Bilim adamı olarak her bakımdan amatördü. Tıpkı amatör fizikçi Mayer gibi, o da önceleri bilim çevrelerince görmezlikten gelindi. Ancak amatör konumuna, yalnızlığa ve alırsızlığa rağmen, 1840'ların başlarında ve ortalarında dönüşüm süreçlerinin cilveli gizemlerini herkesten daha derinlemesine irdelemeyi başardı. Joule'un hevesli bir uğraştan İngiliz bilim camiasında seçkin bir konuma hızla yükselişinin hikâyesi, günümüzün araştırma fabrikaları ve uzun süreli bilim çıraklığı dünyasında pek hayal edilemez.

Eşdeğerlikler

Başından sonuna Joule'un araştırmalarına damgasını vuran ve yol gösterici teorik esin kaynağı olan tema ısı, kimyasal, elektriksel ve mekanik etkiler arasında nicel eşdeğerlikler bulunabileceği inancıydı. Bu etkilerden herhangi birinin derecesinin öbür etkilerden herhangi birinin birimleriyle saptanabileceği kanısındaydı. Bu tür nicel bağlantıları en az sekiz farklı açıdan inceledi: Isıl, elektriksel ve mekanik etkilere dönüşen kimyasal etkiler, ısı, kimyasal ve mekanik etkilere dönüşen elektriksel etkiler, ısı ve elektriksel etkilere dönüşen mekanik etkiler.

Başlangıçta Joule bu eşdeğerlikler şemasında mekanik etkilerin önemini tam kavrayamadı. İlk çalışmalarının ağırlığı kimyasal, elektriksel ve ısı etkilerdi. 1840'ta, henüz yirmi iki yaşındayken, elektrokimya merakının dürtüsüyle beş aşamalı bir dizi araştırmaya girişti. (Joule'un fizikçiliğinin evveliyatında elektrokimyacılık vardı.) Önce, bir telde elektrik akımıyla yaratılan ısınmanın I akımının karesiyle ve R elektrik direnciyle orantılı olduğunu (" I^2R ısınma yasası"nı) doğru biçimde ortaya koydu. Deneysel kanıta ise bir "kalorimetre"de (su ya da başka sıvı konarak iyi yalıtılmış ve iyi karıştırılmış bir kapta) sıcaklık ölçümleri yaparak, kendi tasarımı bir aletle elektrik akımı ölçümleri yaparak ve mutlak elektrik birimlerine ilişkin bir sistem geliştirerek ulaştı.

Joule daha sonra elektrik pillerinde ortaya çıkan kimyasal süreçlerde ısınma yasasının oynadığı role yönelik çeşitli incelemelere hatırı sayılır bir çaba harcadı. Günümüzün flaş bataryalarında olduğu gibi bir elektrik çıkışı sağlayan "volta pilleri"yle ve suyun hidrojen ve oksijen gazlarına ayrıştırılmasında olduğu gibi bir elektrik girdisi tüketen "elektroliz pilleri"yle çalıştı. Bu deneylerde volta pillerinden oluşan bir bataryayla bir elektroliz pilini işler hale getirdi. Sonunda şu fikre vardı: Volta pilindeki kimyasal tepkimeyle yaratılan elektrik akımları, tepkimenin "ısı verici etkisi"ni ya da "kimyasal ısı"nı birincil tepkime yerinden taşıyarak, I^2R ısınma yasası uyarınca "serbest ısı"ya dönüştürülebileceği bir dışsal direnç ya da elektroliz tepkimeye "saklı ısı" olarak tamamen ya da kısmen harcanabileceği bir elektroliz piline iletliyordu.

Volta pillerinden elektroliz piline beslenen ve Q_e denebilecek toplam kimyasal ısıyı belirlemek için, Joule başka elektriksel değişikliklere yol açmaksızın elektroliz pilinin yerini alabilecek bir telin R_e direncini buldu, teldeki I akımını ölçtü ve Q_e 'yi ısınma yasasına göre I^2R_e olarak hesapladı. Ayrıca elektroliz pilinde bir kalorimetre olarak iki katına çıkan sıcaklık artışını ölçtü ve buradan hareketle pilde yaratılan Q_i serbest ısıyı hesapladı. Her seferinde Q_e 'nin Q_i 'yi önemli ölçüde aştığını saptadı, uç örneklerde pilde hiç ısınma yoktu ve Q_i sıfıra eşitti. $Q_e - Q_i$ farkı Joule'un hesaplamak istediği şeyi ifade ediyordu: Elektroliz tepkimesinin saklı ısına dönüşen kimyasal ısı. Elektroliz tepkimesinin saklı ısını Q_r olarak ifade eden Joule'un hesaplaması şöyledi:

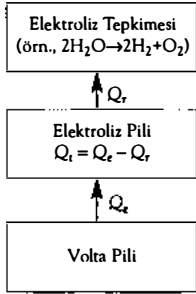
$$Q_r = Q_e - Q_i$$

Joule'un 1846'da elektroliz tepkimelerinin saklı ısılarını çarpıcı bir doğrulukla belirlemek için kullandığı bu denklem, termodinamiğin birinci yasasının karmaşık ve kesin bir uygulamasıdır. Bu yasanın Joule tarafından elektroliz pilinin girdileri ve çıktıları çerçevesinde anlaşıldığı, son denklemin şu şekilde yeniden düzenlenmesinden bellidir:

$$Q_i = Q_e - Q_r$$

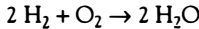
Burada Q_e pile bir girdi, Q_r tepkimeye aktarıldığı için bir çıktı, Q_i ise girdi ve

çıktı arasındaki farktır (Çizim 5.1). Dengeleyici ya da bilanço çıkarıcı türden bu hesaplama, örtük olarak bir korunum varsayımını belirtmekteydi: Dengelenen varlık pilin içinde yaratılmış ya da yok edilmiş olamazdı. Joule'un korunan bu varlığa verecek bir adı yoktu. Bunu altı yıl sonra Rudolf Clausius ile William Thomson tanımlayacak ve Thomson da "enerji" olarak adlandıracaktı. Enerji kavramına ulaşamamasına rağmen, besbelli ki Joule termodinamiğin birinci yasası konusunda çağdaşlarından epey önce işe yarar bilgilere sahipti.

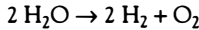


Çizim 5.1. Joule'a göre bir elektroliz pilinde girdi ve çıktı. Pilde ölçülen Q_t serbest ısı yalnızca volta pilinden Q_e girdisine ve elektroliz tepkimeye Q_r çıktısına bağlıdır. Q_e girdisinden Q_r çıktısının çıkarılmasına eşittir, yani $Q_t = Q_e - Q_r$.

Joule'un elektrokimya makaleleri ilk kez yayımlandığında çok az ilgi gördü, ne karşı çıkıldı ne de kabul edildi, yalnızca suskunlukla geçirildi. Bu kayıtsızlığın nedenlerinden biri herhalde Joule'un yaklaşımının olağandışı niteliği olmalıdır. Girdi-çıkıtı hesaplamasını kavramak o sıralarda yeterince zordu ama bunun ötesinde, Joule yanma tepkimelerinin (yani oksijen gazıyla tepkimelerin) ısılarını hesaplamak için elektroliz tepkimelerinin ölçülen ısılarını kullanmaktaydı. Örneğin, hidrojenin yanma tepkimesi için doğru bir ısı elde etmişti:



Bu denklem



biçimindeki suyun elektroliz tepkimesinin tam tersidir. Dolayısıyla Joule yanma tepkimesi ısısının elektroliz tepkimesi ısısıyla aynı büyüklükte olduğunu varsaymaktaydı.

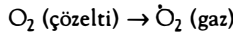
Bir yanma tepkimesini incelemek için tuhaf bir yoldu bu. Joule'un ilk biyografisini yazan Osborne Reynolds şunu belirtir: "[Elektrokimya makalelerinin ve Joule'un diğer ilk makalelerinin] içerdiği görüşler o sırada kabul gören şeylerin öylesine ilerisindeydi ki, kimse kendi yorumuna yeterince güven duyabilecek ya da bu görüşlerin dayandığı buluşların önemini tam kavradığına yeterince emin olabilecek durumda değildi. Bu yüzden de kabul ya da ret yönünde bir ifadede bulunmaya kalkışan olmadı." O dönemde makaleleri okuyan birinin epey-

ce kafa patlattığını ve sonunda yazarın ya dâhi ya da çatlak olduğuna kanaat getirdiğini gözümüzde rahatça canlandırabiliriz.

Ama makalelerinin okurlar için anlaşılır olup olmamasına aldırmış etmediği anlaşılan Joule için metodun çapraşık olması doğaldı. O sırada başta gelen kaygısı ısı, elektriksel ve kimyasal etkiler arasındaki eşdeğerliklerin doğru belirlenmesiydi. Bir kimyasal etkinin ısıl etkisini hesaplarken elektrik ve kalorimetre ölçümelerini kullanma dışında problemin üstesinden gelmeyi sağlayacak daha iyi bir yol aklına gelmiyordu.

Mekanik Eşdeğerler

Joule eşdeğerlikler sistemine mekanik etkileri katmasını sağlayan hayati adımı, bilimsel buluşa giden köklü bir yolu izleyerek attı: Şanslı bir hata yaptı. Elektrokimya makalelerinin dördüncüsünde, çinkonun ve diğer metallerin oksitlenmesine yol açıcı elektrot tepkimelerin meydana geldiği volta pillerinde ölçülmüş elektrik potansiyeli verilerini (günümüzün birimiyle voltajları) sundu. Yanlış bir yaklaşımla, bu tepkime potansiyellerinin tıpkı tepkime ısıları gibi kullanılabileceği kanısındaydı: Tepkime nasıl yürütülürse yürütülsün, verili bir tepkime için potansiyel hep aynı değere sahip olmalıydı. Pil potansiyelleri dikkatlice (geriye doğru) ölçülmediği sürece, bu yorum modern termodinamikçe onaylanmaz. Ne var ki, Joule ve çağdaşları böyle bir kısıtlamadan habersizdi. Bu hata Joule'u çözülen oksijene "esnek durumu"nun verildiği süreç, yani



tepkimesi için elektriksel ve ısı eşdeğerleri hesaplamaya yöneltti. Joule'un vardığı sonuç olmadık yükseklikte bir büyüklük sıralamasıydı. Ama nicel bakımdan yanlış olsa da, bu hesaplama Joule'un kavramsal anlayışını muazzam ölçüde ileriye götürdü, çünkü bir mekanik etki, yani çözeltiden oksijen gazı çıkışı için elektriksel ve ısı eşdeğerler elde ettiğine inanıyordu. Joule'un doğurgan hayal gücünde, fikir uyandırıcı bir şeydi bu. Dördüncü elektrokimya makalesinde, mekanik eşdeğerleri ölçme yollarını daha önce düşünmüş olduğunu belirtti. Peşinde olduğu şey ise "bir akımın mekanik ve ısınma güçlerinin birbirleriyle orantılı olduğu" sonucunu doğrulamaktı.

İşte olayların bu beklenmedik akışıyla, Joule günümüzde en çok tanınmasını sağlayan ısının mekanik eşdeğerine ilişkin belirlemeleri yapmaya girişti. Bu görkemli dizideki ilk deneyleri yirmi dört yaşında olduğu 1843'te gerçekleştirdi. Başlangıçtaki deneylerde, bir tel bobinini güçlü bir manyetik alan içinde mekanik yolla döndürerek bir elektrik akımı meydana getirdi. Bobin, suyla doldurulmuş ve yalıtım malzemesiyle sarılmış bir cam tüpün içindeydi. Bu nedenle bobindeki herhangi bir ısınmayı, manyetik alan içinde döndürme işleminden önce ve sonra tüpe daldırılan bir termometreyle ölçmek mümkündü. Bobinde oluşturulan akım ise bobini bir galvanometrenin bulunduğu bir dış devreye bağlayarak ölçüldü. Kaynağının tamamen farklı olmasına karşın, indüksiyon akımı Joule'un

daha önce incelediği volta akımı gibi davranmaktaydı: Her iki durumda da akım 12R ısınama yasasına uygun olarak ısınmaya yol açmaktaydı.

Bu tasarımın son deneylerinde, indüksiyon aygıtının çarkı, düşen ağırlıklarla harekete geçirildi, bu ağırlıkların bir mekanik iş olarak ölçülen mekanik etkisi doğrudan *foot-libre* (kısaltılmış biçimiyle ft-lb) olarak hesaplanabilirdi: Bu birim bir libreyi bir foot yukarıya kaldırmak için gereken işe eşdeğerti. Isı ise sıcaklık ölçümlerine uyan ve bir librelilik suyun sıcaklığını 1° Fahrenheit (F) yükselten bir birimle ölçüldü. Bu birimle ilişkili terimi ileride “İngiliz ısı birimi”, kısaltılmış biçimiyle Btu olarak kullanacağız.

Deneylerin birinde, Joule (aynı işlemi birçok defa tekrarlamak üzere) 4,75 lb’yi bulan ağırlıkları 517 feet’ten aşağı bıraktı ve bu düşüşün 2,46°F düzeyinde sıcaklık artışına yol açtığını saptadı. Cam tüpün, tel bobinin ve sıcaklık artışına maruz kalan suyun ağırlığını ısı bakımından eşdeğer bir su ağırlığına, 1,114 lb’ye çevirdi. Böylece ısınma etkisi 1,114 lb suda 2,46°F olarak ortaya çıktı. Eğer

1 lb suda aynı miktarda ısı yaratılmış olsaydı, ısınma etkisi $\frac{(2,46) (1,114)}{1} = 2,74^\circ\text{F}$

olacaktı. Joule bu durumda (517)(4,75) ft-lb’nin 2,74 Btu’ya eşdeğer olduğu sonucuna vardı. Genellikle mekanik işi 1 Btu’ya eşdeğer olarak belirledi. Thomson’un daha sonraları onun anısına *J* olarak adlandırdığı bu sayı söz konusu deney için şöyleydi:

$$J = \frac{(4,75)(517)}{2,74} = 896 \text{ ft-lb/Bt}$$

Bu, ısının mekanik eşdeğerine ilişkin belirlemelerden biriydi. Joule bu türden on üç deney yaptı ve *J* için 587 ft-lb/Btu ile 1040 ft-lb/Btu arasında değişen sonuçlar elde etti. Bunun üzerine 838 ft-lb/Btu düzeyinde bir ortalama değer bildirdi. Günümüzün “doğru” değerinin *J* = 778 ft-lb/Btu olduğunu belirtmek gerekir.

Joule’un bu deneylerde vardığı $\pm$ % 27 kesinliği pek çarpıcı bulmayan biri, ısının mekanik eşdeğerine ilişkin savlarını inandırıcı bulmayan Joule muarızlarına yakınlık duyabilir. Ama Joule’un giriştiği ölçümlerin, deneysel güçlük konusunda yeni standartlar getirdiğini unutmamak gerekir. Reynolds’a göre, 1843 makalesinde daha önce fizikçilerin giriştiği deneylerin hepsinden daha çetin deneyler sunulmaktaydı.

Zaten Joule kısa bir süre sonra daha iyisini başardı. 1845’te, ısının mekanik eşdeğeri konusunda epeyce farklı ama şaşırtıcı biçimde daha önceki ölçümüyle uyuşan bir başka belirleme sundu. İkinci deneyler dizisinde, sıcaklık değişikliklerini ölçtü ve hava sıkıştırıldığında ortaya çıkan ısıyı hesapladı. Gazların bilinen fiziksel davranışından hareketle, buna denk düşen mekanik etkiyi sıkışma sırasında hava üzerinde yapılan iş olarak hesaplamayı başardı.

Hava sıkışmasıyla ilgili bir deneyde, Joule ölçülen 0,344°F sıcaklık artışından 11230 ft-lb düzeyindeki iş ve 13,628 Btu düzeyinde bir ısınma etkisini hesapladı. Buna denk düşen ısının mekanik eşdeğeri şöyleydi:

$$J = \frac{11230}{13,628} = 824 \text{ ft-lb/Btu}$$

Aynı biçimde yapılan ve Joule'un 0,128°F sıcaklık değişikliğini ölçtüğü bir başka deney, $J = 796 \text{ ft-lb/Btu}$ sonucunu verdi. Joule'un iki deney için bulduğu 810 ft-lb/Btu ortalaması, 1843'te bildirdiği $J = 838 \text{ ft-lb/Btu}$ sonucuyla bir ölçüde tesadüfi olmakla birlikte çarpıcı bir uyuşma içindeydi.

Joule ayrıca sıkıştırılmış havanın genleşmesine ve atmosfer basıncına karşı iş yapmasına izin verdi. Sıcaklık ölçümleri yapıldığında, bu sefer bir sıcaklık azalışı olduğu ortaya çıktı. Bu genleşme deneylerinin birinde, Joule $-0,1738^\circ\text{F}$ sıcaklık değişikliği ölçtü ve bunu 4,085 Btu'ya indirdi. Denk düşen iş hesaplaması 3357 ft-lb verdiği için, şöyle bir sonuç çıktı:

$$j = \frac{3357}{4,085} = 822 \text{ ft-lb/Btu}$$

Joule bu türden iki deney daha yaptı; sırasıyla $J = 814 \text{ ft-lb/Btu}$ ve $J = 760 \text{ ft-lb/Btu}$ sonuçlarını veren $-0,081^\circ\text{F}$ ve $-0,0855^\circ\text{F}$ sıcaklık değişikliklerini ölçtü.

Joule'un meslektaşları bu sonuçlara baktıklarında, dikkatlerini çeken ilk şey çok küçük sıcaklık değişikliklerine ilişkin ölçümler için öne sürülen kesinlik oldu. O dönemde tek derecelik sıcaklık değişikliklerinin kesin ölçümü bile yeterince zordu. Joule üç ya da dört anlamlı haneye varacak ölçüde bir derecenin ondalık değerinde sıcaklık değişiklikleri bildiriyordu ve verdiği sonuçları bu ufak değişikliklere dayandırıyor. William Thomson'un işaret ettiği gibi, "Görüşünü kanıtlamak için, Joule'un elinde yalnızca bir derecenin yüzde birlik değerleri vardı." Bununla birlikte Joule'un savlarından çoğu geçerli dayanaklara sahipti. Sıcaklık ölçümlerini benzersiz duyarlılık ve kesinlik düzeyindeki cıva termometreleriyle yapıyordu. Termometrelerin hikâyesini bir otobiyografik notta şöyle anlatıyordu: "Bu deneyler için o sırada satın alınabileceklerden çok daha yüksek kesinliğe ve inceliğe sahip termometreler kullanmaya ihtiyaç vardı. Dolayısıyla Regnault'nun başvurduğu tarzda bazı bilinçli ayarlamalar yapmaya karar verdim. Bu konuda Bay Dancer'dan [Manchester'ın ünlü alet imalatçılarından J. B. Dancer] yeterince destek gördüm. Her sabah bir süreliğine atölyesine uğramaya başladım, böylece İngiltere'de o zamana kadar yapılmış ilk doğru termometreleri hazırladık."

Joule ısı ve mekanik iş eşdeğerliğini en dahice deneysel tasarımlarından birine dayanan üçüncü bir gaz genleşmesi deneyiyle ortaya koydu. Bu deneyde, birinin havası alınmış, diğeri basınçlı havayla doldurulmuş sabit hacimli iki kap bir vanayla birbirine bağlandı. Bu bağlantılı kaplar bir kalorimetrenin içine kondu, vana açıldı ve olağan sıcaklık ölçümleri yapıldı. Bu sefer Joule hiçbir net sıcaklık değişikliği saptayamadı. Basınçlı kaptan çıkarak genleşen hava biraz soğudu, içi boş kaba akan hava ise biraz ısındı ama net bir sıcaklık değişikliği gözlenmedi.

Joule'un beklediği sonuçtu bu. Bağlantılı iki kaptan oluşan bileşik sistemin kapalı ve sabit hacme sahip olması nedeniyle, bütün iş içsel olarak iki kap arasında birlikte yapılmıştı. Bir kaptan gaz tarafından yapılan iş, diğer kaptan gaz üzerinde yapılan işle dengelenmişti, ortada net bir iş yoktu. Sıfır işe eşdeğer ısı da sıfırdı. Joule'un ısı ve mekanik iş eşdeğerliği kavramı, aynen gözlemlediği gibi, deneyin net ısı etkisi yaratmamasını öngörmekteydi.

Isının mekanik eşdeğeri için kesin bir değere ulaşmaya dönük amansız uğraşta, Joule'un 1847'de giriştiği sonraki aşamanın çalışmaları çeşitli sürtünme süreçleriyle yaratılan ısıнын ölçüldüğü birkaç deney dizisine dayanıyordu. Sürtünme etkileri su, cıva ya da yağ dolu bir kalorimetrede sıvıyı bir kanatlı çark düzeneğiyle karıştırarak yapıldı. Bu düzeneği harekete geçiren şey, 1843 deneylerinde olduğu gibi düşen ağırlıklardı. Ağırlıkların yaptığı iş kanatlı çark karıştırıcısıyla doğrudan ısıya çevriliyordu ve bu ısı kalorimetre içindeki bir termometreyle ölçülebiliyordu.

Joule'un bütün icatları arasında dehasının en çok bilinen anıtına dönüşmüş olan bu deneysel tasarım, ısı ve mekanik iş eşdeğerliğinin en basit ve en doğru sunumunu sağladı. Temel özelliklerine indirgenmiş olan Joule tekniğiydi bu. Dolaşık indüksiyon aygıtına ve yaklaşık hesaplama değerlerine gerek yoktu. Yalnızca düşen ağırlıklar ve Joule'un hayret verici ölçüde doğru termometrelerinden biri yeterliydi.

Joule kanatlı çark düzeneğiyle ve kalorimetre sıvısını oluşturan suyla, 0,563°F düzeyinde bir sıcaklık artışından $J = 773,64 \text{ ft-lb/Btu}$ sonucunu elde etti. Kalorimetrede cıva kullanınca, $J = 773,762$ ve $776,303 \text{ ft-lb/Btu}$ sonuçlarına vardı. Sonraki iki deney dizisinde, Joule aygıtını cıva dolu bir kalorimetrede iki dökme demir halkasının sürtünmesini sağlayacak biçimde ayarladı, $J = 776,997$ ve $774,880 \text{ ft-lb/Btu}$ sonuçları ortaya çıktı.

Joule kanatlı çark deneylerini 1847'de Britanya Bilim İlerletme Derneği'nin Oxford'da düzenlediği bir toplantıda açıkladı. Daha önceki makalelerinin pek ilgi uyandırmamış olması nedeniyle, sunumunu olabildiğince kısa tutması istendi. "Ben de buna gayret ettiğim ve bir tartışma çağrısı yapılmadığı için" diye o günü anacaktı Joule, "dinleyici topluluğu içinde söz alan genç bir adam zekice gözlemleriyle yeni teoriye dönük canlı bir ilgi uyandırmamış olsaydı, bildiri hiç yorum yapılmaksızın geçiştirilip gidecekti."

Suskunluk sonunda kırılmıştı. Sözü edilen genç adam kısa bir süre önce Glasgow Üniversitesi'nde doğa felsefesi profesörlüğüne getirilmiş olan William Thomson'du. Joule'un çalışmaları konusunda bazı çekinceleri olsa da, bunların gözardı edilemeyeceğinin farkındaydı. Babasına yazdığı bir mektupta, "Eminim ki Joule fikirlerinin birçoğunda hatalı" diye belirtiyordu, "son derece önemli bazı olguları, sözelimi sıvıların sürtünmesiyle ısıнын ortaya çıktığını keşfetmiş gibi görünüyor." Thomson 1882'de o günleri şöyle aktaracaktı: "Joule'un Oxford toplantısındaki bildirisi büyük bir sansasyon yarattı. Faraday oradaydı ve bir hayli etkilendi ama yeni görüşleri ele almaya tam girişmedi. (...) Aradan çok zaman geçmeden, Stokes bana Joule'un yolunda gimeye eğilimli olduğunu anlattı."

George Stokes yıldızı parlayan bir başka genç fizikçi ve matematikçiydi, 1847'de Cambridge'e bağlı Pembroke College'ın öğretim üyesiydi ve iki yıl sonra da bir zamanlar Newton'un işgal ettiği Lucas kürsüsü matematik profesörlüğüne atandı.

Oxford toplantısını izleyen üç yıl içinde, Joule kıyıda kalmışlığın çemberinden kurtularak İngiliz bilim çevrelerinde seçkin bir konuma yükseldi. İltifat önce kara Avrupa'sından geldi: Önde gelen Fransız dergilerinden *Comptes Rendu* 1847'deki tokaç-kürek deneylerine ilişkin kısa bir açıklama yayımladı ve Joule 1848'de Torino'daki Kraliyet Bilimler Akademisi'nin yazışma üyeliğine seçildi. Daha önce Torino Akademisi bu onuru yalnızca iki İngiliz bilim adamına, Faraday ile William Herschel'e vermişti. Joule 1850'de, henüz otuz bir yaşındayken İngiliz bilim dünyasının takdir nişanesi olan Kraliyet Bilimler Derneği üyeliğine seçildi.

Bu maceralı üç yıldan sonra, Joule'un başlıca araştırmaları genleşen gazların davranışını odak alan ve Thomson'la uzun süreli işbirliğine dayanan bir çizgi izledi. Tarihte bir teorisyen ile bir deneycinin yeteneklerinin başarılı ve mutlu bir biçimde birleştiği ilk işbirliği çabalarından biriydi bu.

Canlı Kuvvet ve Isı

Joule bir çavlanın dibindeki suyun tepedeki suya göre biraz daha sıcak olması gerektiği kanısındaydı ve bu tür etkileri saptamaya yönelik girişimleri vardı. (Thomson'un aktardığı masalımsı ya da en azından süslenmiş hikâyeye bakılırsa, İsviçre'deki balayında bile bununla uğraşmıştı). Joule'a göre, söz konusu durum "ısı, canlı kuvvet ve boşluk boyunca çekim çekim... karşılıklı olarak birbirlerine dönüşebilir, bu dönüşümlerde asla bir şey kaybolmaz" diye açıkladığı korunum ilkesinin bir örneğiydi. Bu saptama neredeyse mekanik ve ısı enerjisi korunumunun bir ifadesidir ama biraz açıklamayı ve ayrıntılara girmeyi gerektirir.

Newtoncu mekanik uyarınca mekanik enerjinin temelde birbiriyle bağlantılı "potansiyel" ve "kinetik" veçheleri vardı. "Potansiyel enerji" yerin yukarısında tutulan bir ağırlıkta belirgindir. Yukarıya kaldırılması bir iş yapmayı gerektirdiği için bu ağırlık enerji taşır ve ağırlığın çok yavaşça düşmesine ve hiç sürtünme kaybı olmayan mekanizmayı çalıştırmasına izin vererek bu iş tamamen geri kazanılabilir. Bekleneceği üzere, ağırlığın potansiyel enerjisi kütlesiyle ve yerden yüksekliğiyle orantılıdır: Eğer 100 metre yükseklikten bırakılırsa, 50 metreden bırakılma durumundaki işin iki katını yapabilir.

Artık mekanizmaya bağlı olmayacak biçimde serbestçe düşmesine izin verilirse, ağırlık hiçbir iş yapmaz ama ivme içine girer ve artan hızından dolayı "kinetik enerji" kazanır. Tıpkı potansiyel enerji gibi, kinetik enerji de doğru türden mekanizmayla işe dönüştürülebilir ve aynı biçimde ağırlığın kütlesiyle orantılıdır. Buna karşılık hızla ilişkisi, Newton'un ikinci hareket yasasının öngördüğü gibi, hızın karesine göredir.

Serbest düşüşte ağırlığın kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamına eşit bir mekanik enerjisi vardır.

$$\text{mekanik enerji} = \text{kinetik enerji} + \text{potansiyel enerji} \quad (1)$$

Serbest düşüş halindeki ağırlık yere doğru yaklaşırken potansiyel enerji kaybeder ve aynı zamanda ivmeyle birlikte kinetik enerji kazanır. Newton'un ikinci yasası bize iki değişikliğin tam olarak birbirini telafi ettiğini ve toplam mekanik enerjinin korunduğunu belirtir. Bunun tanımı şöyledir:

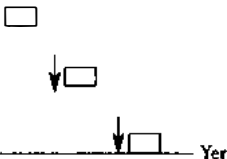
$$\text{kinetik enerji} = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

$$\text{potansiyel enerji} = mgz \quad (3)$$

Bu denklemlerde m ağırlığın kütlesi, v ağırlığın hızı, z yerden yükseklik, g ise daha önce yerçekimi ivmesi olarak tanımladığımız sabit değerdir. Toplam mekanik enerjiyi E olarak ifade edersek, denklem (1)

$$E = \frac{mv^2}{2} + mgz \quad (4)$$

haline gelir ve Newton'u ikinci yasasına dayandırılan korunum yasası E 'nin her zaman sabit olmasını sağlar. Çizim 5.2'nin gösterdiği gibi, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşüm sürecidir bu. Düşmeye başlamadan önce ağırlığın 10 birim potansiyel enerjisi vardır ve kinetik enerjisi hiç yoktur. Yere doğru düşüşün yarısına vardığında, hem potansiyel hem de kinetik enerjisi 5 birimdir, yere çarpmasından önceki anda ise artık potansiyel enerjisi hiç yoktur ve 10 birim kinetik enerjisi vardır. Bütün bu süre içinde toplam mekanik enerjisi 10 birimdir.



	0	5	10	Yer
$mv^2/2$	0	5	10	
mgz	10	5	0	
E	10	10	10	

Çizim 5.2. Bir ağırlığın serbest düşüşüyle potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünü ve toplam mekanik enerji korunumunu gösteren çizim.

Joule'un "canlı kuvvet" (Latince *vis viva*) terimi mv^2 'yi, yani neredeyse $\frac{mv^2}{2}$

kinetik enerjisiyle aynı şeyi belirtir, "boşluk boyunca çekim çekim" ibaresi ise potansiyel enerjiyle aynı anlama gelir. Dolayısıyla Joule'un canlı kuvvetin ve

boşluk boyunca çekimin karşılıklı dönüşebilir olduğu ve bu dönüşümde hiçbir şeyin kaybolmadığı yolundaki savları, Newtoncu fizikteki mekanik enerjinin korunumuna yakındır. Çavlanın tepesindeki suyun yalnızca potansiyel enerjisi vardır, dipteki havuza inmesinden hemen önce ise yalnızca kinetik enerjisi vardır. Bir an sonra su havuzda sakince durur ve Joule ilkesi uyarınca, korunan üçüncü niceliğin, yani ısıнын katılmasıyla su daha sıcak hale gelir, çünkü mekanik enerjisi ısıya dönüşmüştür. Joule bu çavlan etkisini doğrulamayı hiçbir zaman başaramadı. Normalde en büyük çavlanın yaratacağı sıcaklık değişikliği bir derecenin onda birinden daha yüksek çıkmaz. Joule bile bunu bir dağ yamacında saptayamazdı.

Joule'un ısıyla ilgili mekanik bakış açısı, onu bir cismin hareketinin ısıya dönüşümü sırasında hareketin aslında kaybolmadığına, çünkü ısıнын bizzat hareketin sonucu olduğu kanısına götürdü. Isıyı maddeyi oluşturan parçacıkların içsel, gelişigüzel hareketi olarak görüyordu. Bu genel fikrin en azından on yedinci yüzyılda Robert Boyle ve Daniel Bernoulli'ye kadar inen çok uzun bir geçmişi vardı.

Joule madde parçacıklarını hızla dönen "elektrik atmosferleri"nin kuşattığı atomlar olarak resmetti. Ona göre, atmosferlerin merkezkaç kuvveti, basıncı düşürülen ya da sıcaklığı artırılan bir gazın genleşmesine yol açmaktaydı. Isıya dönüşen mekanik enerji ise atom atmosferlerinin dönel hareketi haline gelmekteydi. Joule'un bu kestirimleri daha sonraları verilen adla "moleküler (ya da kinetik) gaz teorisi"nin ilk adımını ifade eder. Onun açtığı yolda ilerleyen Clausius, Maxwell ve Boltzmann bu alanda belirleyici çalışmaları yaptılar.

Bir Joule Eskizi

Joule'la 1869'da tanışan Osborne Reynolds, onun orta yaşlardaki görünüşüne ve duruşuna ilişkin şu izlenimi aktarıyor bize: "Yaşı 51'e varan Joule orta boyun epeyce altındaydı, biraz tombul ve şekil itibarıyla toparlaktı, giyimi temiz ve düzgün olmakla birlikte son derece sıradandı, tavır ve hareketlerinde doğal incelikten hiç eser yoktu, davranış biçimi biraz asabiceydi ve öyle ahım şahım bir konuşma becerisi yoktu. Bunlar bir araya geldiğinde hayatına damgasını vurmuş olan bir yalınlığın ve her türlü özentiden tamamen uzaklığın getirdiği bir izlenim bırakıyordu."

Joule yirmi dokuz yaşına geldiği 1847'de otuz üç yaşındaki Amelia Grimes'le evlendi, biri kız, biri oğlan iki çocukları oldu. Amelia 1854'te öldü. Joule'un son biyografisini yazan Donald Cardwell, "sarsıntının dinmesi uzun süre-yi aldı" diye yazar. "Dostlarının ve çağdaşlarının ortak kanısı, zaten pek hodpesent olmayan bu adamın gittikçe daha çok içine kapandığıydı." On dört yıl sonra Joule bir kez daha âşık oldu. Bu kez tutulduğu kişi "Fanny" olarak bilinen kuzeni Frances Tappenden'di. Thomson'a yazdığı bir mektupta şunu anlatır Joule: "En son buraya geldiğinde gördüğün kuzenimle aramda bir sevgi doğdu. Önümüzde engeller olduğu için, bundan güçbir şey çıkmayabilir" Nitekim "engeller" evliliği önledi ve sonunda Fanny başka bir adamla evlendi.

Joule'un siyasal eğilimi muhafazakârdı. William Gladstone ve John Bright

gibi reform yanlısı Liberal siyasetçilere karşı ateşli, kimi zaman mantıksız bir hıncı vardı. John Tyndall'a yazdığı bir mektupta şunları yazmıştı: "İşin gerçeği şu ki, Bay Gladstone'un derdi kendisini iktidarda tutacak pürüzsüz bir 'temsil' makinesi kurmaktır. (...) Gelecek kuşaklar onu İngiltere'nin gördüğü en berbat 'devler adamı' diye yargılayacak ve Parlamento hakkındaki hükümleri de aynı olacak."

Bir başka biyografi yazarı J. G. Crowther'ın ifadesiyle, Joule'un "katıksız temkinli" bir kişiliği vardı. Bir yandan sınırsız özen ve sabırla deneyler yürütüyor, bir yandan da Liberal siyasetçilere ateş püskürüyordu. Aşırı zihinsel çabanın sağlığına zarar vermesinden korkuyordu. 1860'daki Manchester'daki Owens College'da yeni bir fizik profesörlüğü kadrosu açıldı. Joule rahatlıkla bu görevi alabilirdi ama Thomson'a bir mektubunda açıkladığı şu gerekçeyle başvurmama kararı aldı: "Owens profesörlüğü için başvuracak cesaretim yok. Doğrusunu istersen, beynimi aşırı yormamın bana iyi geleceği kanaatinde değilim. Birkaç yıl önce, çok küçük zihinsel zorlanmanın bile bana fazla geldiğini hissettim ve bu yüzden olabildiğince kendimi düşünceden uzak tuttum. Bir parça düzelmiş gibiyim ama buna çok fazla bel bağlamanın benim için hayırlı olacağını sanmıyorum. Kendimi yormazsam, uzun vadede çok daha fazla iş yapmış olacağım."

Joule'un hayatı o sıralarda telaşlı ve sıkıntılıydı, çöküntünün eşiğine geldiği kanısına varmış olabilir. Amelia 1854'te öldü, aynı yıl bira fabrikası satıldı. Thomson'la birlikte yürüttüğü deneyler de sürmekteydi. Sonraki altı yıl içinde, evini ve laboratuvarını iki kez taşıdı. İkinci taşınmadan sonra, alet edevatı arasında yer alan üç beygircüğündeki buhar makinesinin çıkardığı gürültü ve dumana itiraz eden bir komşuyla sert bir dalaşmaya girmesi rahatını kaçırdı. Bu komşu "Manchester Belediye Meclisi'nin kıdemli bir üyesi ve huzuru koruma komitesinin başkanı olan, toplumun tortu kesiminden gelip sivrilmiş çoğu insan gibi kendini çok mühim adam sanan Bay Bowker diye biri"ydi.

Yine bu dönemde Joule bir tren kazasında ağır yaralanmaktan ucu ucuna kurtuldu ve bu olaydan sonra tren yolculuğundan neredeyse denetlenemez bir korku duymaya başladı. Buna karşılık, tehlikeli olsa bile deniz yolculuğundan hoşlanıyordu. Fanny'ye yazdığı bir mektupta, İrlanda'nın Atlas Okyanusu kıyısı açıklarında erkek kardeşinin arazi sahibi olduğu Tory Adası'na on millik seyahatini şöyle tasvir ediyordu: "Genişliği bir buçuk metreden iki yüz metreye kadar varan ve boyu altı metreye varan dalgalar. Bizimle birlikte olan ve okyanuslarda 25 yıl yatçılık yapmış olan Dr. Brady, hiç bu kadar tehlikeli bir deniz görmediğini söyledi. Ne var ki, denizin muhteşem görüntüsü içimizi sarmış olabilecek na- hoş korku duygusunu alıp götürdü."

Bilimsel maharetin bazı alanlarında Joule silikti. Bir teorisyen olarak ustaydı ama seçkin sayılmazdı. Parlak bir konuşmacı değildi ve dönemin bilim çevrelerinde bir ağırlığı yoktu. Buna karşılık üç şeyde olağanüstüydü: Bunlar da deney becerisi, bağımsızlık ve ilham gücüydü.

Joule açık seçik eşdeğerlik ilkelerinin ancak deneysel kesinliğe en sıkı öze- ni göstererek ortaya konabileceğini ilk kavrayan kişiydi. Bu amacına savlarını

dayandıracağı ölçümleri titizlikle ayıklayarak ulaştı. Crowther onun deneysel stratejilerindeki kestirmeliğe ve yalınlığa hayranlığını şöyle anlatıyor: “El yordamıyla ilerleyen çok sayıda başarısız deneyden zerre kadar doğruluk payı çıkarmaya kalkmadı. Aşağı yukarı bütün deneylerinin kusursuzca tasarlanıp yürütüldüğünü söylemek mümkündür; ilk taslak neredeyse hiç gözden geçirilmeden yayımlanmak üzere dergilere gönderilebilirdi.”

Joule hayatının büyük bölümünde yüklüce bir bağımsız gelire sahip oldu. Bu durum kişisel düzeyde bir bilimsel kariyer izlemesini ve gerek duyduğu entelektüel bağımsızlığa kavuşmasını mümkün kıldı. Crowther bize Joule'un yetişme ortamının bu yüzünü şöyle anlatır:

Zengin bir genç adam olarak, bir kariyere uygun olmasını ya da gelecekteki güçlü dostlarla tanışmasını sağlayacak geleneksel eğitimden geçmesine gerek yoktu. İlk araştırmalarını kısmen genç bir beyefendinin oyalanacak bir şeyler bulma ruhuyla yürüttü, seçtiği uğraş da kavgı, siyaset ya da kumar yerine bilim oldu. Çok uzun bir akademik eğitim görmüş bir öğrencinin böyle araştırmaları Joule'un düşünsel eşitlik yaklaşımıyla açıklamış olabileceğine inanmak zordur. Büyük bir hocanın yanında çalışmış yetenekli öğrenci ilk bildirilerinde neredeyse kesinlikle daha az bağımsız bir yaklaşımı benimserdi, çünkü üstündeki kişinin başardığı işleri takdir etmenin gereği olan hürmetin yanı sıra ona bağlı bir yamak tutumunu sergilerdi. Mümtaz bir hocanın rehberliğinden sonra hürmette kusur eden bir öğrenci hemen her zamanda alelade bir konumda kalır.

Joule'un mümtaz bir hocanın rehberliğinden tamamen yoksun kaldığı söylene- mezdi. 1834'ten başlayarak üç yıl boyunca, kardeşi Benjamin'le birlikte John Dalton'dan ders aldı. O sırada altmış sekiz yaşında olan Dalton, her zamanki gibi çocuklara fen ve matematiğin temellerini öğreterek geçimini sağlıyordu. Joule Kardeşler'in ondan aldıkları öğrenim pedagojik bakımdan pek de başarılı sayılmazdı. Dalton onlara aritmetik ve (Eukleidesçi) geometri öğrettikten sonra daha ileri matematiğe geçti, bu arada fizik ve kimyaya çok az önem verdi. Dalton'un ders programı Joule'a uygun değildi ama resmîyetten daha uzak bakımlardan onun için yararlı oldu. Joule daha sonraları otobiyografik notunda şunu yazacaktı: “Dalton öğrencilerine bilimsel doğruluğu aşıl原因an ender bir güce sahipti, bende özgün araştırmalarla bilgimi artırma arzusunu uyandıran şey onun öğütleriydi.” Dalton hocalığı sırasında olmasa bile yazılarında, fizik biliminin temellerini kurmada kesin ölçümlerin büyük önemini vurgulamaktaydı. Joule'un diğerlerinden daha çok kulağına küpe ederek uyguladığı bir dersti bu. Dalton'un kendi çabasıyla yetişmiş ve hep Manchester'da kalıp mesleğini icra etmiş bir kişi olarak kimyasal etki alanındaki teorileriyle uluslararası üne kavuşabilmesinin sunduğu örnek, Joule'u da aynı yolu izleyebileceğine ikna etmiş olmalıdır.

Joule'un bağımsızlığı, doğal gelişmeyle ya da Dalton sayesinde edindiği birikime ve yeteneklere güveni sonraki yıllarda birçok kez sınamadan geçti ama hiç sarsılmadı. Isının mekanik eşdeğeri üzerine 1843'te ortaya koyduğu ilk belir-

lemesi görmezden gelindi, daha sonraki belirlemeleri de 1847'deki Oxford toplantısında Thomson ve Stokes'un dikkatini çekene kadar pek az ilgi gördü.

Joule sürtünme deneylerinin bir özetini yayımlanmak üzere gönderirken makalesini üç sonuçla bağlamıştı. Bu sonuçlar sürtünme deneylerinde ısı ve mekanik iş eşdeğerliğinin görüldüğünü ortaya koyuyor, ölçümle belirlenen J değerini aktarıyor ve "mekanik gücün ısıya dönüşümünde sürtünmenin yer aldığını" belirtiyordu. Makaleyle ilgili raporu yazan (ve Faraday olduğu sanılan) önseçici, yazıdan üçüncü sonucun çıkarılmasını istedi.

Joule'un ilk elektrokimya makalesinin yayımlanması Kraliyet Bilim Derneği'nce reddedildi ve yalnızca bir özetine yer verilmesi uygun görüldü. Arthur Schuster, bu önemli makalenin geri çevrilmesi karşısındaki tepkisini sorduğu zaman, Joule'dan karakterine uygun şu cevabı aldığını belirtir: "Şaşırmadım. Londra'da bir masanın etrafında oturan o beylerin birbirlerine, 'Günün ortasında akşam yemeğinin yendiği bir şehirden [Manchester] nasıl iyi bir şey çıksın ki?' diye söylediklerini kafamda canlandırabiliyordum."

Ama bütün yeteneklerine, maddi avantajlarına ve entelektüel bağımsızlığına rağmen, Joule bilimsel çalışmalarında alışılmamış türden bir ilham kaynağı olmaksızın bütün o işleri asala başaramazdı. "Doğanın ve yasalarının incelenmesi" Joule için "özünde kutsal bir vecibe"ydi. Uzun süreli bir ölçümler dizisinde ufak hataları saptamak için gereken devasa sabrı gösterirken, bir yandan da ayırtımları aşip bu çabasını "doğanın yasalarıyla tanışma... ve aynı ölçüde Tanrı'nın orada ifadeye bürünen zihniyle tanışma" arayışı olarak görebiliyordu. Büyük teorisyenlerin kimi zaman böyle düşünceleri olur. Albert Einstein'ın "dünyanın ezeli ve ebedi gizemi anlaşılabilir olmasıdır" sözlerinden de aynı anlam çıkarılabilir. Ancak ömürlerini alet okuma ve aygıt tasarlama gibi görünüşte dünyevi işlerle geçiren deneycilerin "Tanrı'nın zihni"yle iletişime girdikleri kanısına varmaları ender rastlanan bir durumdur.

Bilim tarihinde Joule'un ki kadar basit ama aynı zamanda derin öneme sahip bir bilimsel miras bulmak zordur. Joule'un başlıca başarıları

$$J = 778 \text{ ft-lb/Btu}$$

gibi tek bir ifadeyle özetlenebilir ve bu sonucun olağanüstü bir doğruluk ve kesinlikle elde edildiği eklenebilir. Joule'un bilim literatüründeki anıtı, günümüzde 4,1840 kilogram-metre/kalori olarak aktarılan ve bir enerji biriminden diğerine nicel geçiş yaparken zamane öğrencilerince basmakalıp ve minnetsiz kullanılan işte bu denklemdir.

Joule'un ölçümleri 1840'larda bakış açısına bağlı olarak çok daha hayranlık ya da rahatsızlık uyandırmaktaydı. Enerji kavramı henüz geliştirilmemişti (bunun için beş on yıl daha geçmesi gerekcekti) ve Joule sayısı enerji dönüşümünün ve korunumunun alamet-i farikası olarak layık olduğu yeri bulmamıştı. Bununla birlikte Joule'un araştırmaları bir şeyin dönüştüğünü ve korunduğunu açık seçik ortaya koydu ve bu şeyin ne olabileceğine dair hayati ipuçlarını sağladı.

Bütünlükleri Birleştiren Hermann Helmholtz



Birleştiriciler ve Ayrıştırıcılar

Bilim büyük ölçüde iki partiye ayrılmış bir uğraştır. Çoğu bilim adamı iki kamptan birinde yer almakta güçlük çekmez. Bu kamplar tıpkı siyasi partilere yakıştırılan adların kesinliğiyle, teorisyenler ve deneyciler diye adlandırılabilir. Bilim adamlarına ve izledikleri tarzlara ilişkin keskin gözlemleriyle tanınan Freeman Dyson, bilimsel bağlılıklar ve tutumlar konusunda kabaca denk ama daha köklü bir ayrım önermiştir. Ona göre, tarihi boyunca bilim “birleştiriciler”in ve “ayrıştırıcılar”ın neredeyse eşit katkısıyla ilerlemiştir. Çoğunlukla teorisyenlerden oluşan birleştiriciler, bilimin birleştirici yapısını açığa çıkaran ilkeler peşinde koşarlar. Genelde deneyciler arasından çıkan ayrıştırıcılar ise bilimin düzene konmamış olgularını keşfetmeye çalışırlar. Bilim alanındaki birleştiricilerin ve ayrıştırıcıların çabaları canlı bir tamamlayıcılık taşır. Ayrıştırıcıların biriktirdiği geniş olgu yığınlarından birleştiricinin teorileri doğar, bu teoriler ise ayrıştırıcıları yeni gözlemlere yöneltir ve bu gözlemler de kimi zaman birleştiriciler için yıkıcı sonuçlara yol açar.

Burada katkılarını övgüyle andığımız termodinamikçiler, 19. yüzyılın ve 20. yüzyıl başlarının en büyük bilimsel birleştiricileri arasındaydı. Üçünün hikâyesini daha önce anlattık: Makinelerin baş döndürücü karmaşıklıkları içinde bütünlükleri arayan Sadi Carnot, enerji kavramına ilişkin görkemli kestirimlerde bulunan Robert Mayer, ısı, elektriksel, kimyasal ve mekanik etkiler arasındaki eşdeğerlikleri kesin olarak belirlemeye çalışan James Joule. Şimdi bu kronolojiyi sürdürerek, enerji kavramının daha sonraki gelişimine odaklanacağız. Sahneyi

alacak olan termodinamikçi ise birleştiricilerin en müzmini olan Hermann Helmholtz.

Tıp ve Fizik

Helmholtz, tıpkı Mayer gibi, tıp mesleğine dönük bir eğitimden geçti. Ona kalsa fizik ve matematik okurdu ama lise öğretmenini olan babasının kısıtlı maaşından dolayı, fen öğrenimi görmesinin tek yolu tıp dalında bir devlet bursu almaktı. Bu bursla Berlin'deki Friedrich-Wilhelm Enstitüsü'nde okudu ve doktora tezini Johannes Muller'in yanında hazırladı. O sıralarda Muller ve çevresine topladığı yetenekli öğrenciler, fizyolojiye fiziksel ve kimyasal bir yaklaşımın temellerini atıyorlardı. Bu çabalar günümüzde biyofizik ve biyokimya olarak bilinen disiplinlerin ilk adımıydı. Muller'in amacı tıp bilimini geçmişin tortusu niteliğindeki bütün metafizik aşırılıklardan arındırmak ve yalnızca sağlam ampirik temellere dayalı ilkeleri korumaktı. Helmholtz da Muller'in üç öğrencisi Emil du Bois-Reymond, Ernst Brucke ve Carl Ludwig'de güç birliğine girdi, daha sonraları "1847 grubu" olarak anılan dört arkadaş, yeteneklerini ve kariyerlerini fizyolojiyi yeniden biçimlendirme ve bir fizyokimya bilimine dönüştürme görevine adanılar.

Die Erhaltung der Kraft

Her ne kadar Helmholtz'un birinci tercihi olmasa da, tıp en zorlu koşullarda bile ona hizmet etti ve o da tıbbı hizmetten geri kalmadı. Aldığı burs uyarınca sekiz yıl askeri cerrah olarak çalışmak zorundaydı. Bu göreve pek hevesli olmadan başladı. Potsdam alayındaki cerrahlık hayatında daha önce Berlin'de bulunduğu fikri heyecanı verecek çok az şey vardı. Ama Helmholtz'un düşünsel itici gücünü kendi başına sağlama yeteneği olağanüstüydü. Eldeki olanakların son derece sınırlı olmasına ve sabahleyin saat beşte kapısında çalan kalk borusundan sonra uyuyamamasına rağmen, kasların çalışmasında metabolizmanın rolü, kaslarda ısı iletimi ve sinir uyarımlarının taşınma hızı gibi konuları kapsayan dört dörtlük bir araştırma programına kısa sürede girişti.

Büyük ölçüde bilimsel yalnızlık içinde olduğu bu dönemde, Helmholtz önemli termodinamikçilerden biri olarak dikkatimizi üzerinde toplamamıza vesile olan enerjinin korunumu üzerine bildirisini yazdı. (Carnot, Mayer ve Joule'un hikâyelerinde olduğu gibi, tarihte çığır açan kişi bir kez daha bilim dünyasının dışından biriydi.) Helmholtz'un *Über die Erhaltung der Kraft* (Kuvvetin Korunumu Üzerine) başlığını taşıyan bildirisi, du Bois-Reymond ile Muller'in başka öğrencileri ve Gustav Magnus'un kısa bir süre önce kurmuş oldukları Berlin Fizik Derneği'ne Temmuz 1847'de sunuldu.

Başlıktan da anlaşılacağı üzere, Helmholtz'un 1847 bildirisi "[maddenin] etkiler yaratma kapasitesi" olarak tanımladığı "kuvvet" (Almanca'da "Kraft") kavramıyla ilgiliydi. Daha önce Mayer'in uğraştığı gibi, üzerinde durduğu konu (termodinamik bağlamında ancak 1850'lerde açık seçik tanımlanan) modern enerji kavramı ile Newtoncu kuvvet kavramı arasında bir bileşim kurmaktı. Helm-

holtz'un "Kraft" sözcüğünü kullanma biçimlerinden bazıları hiçbir kafa karışıklığına yol açmaksızın "enerji" olarak tercüme edilebilir. Diğerleri ise öyle yorumlanamaz, bu özellikle doğrultu özelliklerinin varsayıldığı ve "Kraft"ın Newtoncu çağrışımla "kuvvet" anlamına geldiği durumlarda geçerlidir.

Helmholtz daha sonraları 1847 bildirisinin ilk ilham kaynağının öğrenciliği sırasında "dirimsel kuvvet" kavramına tepkisi olduğunu yazacaktı. Muller de dahil dönemin fizyologları arasında yaygın benimsenen bir kavramdı bu. Helmholtz'un bir türlü kabul edemediği temel fikir, yaşam süreçlerini yalnızca fiziksel ve kimyasal olayların değil, aynı zamanda "[kimyasal ve fiziksel] kuvvetlerin etkinliklerince yön veren bir içkin hayat kaynağının, yani dirimsel kuvvetin" denetlediğini öne sürüyordu. "Ölümden sonra kimyasal ve fiziksel kuvvetlerin serbest etkisi çürümeye yol açar, oysa hayat sırasında aynı etki hayatın özü tarafından sürekli düzenlenir." Bunu düpedüz metafizik sayan Helmholtz'a göre, dirimsel kuvvet bir tür biyolojik sürekli hareket demektir. Halbuki fiziksel ve kimyasal süreçlerin sürekli harekete olanak vermediğini biliyordu ve aynı kısıtlamanın bütün yaşam süreçlerini kapsaması gerektiğini düşünüyordu.

Helmholtz bildirisinde ayrıca Daniel Bernoulli ve Jean d'Alembert başta olmak üzere 17. ve 18. yüzyıl yazarlarından mekanik hakkında öğrenmiş olduğu şeyleri ele almaktaydı. Bildirinin bu bölümünde *apriori* inançların devreye girdiği belirgindir ama bu varsayımların en temel nitelikte olanı açıkça ifade edilmez. Bilim tarihçisi Yehuda Elkana bizler için bu boşluğu şöyle doldurur: "Helmholtz iki temel inanca büyük bir kararlılıkla *apriori*-bağlıydı: (a) Fizikteki bütün olgular mekanik süreçlere indirgenebilir (Helmholtz'u okuyan hiç kimse bundan kuşku duymaz) ve (b) Doğada hep korunan bir tür temel varlığın olması gerekir ([ancak] Helmholtz'un eserlerinde o kadar çok sözle yer almaz bu)." Fizyoloji söz konusu olduğunda, "bütün organik süreçlerin fiziğe indirgenebileceği" yolunda bir üçüncü inanca gerek vardı. Bu genel fikirler daha önce Mayer'in öne sürdükleriyle dikkate değer bir benzerlik içindeydi ama Helmholtz 1847'de Mayer'in bildirilerini okumamıştı.

Helmholtz'un temel sorunu, kendi bakış açısıyla, bu korunan varlığı belirlemektir. Tıpkı Mayer gibi ama ondan bağımsız olarak, korunum ilkesindeki kilit rol için "Kraft" niceliğini seçti. Mayer çoğu çağdaşının benimsediği "Kraft"ın çapraşık ikili anlamından kaçınmayı başaramamıştı. Buna karşılık Helmholtz söz konusu muğlaklığı kavrayan ilk kişilerden biriydi. Mekanik bilgisi sayesinde, "Kraft"a korunan bir nicelik rolü biçildiğinde, terimin artık Newtoncu kuvvet anlamında kullanılamayacağını görebiliyordu. Mekanik teorisi Newtoncu kuvvetlerin genel bir çerçevede korunan nicelikler olmadığını açık seçik ortaya koyuyordu.

Bu akıl yürütme biçimi Helmholtz'u korunan varlığa ilişkin işe yarar bir belirlemeye yaklaştırdı ama (diğer iki seçkin termodinamikçi Clausius ve Thomson'la birlikte) kavramsal açıdan aşaması gereken zorlu bir yol vardı hâlâ. Mekanik kılavuz alabilir, mekanik enerjinin korunum özelliği taşıdığını saptayabilir ve ilkesi için gerek duyduğu korunan niceliğin mekanik enerjiye özgü bazı has-

salara (en azından birimlere) sahip olduğunu varsayabilirdi. Helmholtz anlaşıldığı kadarıyla böyle bir akıl yürütmeye başvurdu ama enerji kavramını tam anlamada bundan daha ileri noktaya vardığını gösteren bir belirti yoktur. Her ne olursa olsun, ulaşabildiği ölçüde mesajı önemliydi ve zamanla kabul gördü. “[1847 bildirisinde] sonra” diye yazar Elkana, “enerji kavramı oturma aşamasından geçti, Almanca ‘Kraft’ (korunum bağlamında) dosdoğru ‘enerji’ anlamını taşır hale geldi ve daha sonra yavaş bir süreçler yerini ‘Energie’ ifadesine bıraktı. Kütlenin ivmeyle çarpımına dayalı boyutlarıyla Newtoncu ‘Kraft’ basbayağı bizim ‘kuvvet’ dediğimiz şeye dönüştü.”

Burada Helmholtz’un 1847 bildirisinde ele aldığı kilit noktaya ağırlık verdim. Bildiri aslında uzundu ve ısı fiziğinde, mekanikte, elektrikte, manyetizmada ve (tek paragraflık kısa bir değinmeyle) fizyolojide korunum ilkesinin birçok örnekli açıklamasını içeriyordu.

Artılar ve Eksiler

1847’de henüz yirmi altı yaşında olan Helmholtz’un bildirisindeki körpe çaba, Berlin Fizik Derneği’nin körpe üyelerine okunduğunda coşkuyla karşılandı. Bilim dünyasının başka kesimlerinde yaklaşım aynı ölçüde olumlu olmadı. Helmholtz bildiriye yayımlanmak üzere Poggendorff’un *Annalen* dergisine gönderdi ve aynen beş yıl önce Mayer’in başına geldiği gibi, ret cevabı aldı. Enerji kavramı üzerine söyleyecek önemli şeyleri olan bir yazar bir kez daha şahsi yayın yoluna başvurmak zorunda kaldı. Bildirinin önemine du Bois-Reymond’un kefil olmasıyla, yayımcı G. A. Reimer 1847’nin sonuna doğru bildiriye basmayı kabul etti.

Helmholtz sonraki yıllarda çalışma raporuna yetkililerin yaklaşım tarzındaki garipliğe birkaç kez değindi. “Raporu yazmaya başladığım zaman” diye yazıyordu 1881’de, “düşüncem yalnızca bir eleştirel çalışma sunmaktı, özgün bir buluş ortaya atmak kesinlikle aklımda yoktu. (...) Daha sonra uzmanlardan gördüğüm muhalefet karşısında şaşkınlığa düştüm. (...) Berlin akademi dünyasının mensupları arasında yalnızca matematikçi C. G. J. Jacobi çalışmayı kabul etti. O sıralarda yeni bir ilkeyle şöhret ve maddi ödül kazanmak mümkün değildi, aksine bir durum söz konusuydu.” 1891’de bir otobiyografik taslakta yazdığına göre, onu en çok şaşırtan şey fizikçilerin tepkisiydi. Kayıtsız bir tavır beklemişti (“Bunu hepimiz biliyoruz. Böylesine etraflı bir açıklamayı üstüne vazife saymaya kalkan şu genç doktor ne olduğunu sanıyor?”). Ama karşılaştığı durum, sonuçlarına yönelik sert bir saldırı oldu: “Onlar [fizikçiler] yasanın doğruluğunu inkâr etmeye (...) makalemi hayal ürünü bir spekülasyon malzemesi gibi ele almaya eğilimliydi.”

Daha sonraları, eleştirel toz dumanın dağılmasından sonra, öncelik sorunları zuhur etti. Mayer’in bildirileri hatırlandı ve Helmholtz ile Mayer arasındaki bariz benzerliklere işaret edildi. Büyük olasılıkla Potsdam’daki olanakların sınırlı olması nedeniyle, Helmholtz 1847’de Mayer’in bildirilerini okumamıştı. Kaldı ki, sonradan birçok vesileyle, Mayer’in ve aynı zamanda Joule’un önceliğini teslim ettiğini açık seçik belirtti.

Günümüzde Helmholtz'un 1847 bildirisine ilişkin değerlendirme, bazı bakımlardan sınırlı olduğu yönündedir. Bildik bir alanı kurcalayarak bir mesafe alınmasını elbette sağlamıştı (zaten Helmholtz'un niyeti de buydu) ama enerjinin korunum ilkesi için matematiksel ve fiziksel temeller kurmayı başaramamıştı. Bununla birlikte, bildirinin olağanüstü bir etki uyandırdığına hiç kuşku yoktur. 1860'larda ve 1870'lerde İngiliz fizikçiler arasında seçkin bir yeri olan James Clerk Maxwell, Helmholtz'un genel programını fizik biliminde gelecekteki gelişmeler açısından bir sezginlik işareti olarak görüyordu. Helmholtz'a şükran mahiyetinde 1877'de kaleme aldığı bir yazıda, Maxwell şunu belirtiyordu: "Helmholtz'un ufacık makalesinin bilimsel değerini tam kavramak için (...) termodinamikteki ve modern fiziğin diğer dallarındaki büyük buluşları borçlu olduğumuz kişilere, bunu kaç sefer baştan sona okuduklarını ve araştırmaları sırasında Helmholtz'un ağırlıklı saptamalarının ne kadar sıkça zihinlerini karşı konulmaz bir itici güç gibi sarstığını sormalıyız."

Maxwell'in ve diğer fizikçilerin üzerinde dikkatle durdukları şey şuna benzer pasajlardı: "[Teorik bilimin] görevi ancak olguların basit kuvvetlere indirgenmesi tamamlandığında ve aynı zamanda bunun söz konusu olguların elverdiği tek indirgeme olduğu kanıtlanabildiğinde sona erecektir. Bu daha sonra doğayı anlamak için gerekli kavramsal kalıp olarak benimsenecek ve buna nesnel hakikati yükleme olanağını bulacaktır." Teorik fiziğin programı hâlâ büyük ölçüde budur.

Fizyoloji

Helmholtz 1847'den sonra termodinamiğe ilişkin konulara yalnızca ara sıra eğildi. Çalışmalarının odağı daha çok tıp bilimi, özellikle de fizyolojinin fiziksel temelleriydi. Berlin'deki hocası Muller ile 1847 grubuna mensup arkadaşları du Bois-Reymond, Ludwig ve Brücke'un hazırladığı zemin üzerinde bir biyofizik anıtı kurmak istiyordu. Helmholtz'un bilim ve akademi dünyalarındaki yükselişi çarpıcı oldu. Altı yıl Königsberg'de fizyoloji profesörlüğü, ardından üç yıl Bonn'da fizyoloji ve anatomi profesörlüğü yaptı. Bonn'dan ayrılınca, Avrupa'nın önde gelen bilim merkezlerinden Heidelberg'e gitti. Orada on üç yıl süren fizyoloji profesörlüğü sırasında, biyofizik alanındaki en eksiksiz çalışmalarını yürüttü. Üzerinde durduğu başlıca konular görme ve işitme teorileri ile genel algılama sorunuydu. 1856-1867 arasında görme yetisi üzerine kapsamlı bir çalışma olan üç ciltlik *Handbuch der physiologischen Optik*'i (Fizyolojik Optik Elkitabı), 1863'te de işitme ve müzik üzerinde aynı ölçüde geniş bir rapor olan ünlü *Die Lehre von den Tonempfindungen*'i (Seslerin Duyumu Bilgisi) yayımladı.

Helmholtz'un algılamayla ilgili çalışmaları daha yaşadığı dönemde büyük hayranlık uyandırdı. Ama henüz emekleme çağından yeni çıkmış bir araştırma alanında çalışan bir bilim adamının çabaları açısından, daha da dikkate değer nokta günümüzde algılamayı anlamaya çalışanlar arasında Helmholtz'un hâlâ gördüğü itibardır. Duyum ve algılama üzerine modern bir metni yazmış olan Edward Boring, kitabını Helmholtz'a ithaf etmesinin nedenini şöyle açıklıyor: "Ki-

tapların ölülere ithaf edilmemesi gerektiği gibi bir itiraz olursa, vereceğim cevap Helmholtz'un ölmediğidir. Organizma zihinden önce olabilir ve bunun tersi de mümkündür. İthafım Helmholtz'un ölümsüzlüğünü ortaya koyuyor. Birçoğumuz için erişilmez bir özlem olarak kalan türden bir ölümsüzlüktür bu."

Fizik

Helmholtz elli yaşına bastığı 1871'de, dünyadaki diğer fizyologların hepsinden daha fazla iş başarmıştı ve Almanya'da en ünlü bilim adamları arasına girmişti. Çoğu kez zihinsel ve bedensel sağlığını bozma pahasına, son derece ağır bir çalışma dönemini geride bırakmıştı. Aynı başarı ve payelere ulaşan başkaları gibi, bu çılgınca temposunu gevşetmeye ve bir akademik medar-ı iftihar haline gelmeye karar verebilirdi. Bunun yerine yeni bir kariyere soyundu ve bilim kayıtlarına benzersiz bir örnek olarak geçen bir entelektüel göçe kalkıştı. 1871'de Berlin Üniversitesi'nde fizik profesörlüğü yapmak üzere Berlin'in yolunu tuttu.

Ne var ki, fizyoloğun fizikçiye dönüşmesi bir mucizevi yeniden doğuş değildi. Fizik onun ilk bilimsel sevdasıydı ama koşullar tıp ve fizyoloji alanında bir kariyeri dayatmıştı. Her zamanki pragmatist yaklaşımıyla, fizik ve fizyoloji arasındaki sınırları dolaşmış, iyi bir şöret yakalamış ve biyofiziğin yeni bir bilim olarak yerleşmesine herkesten daha fazla katkıda bulunmuştu. Ama matematiksel fiziğe tutkunluğu ve içinde yanan hırs sönmüş değildi. Gustav Magnus'un ölümüyle, Berlin profesörlüğü boşaldı. Adaylar yalnızca Helmholtz ile Heidelberg fizik profesörü Gustav Kirchhoff'tu. Kirchhoff, Heidelberg'de kalmayı tercih etti. "Ve böylece" diye yazar Bois-Reymond, "bir fizyoloji doktoru ve profesörünün Almanya'daki en önemli fizik makamına atanması gibi emsali görülmemiş bir olay gerçekleşti ve kendisini doğuştan fizikçi olarak nitelendiren Helmholtz özgül yeteneklerine ve eğilimlerine uygun bir görevi sonunda elde etti. Bana yazdığına göre, fizyolojiye ilgisi tükenmişti ve aslında ilgisini çeken yalnız matematiksel fizikti."

Bir fizikçi olarak Berlin'i mesken tutan Helmholtz, büyük ölçüde elektrodinamik konusuna, çekişen teorilerin "izsiz sahrası"na dönüşmüş bir alana yoğunlaştı. O dönemde Almanya'da elektrodinamik teorisine damgasını vuran Wilhelm Weber'in görüşlerine sert eleştiriler yöneltti. Kara Avrupası'ndaki çoğu meslektaşından önce, Britanya'da Faraday ve Maxwell'in elektromanyetik teorisine üzerine yürüttüğü çalışmaların önemini kavradı. Öğrencisi ve daha sonra asistanı olan Heinrich Hertz, elektromanyetik dalgaların varlığını kanıtlayan ve Maxwell'in teorisini doğrulayan deneyler yaptı. Helmholtz'un ilgi çekici öğrenci ve asistan grubunda Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wien ve Albert Michelson da vardı. Boltzmann daha sonraları termodinamiğin istatistiksel yorumunun temellerini attı (13. Bölüm). Wien'in ısı ışıınımı üzerine çalışmaları, Berlin'de teorik fizik profesör olan ve Helmholtz'un yakın çevresinde yer alan Max Planck'ın kuantum teorisi üzerine çığır açıcı makalesini yazmak için gerek duyduğu ipuçlarından birini sağladı. Michelson's ışık hızına ilişkin denemeleri, Einstein'ın görelilik teorisi için bir temel oluşturdu. "Son büyük klasik fizikçi" Helmholtz, ile-

ride yeni bir fiziği bulacak teorisyenlerden ve deneycilerden bazılarını Berlin'de toplamıştı.

Suluk Bir Portre

Şimdiye kadar anlatılanlar üstün zekâlı bilim adamı Helmholtz'un bir portresiydi. Peki, bir insan olarak nasıl biriydi? Olağanüstü şöhretine rağmen, cevabı zor bir soru bu. Leo Königsberger'in yazdığı onaylı biyografi, Helmholtz'un hayatındaki ve çalışmalarındaki olgulara sadıktır ama kişisel özelliklerine ilişkin anlatım açısından bütünüyle güvenilir olamayacak kadar övücüdür. Helmholtz'un yazıları da bu konuda bize pek yardımcı olmaz, hem de birçoğunun sıradan okur kitlesine yönelik olmasına karşın. Çalışmalarına kattığı duygu ve heyecana ilişkin ara sıra göze ilişkinlerin ötesinde pek ipucu vermeyecek kadar katı nesnel bir üslubu vardır. Elimizde kalan tek şey insan Helmholtz'tan parçalardır ve tıpkı bir arkeolog gibi bunları birleştirmeye çalışmak durumundayız.

Helmholtz'un harikulade bir bilimsel yeteneği ve muazzam bir çalışma kapasitesi olduğunu biliyoruz. Yoğun zihinsel çaba seansları kaçınılmaz olarak onu bitap düşürdü ve kimi zaman migren ataklarından dolayı kıpırdayamaz duruma getirirdi ama her zaman toparlanırdı ve bütün ömrü boyunca bir işkolinin çalışma alışkanlıklarını sürdürdü.

İmrenilecek iki mutlu evliliği oldu. İlk karısı Olga'nın uzun yılları yarı yatalak geçirdikten sonra ölmesi üzerine, aylar boyunca baş ağrıları, ateş ve bayılma nöbetleri yüzünden bir şey yapamadı. Ama her zamanki gibi dermanını çalışmada buldu ve daha iki yıl dolmadan bir kez daha evlendi. İkinci karısı Anna genç ve alımlıydı, Helmholtz'un Thomson'a bir mektubundaki ifadeyle "Heidelberg'in dilberlerinden biri"ydi. Königsberger de bir eş olarak "[Helmholtz'un] bütün ihtiyaçlarını karşıladığını (...) çok sağlam karakterli, yetenekli, geniş görüşlü, yüce özlemlere sahip, toplum içinde hünarlı bir kişi olduğunu ve zekâ ile karakterin aynı ölçüde gelişkin olduğu bir çevrede yetiştiğini" yazar. Anna'nın ev işlerini ve kocasının hızla genişleyen toplumsal yükümlülüklerini ustalıkla çekip çevirmesi, Helmholtz'un Heidelberg ve Berlin'deki başarı hikâyelerine önemli katkıda bulundu.

Başardığı işlere bakılırsa, Helmholtz aşırı hırslı olmalıydı. Bununla birlikte başarıya giden yolda büyüklük taslamadan ve bilimsel ya da başka açılardan dürüstlüğüne hâle getirmeden ilerlediği söylenebilir. Dürüstlük ve yapmacıksız entelektüel önderlik konularındaki görüşlerine güvenilebilecek biri olan Max Planck, 1890'larda Berlin'de Helmholtz'la dostluğu üzerine şunları yazmıştı:

Helmholtz'u (...) bir insan olarak tanımayı ve ona bir bilim adamı olarak saygı duymayı öğrendim. Dütün kişiliğiyle, kanaatlerindeki tutarlılığıyla ve mütevazı karakteriyle, tam da bilim onurunun ve namusunun ete kemiğe bürünmüş timsaliydi. Bu karakter özelliklerini, gönlümün tellerini titreten içten bir insan sevecenliği tamamlıyordu. Sohbet ederken o sakin, sorgulayıcı, delici ve iyilik dolu gözlerini üzerime diktğinde, içime evladın babaya duyduğu sınırsız bir güven ve bağlı-

lık duygusu dolardı; aklımdan geçen her şeyi hiç sakınmadan ona açabileceğim hissine kapıldım.

Helmholtz'u daha mesafeli görenlerin ise farklı izlenimleri vardı. Englebert Broda sözelimi Boltzmann "evrensel bilim adamı Helmholtz'a büyük saygı duyduğunu, [ama] insan Helmholtz'un (...) ona soğuk geldiğini" belirtir. Öğrencileri ve alt kademedeki meslektaşları arasında Helmholtz'a takılan ad "Alman Fiziğinin İmparatorluk Şansölyesi"ydi.

Helmholtz'un bilimsel araştırmaya tutkulu bir ilgi duyduğundan, bilimsel olgular ve ilkeler konusunda ansiklopedik bir kavrayışa sahip olduğundan pek kuşku duyulamaz. Ne var ki, karakterindeki aykırı bir şey duyularını ve düşüncelerini sınıftaki öğrencilere aktarmasını güçleştirdi. Helmholtz'un (Berlin'de) derslikte sergilediği bu tabloyu yine Planck'ın samimi anlatımına borçluyuz: "Helmholtz'un derslerine hiçbir zaman düzgün hazırlanmadığı besbelliydi. Duraksayarak konuşurdu ve küçük not defterindeki gerekli verilere bakmak için ikide bir sözlerine ara verirdi, dahası, tahtadaki hesaplamalarında sürekli hata yapardı, sınıf ortamından en az bizim kadar sıkıldığı yolunda şaşmaz bir izlenimime varırdık. Ders verdiği sınıf gittikçe ısılaşırdı ve sonunda derslerine yalnız üç öğrenci girerdi, bunlardan biri de bendim."

Helmholtz bilimsel öğrenime kendine mahsus, kişisel bir bakışı vardı. Dersleri okuma sürecinde öğrencilerin gerek duyduğu alışlagelmış genel açıklamalar belki de ona bilimin csası gibi gelmiyordu. Her ne olursa olsun, bilimin büyüleyiciliğini sınıfta dile getirmede aciz kalan ilk ve (üniversitede bilimsel çıraklıktan geçmiş herkesin bildiği üzere) son meşhur bilim adamı Helmholtz dğildi.

Helmholtz'un hayatında düşünsel itici güç, birleştirici temel ilkelere dönük sonu gelmez arayıştı. Bütün birleştirici fizik ilkelerinin en çarpıcısının enerji korunumu olduğunu ilk kavrayanlardan biri de oydu. 1882'de, disiplinler arası alanda bir süre sonra fiziksel kimya olarak anılacak olan ilk derslerden birini başlattı. Algılama üzerine çalışmaları, fizik ve fizyoloji arasındaki bütünlüğü açığa çıkardı. Bunun ötesinde, görme ve işitme duyularıyla ilgili teorileri renk ve müziğin estetik anlamını derinleştirdi ve sanat ile bilim arasında bir köprü kurdu. Daha önce ve daha sonra pek az kişinin becerdiği bir yaklaşımla, öznel ve nesnel, estetik ve düşünsel şeyler arasında bir bütünlük olduğunu ifade etti.

Helmholtz bütün fiziğin türetilebileceği bir büyük ilkeyi, yani bütünlüklerin bir bütünlüğünü bulmayı ummuştu. Uzun yıllarını bu çabaya hasretti, İrlandalı matematikçi ve fizikçi William Rowan Hamilton'ın bulduğu"en düşük eylem ilkesi"nin bu amaca hizmet edebileceği kanısına vardı ama çalışmaların bitmesini göremeden öldü. Aynı sıralarda Thomson dinamik teorisini kapsayıcı hale getirme çabalarında başarısızlığa uğradı. Yirminci yüzyılda, Albert Einstein elektromanyetizmaya ve kütleçekimine ilişkin bütünlük bir teori formüle etme yönündeki uzun süreli çabalarından sonuç alamadı. 1960'larda, parçacık fizikçileri Sheldon Glashow, Abdüsselam ve Steven Weinberg elektromanyetizmaya

ve nükleer zayıf etkileşimlere ilişkin bütünlük bir teori geliştirdiler. Atom, nükleer ve parçacık fiziğini kütleçekimi fiziğiyle bütünlükstirecek daha geniş teorilere dönük çalışmalar halen sürüyor. “Her şeyin teorisi” yönündeki bu arayışların günün birinde başarıya ulaşacağını umabiliriz. Ama sınırların olduğunu kavramamız gerekebilir. Bilim adamları birleştiricilerin tatmin olduğu ve ayrıştırıcıların meşgul olmadığı günü göremeyebilirler.

Bilimin Virtüüzü

William Thomson



Bir Problem Çözücü

William Thomson'ın fizikçi, matematikçi, mühendis, mucit, öğretmen, siyasal eylemci ve ünlü şahsiyet gibi çok sayıda yönü vardı ama her şeyden önce bir problem çözücüydü. Her türlü bilimsel ve teknolojik problemle uğraşırdı. Problem ne olursa olsun, ister soyut ister uygulamaya dönük olsun, genellikle özgün bir kavrayışla yaklaşır ve yararlı bir çözüm bulurdu. Virtüöz bir bilim adamı ve teknoloji uzmanıydı.

Bir başka ünlü problem çözücü Helmholtz bile Thomson'ın virtüözlük performansına hayrandı. Onunla ilk kez tanıştıktan sonra, karısına yazdığı mektupta şunları belirtmişti: "Şahsen tanıştığım bütün büyük bilim adamlarını zekâ, zihin açıklığı ve düşünce kıvraklığı açısından fersah fersah aşıyor, öyle ki kendimi kimi zaman onun yanında odum gibi hissettim." Helmholtz daha sonra babasına da şöyle yazacaktı: "Başka hiç kimsede görmediğim hızlı buluşçuluk güçleriyle hiç kuşkusuz döneminin ilk matematiksel fizikçilerinden biridir."

Thomson ve Helmholtz iyi dost oldular ve sonraki yıllarda Thomson ortak ilgi alanlarına giren konulardaki görüşmelerini uzayıp giden bir yarışa çevirdi. Bu yarış çoğunlukla Thomson'ın kazandığını kolayca varsayabiliriz. Bir keresinde, Helmholtz konuk olarak Thomson'ın İskoçya'daki gezi yatında bulunurken, bu maraton görüşmenin konusu, Helmholtz'un (yine karısına yazdığı bir mektupta) "aramızda bir tür yarış vesilesi yapmaktan hoşlanırdı" diye belirttiği dalgalar teorisiydi. Birkaç saatliğine kıyıya çıkmak durumunda kalan Thomson, konuşuna dönerek, "Bak, Helmholtz, ben yokken dalgalar üzerinde çalışmayacaksın, tamam mı?" demişti.

Thomson'ın problem çözme yeteneği büyük ölçüde matematiğe olağanüstü yatkınlığına dayanıyordu. Ona matematiğin harika çocuğu demek yanlış olmasa gerek. Daha tıfıl bir gençken, babasının matematik profesörü olduğu Glasgow Üniversitesi'nin giriş sınavlarına girmiş, doğa felsefesi ve astronomide ödüller kazanmıştı. On altı yaşındayken Joseph Fourier'nin *Théori analytique de la chaleur* (Isının Analitik Teorisi) kitabını okudu ve Edinburgh Üniversitesi matematik profesörlerinden Philip Kelland'ın eleştirilerine karşı onun matematiksel yöntemlerini doğru biçimde savundu. Bu çalışması Cambridge'e lisans öğrencisi olarak girdiği 1841'de *Cambridge Mathematical Journal*'da çıktı. Okulu bitirdiğinde, hepsi de teorik ve uygulamalı matematik konuları üzerine on iki araştırma makalesi yayımlanmıştı. Bu makalelerin çoğu takma "P. Q. R." imzasını taşıyordu, çünkü bir lisans öğrencisinin zamanını özgün makaleler yazmakla geçirmesi yakışsız bulunuyordu.

Thomson'ın başarısına kesinlikle katkıda bulunan bir başka unsur, hedefe kilitlenen müthiş çalışma kapasitesiydi. Hayatı boyunca 661 makale yazdı 69 buluş patenti aldı. 1841'den 1908'e kadar her yıl en az iki makale yayımladı, bazı yıllarda bu sayı yirmi beşe kadar ulaştı. Gittiği her yere kanıtlarını ve araştırma defterlerini yanında götürür ve sıklıkla olduğu gibi içine şevk doğar doğmaz bunlar üzerinde çalışırdı. Helmholtz (yine karısına yazdığı hoş mektupların birinde) Thomson'ın yatındaki hayattan söz ederken, davet sahibinin kafasının hep "hesaplar"la meşgul oluşunu şöyle anlatır:

W. Thomson muhitinin tanıdığı serbestliği öylesine istismar ederdi ki, matematik defterlerini hep yanında taşırdı ve aklına bir şey gelir gelmez, muhabbetin ortasında hesaplar yapmaya başlardı. Bu durum davetlilerce belirli bir huşuyla karşılanırdı. Berlinliler'i aynı muameleye alıtırsam, nasıl olur acaba? Ama en büyük nahiflik Cuma günü yaşandı. Bütün dost çevresini yata davet etmişti. Teknenin yola koyulmasından ve herkesin o yalpalama içinde kendine olabildiğince sağlam bir yer bulmasından kısa bir süre sonra, gözden kaybolarak hesaplar yapmak üzere kamaraya çekildi. Kendi başlarına kalan davetliler havaya girebildikleri ölçüde birbirlerini oyalayıp eğlendirmek durumunda kaldılar; haliyle neşelerini tam buldıkları söylenemezdi.

Thomson belki nazik bir davet sahibi değildi ama döneminin bilim, sanayi ve akademi çevrelerinde son derece verimli çalışmayı başardı. Daha yirmi bir yaşındayken Glasgow Üniversitesi'nde doğa felsefesi profesörlüğüne getirildi. İlk bilimsel başarılarından biri ilk İngiliz fizik laboratuvarını kurmak oldu. Araştırmaları yalnızca Britanya'da değil, Avrupa'da da çarçabuk duyuldu. Yirmi yedi yaşında Kraliyet Bilim Derneği üyeliğine seçildi. Otuz bir yaşına vardığında, 96 makale yayımlamış, fizik ve matematik alanındaki en önemli başarılarını geride bırakmıştı.

Thomson 1855'te bilimsel araştırmalara oranla en azından gösteriş bakımından yeteneklerine daha uygun düşen yeni bir kariyere yöneldi. İrlanda'dan

Newfoundland'e kadar Atlas Okyanusu boyunca iki bin millik bir telgraf kablo-su hattı döşeyip işletmek gibi insanüstü bir görevi yerine getirmek üzere kurulmuş olan Atlantic Telegraph Company'nin yönetiminde yer aldı. Kablo hattı dünyanın teknoloji harikalarından biri haline geldi ama Thomson'ın alet tasarımı-na, kablo teorisi ve imalatına ilişkin tavsiyeleri olmasa pekâlâ büyük bir fiyasa-koya da dönüşebilirdi.

Kesin başarıya varılana kadar on yıl süren Atlas Okyanusu kablo destinan-dan sonra, Thomson'ın şöhreti akademi ve bilim çevrelerinin ötesine yayıldı. En ünlü İngiliz bilim adamı konumuna yükseldi, tıpkı Helmholtz'un da daha sonra-ları en ünlü Alman bilim adamı olması gibi. Kablo şirketinden ve icatlarından sağladığı gelirlerle zenginleşen Thomson, akıllıca yatırımlar yapmayı becerdi. Kablo projesinin tamamlandığı 1866'da "sir" unvanı aldı. 1892'de, kısmen siya-sal nedenlerle -İrlanda'ya özerklik verilmesine karşı çıkan Liberal Birlikçi Parti'nin aktif bir mensubu olmasından dolayı- Largs Kelvin Baronu sıfatıyla soylu mertebesine yükseltildi. (Clyde Halici kıyısında küçük bir kasaba olan Largs, Thomson'ın malikânesi Netherall'ın bulunduğu yerdi, Kelvin ise Glasgow Üni-versitesi'nin yanından geçen ırmağın adıydı.)

Biyografi yazarlarından Silvanus Thompson'un belirttiği gibi, Thomson "çalışmalarına boğulmuş bir adam" olmakla birlikte, vefalı bir koca ve ailesine düşkün biriydi. Babasına, kızkardeşi Elizabeth'e ve makine mühendisliği profesö-rü olduğu için termodinamiğe ilgisini paylaşan erkek kardeşi James'a hep yakındı. İki kez evlendi. Evlilik hayatı boyunca hastalıklı olan ilk karısı Margaret Crum'un gerek duyduğu sıkı bakımı hiç esirgemedi. Karısının 1870'teki ölümü onun için ağır bir darbe oldu. Birkaç yıl sonra zengin bir Madeiralı toprak sahi-binin kızı olan ve her zaman "Fanny" adıyla anılan Frances Blandy'le evlendi. İlk evliliği ne kadar trajik olduysa, ikincisi o ölçüde mutlu geçti. Fanny sokulgan ve becerikli bir insandı. Thomson'ın ev işlerini ustaca çekip çevirdi, Glasgow'da ikinci Leydi Thomson ve ardından Leydi Kelvin olarak dopdolu bir toplumsal hayat buldu.

Carnot-Joule Problemi

Thomson'ın çok yönlü kariyerinin burada bizi ilgilendiren cephesi, termo-dinamiğin ilkelerine ilişkin çalışmalarıdır. Hayatındaki bu bölüm 1846'da başladı. Cambridge'den daha yeni mezun olmuş, Fransız matematikçi ve deneycilerle görüşmek üzere altı aylığına Paris'e gitmişti. Her zaman olduğu gibi, yeteneğini sergilemesi önemli kapıların açılmasına yetti. J. B. Biot ve A. L. Cauchy'yle bir araya geldi, Joseph Liouville ve C. F. Sturm'la uzun sohbetler etti, yaz aylarında Victor Regnault'nun laboratuvarında çalıştı. Ama kendisini en çok etkilemiş olan iki Fransız artık hayatta değildi.

Thomson Paris'te bulunduğu sırada Sadi Carnot'nun çalışmalarına ciddi bi-çimde kafa yormaya başladı. Önce Clapeyron'un Carnot metodu üzerine makale-si dikkatini çekti ve Carnot'nun özgün çalışma raporunun bir nüshasını Pa-ris'te boşu boşuna aradı. 3. Bölüm'de gördüğümüz gibi, Carnot'nun teorisi çev-

rimler halinde çalışan ve ısı girdisinden iş çıktısı elde eden buhar makinesi gibi ısı makinesi aygıtlarıyla ilgiliydi. Carnot tıpkı sudolabının yüksek yerçekimi düzeyinden düşük yerçekimi düzeyine inen suyla çalışmasında olduğu gibi, ısı makinelerinin de yüksek sıcaklıklardan düşük sıcaklıklara ısı “düşüşü” yoluyla çalıştığı sonucuna varmıştı. Ayrıca ideal ısı makinesinin, yani ısı girdisi birimi başına maksimum iş çıktısını sağlayan makinenin çok küçük itici kuvvetlerle işletilmesi gerektiği çıkarsamasını yapmıştı. Böyle bir ideal düzenek ısı makinesinde veya çevre ortamında net bir değişim olmaksızın tersinirdi.

Paris'te 1845'te Clapeyron aracılığıyla Carnot'yu tanımadan önce, Thomson artık hayatta olmayan bir başka büyük Fransız teorisyeni Joseph Fourier'nin derin etkisi altında kalmıştı. Onun ısı teorisi üzerine başeserini okuduğunda daha Cambridge'e girmemişti bile. Özellikle Fourier'nin agnostik teorik metoduna hayrandı. Bu metot ısıнын niteliğine ilişkin çetin sorundan kaçınmakla birlikte işe yarar matematiksel modellere dayanmaktaydı.

Carnot'nun döneminde geçerli teori, ısıнын yoktan var ve vardan yok edilemeyen “kalorik” adlı bir akışkan olduğu yönündeydi. Bu teoriyi benimseyen Carnot'ya göre, kalorik, tıpkı su gibi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa inerken ısı makinesini harekete geçiriyordu. 1840'lara doğru az ama gittikçe artan sayıda kişi kalorik teorisine karşı çıkmaya başladı. Bunlardan biri olan James Joule ısıнын kalorikle değil, bir biçimde maddenin içindeki moleküllerin hareketiyle bağlantılı olduğunda diretti. Thomson'ın daha sonraları “dinamik ısı teorisi” olarak adlandırdığı bu bakış açısına göre, bir ısı makinesinin mekanik etkisi düşen kalorikle değil, doğrudan molekül hareketiyle ortaya çıkmaktaydı.

Fourier'nin teorisi bu tartışmada taraf tutmamasına karşın, birçok değişik ısı olguyu doğru biçimde tanımlamayı sağlıyordu. Thomson'ı özellikle etkileyen nokta, Fourier'nin herhangi bir mekanik etki yaratmaksızın yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa inen ısıнын serbest “iletim”ini ele alışı biçimiydi. Bu durum Carnot'nun ideal ısı makinesi düzeneğinin karşıt ucundaydı. Her iki durumda da ısı sıcaktan soğuğa geçiyordu ama Carnot düşen ısıyla maksimum iş çıktısı yaratıldığını, Fourier ise hiçbir iş çıktısı elde edilmediğini ortaya koyuyordu. Thomson'a göre, Carnot ve Fourier arasındaki fark çarpıcıydı. Muhtemel en iyi performansıyla çalışan bir Carnot sistemi olası en kötü performansıyla çalışan bir Fourier sistemine dönüştüğünde, teorik ve pratik öneme sahip bir şeyin kaybolduğuna emindi.

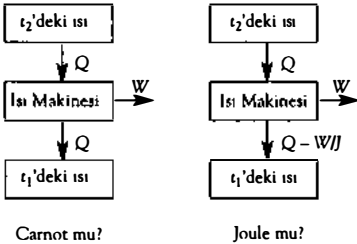
Thomson'ın ısı teorisine ilişkin görüşlerinin gelişmesinde, Carnot ve Fourier'nin etkileri kilit bir rol oynadı. Her iki Fransız da ısı süreçler hakkında önemli şeyler söylüyordu ve Thomson onların vardıkları sonuçlarda hiçbir tutarsızlık görmüyordu. Derken Thomson birdenbire üçüncü bir etkiyle karşı karşıya geldi. Britanya Bilimi İlerletme Derneği'nin 1847 Oxford toplantısında, James Joule'la tanıştı ve kendi Carnot yorumuyla ters düştüğü için gözardı etmeyi yeğ tutmuş olabileceği bazı teorik görüşleri ve deneysel sonuçları öğrendi.

Joule'un Oxford toplantısındaki bildirisi ünlü kanatlı çark deneylerinden elde ettiği sonuçlarla ilgiliydi. Thomson'un onun adını duyduğu 1847'de, Joule

yaptığı çeşitli deneylerde ısıнын mekanik eşdeğerinin kesinlikle sabit olduğunu inandırıcı biçimde kanıtlayabilecek durumdaydı. Deneylerini yorumlarken ısıнын ve işin doğrudan ve tastamam birbirine-dönüşebilir olduğunu varsayıyordu. Kanatlı çarkın ve deneysel tasarımlarındaki diğer çalıştırıcı düzeneklerin yaptığı iş kaybolmuyor, yalnızca eşdeğer tutarda ısıya dönüşüyordu. Joule aynı zamanda karşıt dönüşümün, yani ısıdan işe dönüşümün mümkün olduğu kanısındaydı. Ona göre, bu dönüşüm her türlü ısı makinesi aygıtıyla gerçekleştirilebilirdi. Isı makinesine net ısı girdisi kaybolmuyordu, eşdeğer tutarda işe dönüşüyordu.

Thomson'u rahatsız eden şey Joule'un ikinci savı, yani bir ısı makinesinde ısıнын işe dönüşümüydü. 1847'de ısıнын bir akışkan olduğu yolundaki kalorik öğretisine Thomson'ın artık inancı kalmamıştı ama kalorik teorisinin bir başka aksiyomunu, ısıнын korunduğuna ilişkin savını gözden çıkarmak için bir neden görmüyordu. Carnot gibi öncelleri ve Thomson için bu korunum, belirli bir durumdaki bir sistemin sabit ısı miktarına sahip olması demekti bu. Durum belirli bir V hacmi ve t sıcaklığı tarafından belirlendiğinde, sistem içindeki Q ısı yalnızca bu V ve t değerlerine bağlıydı. Matematiksel ifadeyle, ısı bir *durum fonksiyonu*ydü ve bu fonksiyon V ve t değişkenlerine sıkı bağlılığı gösterecek biçimde $Q(V, t)$ olarak yazılabilirdi. Thomson'un 1847'deki anlayışına göre, bu ilke Carnot'nun teorisinin temel unsurlarından biriydi ve "bunu inkâr etmek temel ilke olarak yer aldığı bütün ısı teorisini tersine çevirmeye yol açacaktı."

İşe yarar ısı makineleri her zaman çevrimler halinde çalışır. Tam bir çevrimde, sistem belirli bir durumda işlemeye başlar ve tekrar o duruma döner. Bu bakımdan, ısı korunumu aksiyomu uyarınca, çevrimin sonuna varan bir ısı makinesi aynen baştaki miktarda ısıyı içerir. Dolayısıyla bir çevrimin işleyişinde işe ya da başka şeye dönüşmüş net ısı kaybı söz konusu olamaz. Çizim 7.1 bu kısıtlamayı yansıtmakta ve Thomson'ın ikilemini sergilemek amacıyla, Joule'un savına göre ısı makinesinin işleyişini göstermektedir.



Çizim 7.1. Thomson'un bakış açısıyla Carnot ve Joule'un çatışan teorilerinde, ısı makinesinin yüksek t_2 sıcaklığı ve düşük t_1 sıcaklığı arasındaki işleyiş. Q ısıyı, W işi, J Joule'un saptadığı ısıнын mekanik eşdeğerini, $\frac{W}{J}$ ise W 'ye göre ısıнын eşdeğerini temsil eder. Carnot şemasında hiç ısı kaybı yoktur. Joule çiziminde ise $\frac{W}{J}$ tutarında ısı kaybolur.

Joule'un teorisini Fourier'nin analiz ettiği türden serbest ısı iletimi süreçlerinde görünüşte olup bitenlerle bağdaştırmak çok daha zordu. Serbestçe iletilen ısı her zaman bir ısı makinesine beslenebilir ve böylece iş yaratması sağlanabilirdi. Pe-ki, iletim süreçlerinin meydana gelmesine izin verildiğinde, bu kullanılmamış iş

nerceye gitmekteydi? Joule'un yorumunda, ısı makinesinin işleyişinde kaybolan bir şey yoktu. Oysa Thomson çalışmayan, sıfır iletimi sağlayan bir sistemde (ya da belirli bir ölçüde serbest ısı iletimine olanak veren her türlü aygıtta), bir şeylerin kaybolduğuna emindi. Isı teorisi üzerine 1849'da yayımladığı ilk makalelerin birinde, Thomson açmazını şöyle ifade etmekteydi: "Bir katı yoluyla ısıyı iletirken 'ısıl aracılık' bu şekilde sarf edildiği zaman, yaratmış olabileceği mekanik etkiye ne olur? Doğanın işlemlerinde hiçbir şey kaybolmaz-hiçbir enerji yok edilemez. O halde, kaybolan mekanik etkinin yerine yaratılan etki nedir? Kusursuz bir ısı teorisi kaçınılmaz olarak bu soruya bir cevabı gerektirir, ne var ki, bilimin şu andaki durumuyla hiçbir cevap verilemez." Thomson'ın ilk kez "enerji" terimini kullandığı ve bugünkü anlamına doğru ilk adımı attığı metindi bu. Fikirlerinin gelişim çizgisindeki bu noktada, Thomson terime ancak mekanik bir yorum katabilirdi. Enerji kavramında ısıya yer vermeye henüz yatkın değildi.

Sıcaklık Ölçümü Problemi

Thomson bu problemlerle boğuştuğu sıralarda, Carnot'dan kalan mirasın bir başka veçhesini, Carnot'nun F sembolünü verdiği sıcaklığa bağlılık fonksiyonunu irdeliyordu. Thomson bu fonksiyonu μ olarak gösterdi ve "Carnot fonksiyonu" olarak adlandırdı. Fonksiyonun iki temel özelliğinin, yani yalnızca sıcaklığa bağlı olmasının ve bütün belirlenimlerinde aynı matematiksel forma sahip olmasının yeni bir mutlak sıcaklık ölçeğini tanımlamada kullanılabileceğini ileri sürdü.

Daha önceleri mutlak sıcaklıklar gaz davranışının idealleştirilmesine dayalı bir ölçek üzerinde ifade edilmişti. Sıcaklık sabit tutulursa, basıncın artmasıyla birlikte ideal bir gazın V hacmi azalır:

$$V \propto \frac{1}{P} \text{ (sabit sıcaklıkta)}$$

Basıncı sabit tutulursa, sıcaklığın artmasıyla birlikte ideal gaz hacmi de artar:

$$V \propto T \text{ (sabit basınçta)}$$

Burada T sıfırdan başlayan ve negatif değerlere olanak vermeyen bir mutlak ölçek üzerinde ölçülmüş sıcaklığı ifade eder. İki orantılılığı tek bir orantılılıkta birleştirdiğimizde, şöyle bir genel denklem elde ederiz:

$$V \propto \frac{T}{P}$$

ya da

$$\frac{PV}{T} = \text{sabit} \quad (1)$$

Bu denklemdeki sabit, hiç değişmediğine göre, herhangi bir T sıcaklığında P ve V değerlerini ölçerek belirlenebilir. Alışlagelmiş uygulamada, bir buz-su karışımının sıcaklığı (0°C) seçilir. Bu sıcaklıkta P_0 , V_0 ve T_0 ölçülürse, denklem (1) şu sabit değeri verir:

$$\text{sabit} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$$

dolayısıyla

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad (2)$$

Peki, T mutlak sıcaklığı sözelimi Celsius ölçeği üzerinde ölçülen olağan t sıcaklığıyla nasıl ilişkilendirilir? Bu iki ölçeğin bir a sabitine göre farklılık gösterdiğini, yani

$$T = t + a \quad (3)$$

olduğunu varsayalım. Bunu denklem (2)'ye yerleştirdiğimizde, şöyle bir sonuca varırız:

$$PV = \frac{P_0 V_0}{T_0} (t + a) \quad (4)$$

Bir gazın artan sıcaklıkla birlikte genleşmesi ölçülebilir ve matematiksel olarak

$\frac{dV}{dt}$ türeviyle ifade edilir. Bu türevin V hacmine bölünmesi $\propto$ "genleşme katsayısı"nı tanımlar ve bu katsayı da ölçülebilir:

$$\alpha = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt}$$

Bunu ve $P = P_0$ işleminin uygulandığı denklem (4)'ü esas aldığımızda, şöyle bir sonuç çıkar:

$$\alpha = \frac{1}{t + a} \quad (5)$$

Böylece bilinen bir sıcaklıkta $\propto$ genleşme katsayısının ölçülen bir değeri, denklem (3)'teki a sabitini verir ve mutlak sıcaklığın tanımını tamamlar. On dokuzyüzyıla girilirken, birbirlerinden bağımsız olarak Joseph Gay-Lussac ve

John Dalton çeşitli gazlar için α 'yı ölçtüler ve Celsius ölçeğinde ifade edilen a sabiti için yaklaşık 267 değerini buldular. Günümüzde buna denk düşen değer 273'tür. Sıfırda T mutlak sıcaklığı = 0 ve denklem (3) uyarınca Celsius sıcaklığı $t = -a = -273^\circ\text{C}$ olur.

Thomson mutlak sıcaklık ölçeğinin bu biçimde ele alınmasını tatmin edici bulmadı. Bunun *genel* bir sıcaklık teorisi için yeterli bir temel olmadığı itirazını ileri sürdü. Ona göre, gerçek gazlar aslında hiçbir zaman ideal değildi, bu nedenle kesin sıcaklık ölçümleri için gaz yasasının özel açılımlarına, her gaz için farklı bir açılıma gerek vardı: Gerçek gazlar için evrensel bir gaz yasası yoktu. Buna karşılık Carnot fonksiyonu tam da gerçek gaz yasalarının yoksun olduğu evrensellğe sahipti. Belirleme için hangi madde kullanılırsa kullanılsın, her zaman aynıydı.

Thomson yeni bir sıcaklık ölçeğine temel olarak Carnot fonksiyonunun kullanılmasını önerdi. Bu kavramı 1848'de mutlak sıcaklık ölçümünün bir ilkesi olarak belirtti. Dayandığı temel fikir, daha sonra ifade ettiği gibi, "her türlü maddenin özelliklerinden türetilen ama aynı sıcaklıkta bütün cisimler için aynı olan Carnot fonksiyonunun ya da bundan çıkarılacak herhangi bir keyfi fonksiyonun sıcaklık olarak tanımlanabilmesi ve dolayısıyla mutlak bir sıcaklık ölçümü sisteminin temeli olmasıydı." Thomson uygun fonksiyon konusunda 1848'de ve bundan vazgeçtiği için 1854'te olmak üzere iki öneride bulundu.

Thomson'ın bu sıcaklık ölçümü problemini sonuca bağlaması kolay olmadı. Isı teorisinin diğer yönlerini oturtana kadar son karara varmadı. İlerlemenin önündeki başlıca engel, Carnot-Joule ikileminin bir başka yönüydü. Thomson μ Carnot fonksiyonunu hesaplamada kullanılabilecek denklemleri Carnot'nun teorisinden türetmenin yollarını buldu ve 1849'da kapsamlı bir μ değerleri tablosu hazırladı. Önceleri, Carnot'nun teorisinin sağlamlığına dayandığı için, bu hesaplamaya tam güven duymaktaydı ama gözardı edemeyeceği gevşek bir uç vardı. Joule 1848'de Thomson'a yazdığı bir mektupta, Carnot fonksiyonunun şu denkleme göre sıcaklığın evrik değeriyle orantılı olduğunu ileri sürmüştü:

$$\mu = \frac{J}{T} \quad (6)$$

Bu denklemde T sıcaklığı ideal gaz mutlak ölçeği üzerinde belirlenmişti ve J de Joule'a göre ısıнын mekanik eşdeğeri idi. Aynı sıralarda Helmholtz aynı sonucu vardı ama çalışmaları Britanya'da henüz bilinmiyordu.

Thomson kendi hesaplamaları ile Joule'un önerdiği denklem (6)'ya dayalı hesaplamaları karşılaştırdı, yaklaşık bir uyuşmanın ötesinde bir şeye varamadı. Bir kez daha Carnot'nun teorisine Joule'un yönelttiği itirazdan kaynaklanan bir problem karşısına dikilmişti. Joule'un doğru bir yaklaşıma dayanan düşüncesi, Thomson'ın μ değerler tablosunu hesaplarken kullandığı verilerde hatlar olduğu yönündeydi.

Macquorn Rankine

On dokuzuncu yüzyıl sonlarına kadar, çoğu termodinamikçi ele aldığı konuyu fenomenolojik bir çizgide işlerdi: Sıkı sıkıya makroskobik olaylara ilişkin tanımlamalar üzerinde dururdu. Geliştirilen termodinamik yasaların dayandığı akıl yürütme hiçbir noktada mikroskobik olayların teorik modelini oluşturmaya yönelmezdi, yani doğadaki molekül kalıplarının yasaları "açıklayabileceği" fikrine itibar edilmezdi. Anılmaya değer bir istisna dışında, ilk termodinamikçilerin hepsi teorilerinin fenomenolojik temellerini sağlamlaştırmadan önce kurgusal molekül modelleri yaratma eğilimine karşı direndi.

Genel çizgiye uymayan termodinamikçi, 1855'ten sonra Glasgow Üniversitesi'nde inşaat mühendisliği profesörü ve Thomson'ın çalışma arkadaşı olan W. J. Macquorn Rankine'di. Tıpkı Clausius ve Thomson gibi, Rankine de termodinamik fenomenolojisi konusunda sağlam bir kavrayışa sahipti ama kendi versiyonunu molekül davranışının çapraşık bir hipotetik modelinden türetme yoluna gitti. Çağdaşları ve ardılları bu yaklaşımı zor anlaşılr ve hatta inanılmaz buldular. Örneğin, Rankine'in termodinamik problemlerinin üzerine "kesin değerini kestirmenin zor olduğu şu harika hayal gücü yaratımlarından birine dayanarak kendi tarzında" gittiğini belirten Willard Gibbs'in değerlendirmesinde kibarca bir kuşkuyu sezmek mümkündür.

Rankine bir gazın moleküllerini birbirleriyle yakın temas içinde tasarlıyordu. Buna göre, her molekül yüksek yoğunlukta bir çekirdek ile görece düşük yoğunlukta küresel bir "esnek atmosfer" çevresinden oluşuyordu. Çekirdeklere doğru çekim kuvvetleri atmosferleri oldukları yerde tutuyordu, atmosferleri oluşturan unsurların birkaç farklı türden hareketi vardı. Rankine'in termodinamik hesaplamalarında önemli yer tutan nokta, molekülün ışınsal doğrultuları etrafında hortuma benzer çok sayıda burgacın yarattığı dönel hareketti. Rankine, bu burgaçlarda ortaya çıkan bir merkezkaç kuvvetin tek tek moleküllere esneklik ve molekül sistemlerine basınç kazandırdığını ortaya koydu.

Rankine'in termodinamiğe katkısı, bilim tarihçisi Keith Hutchison'ın ifadesiyle "kısa ömürlü" oldu. "Rankine'in çağdaşları arasında, çalışmalarının ayrıntılarını dikkatlice inceleme sabrını Thomson dışında bir kimsenin gösterdiği aslında kuşkuludur." Ama başka biri çıkmasa bile, tek kişinin pür dikkat gözleri için, Rankine'in burgaç teorisi yol gösterici bir ışıktı. "Thomson her ne kadar ısının niteliği konusunda Rankine'in *özgöl* mekanik hipotezini kabul etmese de" diye belirtir Thomson'ın en son biyografisini yazan Crosbie Smith ve M. Norton Wise, "çok geçmeden bir genel dinamik ısı teorisini, yani ısının bir tür *vis viva* [kinetik enerji] olduğunu kabul etmeye yanaştı." İster Rankine'in, ister başkalarının savunduğu olsun, dinamik ısı teorisinin çekici yönlerinden biri, ısının işe dönüşümü konusunda Joule'un ortaya attığı savı makul hale getirmesiydi.

"[Rankine'in] çarpıcı ve son derece albenili bir görünümü vardı, kibarlığıyla neredeyse eski günlerden çıkıp gelmiş bir beyefendiyi andırırdı" diye yazar Peter Guthrie Tait adlı bir başka İskoç fizikçi. Yaratıcı ürünlerinin yelpazesi termodinamik üzerine birçok makalenin yanı sıra esneklik, sıkıştırılabilirlik, enerji dönüşümleri ve

ışığa ilişkin salınım teorisi üzerine makaleleri kapsıyordu. Ayrıca bir dizi mühendislik ders kitabı, mühendislik üzerine dört kapsamlı broşür ve çeşitli popüler elkitabları yayımlamıştı. On dokuzuncu yüzyıl mühendislik biliminin Helmholtz'uydu.

"Halis bir İskoç" olan Rankine'in soy çizgisi Robert Bruce'a kadar iniyordu. On sekizinci yüzyılda Joseph Black ve James Watt'ın, çağdaşları arasında Thomson ve Maxwell'in yer aldığı büyük İskoç bilim adamları ve mühendisleri topluluğuna o da katıldı. Carnot gibi mühendislik eğitimi görmüştü ve mühendislik bilimini ileriye götürmek için fizik metodlarını benimsedi.

Clausius ve Thomson'la birlikte Rankine, termodinamiğin klasik versiyonunun kurucularından biridir ama bıraktığı iz modern termodinamik literatüründe hiç görülmeyecek ölçüde silinmiştir. Bu talihsizlik kısmen burgaç teorisinin içyüzüne varılamaz karmaşıklığının sonucuydu. Ama burgaçlar söz konusu olmasa bile, termodinamiği formüle etme biçimi bulanıktı ve bazı kilit noktalarda hatalıydı. Teorisinin Clausius ve Thomson'la çekişmede ayakta kalabilmesi açısından yeterince iyi bir durum değildi bu.

Carnot-Joule Problemine Çözüm

Yaklaşık 1850'ye kadar, Thomson önündeki teorik problemi Joule ve Carnot arasında bir tecih olarak gördü; Carnot'nun çarpıcı başarılarının ağırlığı birkaç yıl boyunca sanki dengeyi ona doğru çevirir gibi oldu. Ama Thomson'ın teorisyen vicdanı ona Joule'un mesajının gözardı edilemeyeceğini hatırlatmaktan geri kalmıyordu. 1850 ya da 1851 yılı içinde, Thomson bir dinamik ısı teorisi kurarken, Carnot'nun teorisindeki temel unsuru atmaksızın, Joule'un ısı ve iş arasındaki birbirine-dönüşebilirlik ilkesinin korunabileceğini kavramaya başladı. Carnot'nun önemli sonuçlarının Joule'un teorisıyla bağdaşır olduğunu keşfetti.

Bunun anlamı Carnot'nun ısı korunumu aksiyomu olmadan yola devam etmektir ama Thomson korunumu aksiyomunun sandığından daha az hasarla Carnot'nun teorisinden kesilip çıkarılabileceğini gördü. En önemlisi, daha önce Carnot'nun teorisinden türettiği matematiksel denklemler μ Carnot fonksiyonu değerlerini hesaplamak için kullandığı denklem de dahil- böyle varsayma dayanmadan aynı kolaylıkla türetililebilirdi. Bu hayati adımı attıktan sonra, Thomson hem Joule'un hem de Carnot'nun ilkelerine dayanan *On the Dynamical Theory of Heat* (Dinamik Isı Teorisi Üzerine) başlıklı uzun makalesinin büyük bölümünü 1851'de çarçabuk toparlayıp yayımladı.

Böylece teorisinin kilit unsuru olarak, enerjinin ilgili sistemin içkin bir özelliği olduğu fikrini ilk kez ortaya attı. Buna göre, enerji sistemin hacmine ve sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklığı artırmak moleküllerdeki kinetik enerjinin artması anlamında sistemin enerjisinin artmasına yol açar. Hacmi artırmak da moleküller arasındaki çekim kuvvetlerine karşı bir genişlemenin ortaya çıkması halinde bir enerji artışına yol açabilir. Matematiksel mesaj, enerjinin bir durum fonksiyonu olduğudur. V hacminin ve t sıcaklığının belirlediği durumlar için, Thomson'ın teorisi daha önceki $Q(V, t)$ ısı durumu fonksiyonunun yerine yeni $e(V, t)$ enerji durumu fonksiyonunu geçirdi.

Thomson bir sistemin enerjisinin ancak sistem ve çevresi arasındaki etkileşimler yoluyla değişebileceğini varsaydı: Doğa bir sistemin sınırları içinde enerjinin yaratılmasına ya da yok edilmesine yönelik bir içsel mekanizmayı sağlamaz. Bu anlamda enerji korunur. Eğer bir sistem “kapalı”ysa, yani içeriye ya da dışarıya madde akışı yoksa, çevreyle etkileşimler yalnızca iki türde, ısınma ve iş yapma biçiminde olur. Isınma bir ısı etkileşimi, iş yapma ise ısı olmayan (genellikle mekanik) bir etkileşimdir. Bu saptamalar kolayca bir denkleme sıkıştırılabilir: Diyelim ki dQ ve dW bir sisteme küçük ısı ve iş girdileriye, sistemin enerjisinde buna denk düşen küçük değişim şöyle olur:

$$de = JdQ + dW \quad (7)$$

Burada dQ için gerekli ısı birimlerini mekanik birimlere çevirmek için J faktörünü dQ ile çarpmak zorunludur. Böylece çıkan sonuç aynı biçimde mekanik birimle ifade edilen dW değerine eklenebilir.

Thomson’ın hayati katkısı öncellerinin yalnız ısıyı ve işi öne çıkaran anlayışından -Carno’nun başlattığı ve Joule ile Clausius’un sürdürdüğü gelenekten uzaklaşması ve korunan niceliğin, yani enerjinin aslında bir sistemin ısınma ve iş yapma etkisi altında değişen bir içkin özelliği olduğunu kavramasıydı. Isının ve işin farklı enerji biçimleri olduğu sonucu çıkmaz bundan, kavram çok daha inceliklidir. Isınma ve iş yapma bir sistemin çevresiyle etkileşime girmesinin ve enerjisini değiştirmesinin iki farklı yoludur.

Enerji, ısınmanın ya da iş yapmanın bir sisteme giriş ya da çıkış yoluna bağlı olmaksızın enerjidir. Tait’e yazdığı bir mektupta, Maxwell bir sistemin enerjiyi barındırmasını kendisinin uygun gördüğünden daha ayrıntılı bir biçimde tasarlayan Clausius ve Rankine’i eleştirerek tam da bu noktaya işaret eder: “Enerjinin bir cisim içindeki durumuna ilişkin bilgilerimiz açısından gerek Rankine gerek Clausius bu konuda bir şeyler bildiklerini taslıyorlar. Hepimiz ne kadar girdiğini ve ne kadar çıktığını, girişte ya da çıkışta biçiminin ısı mı, yoksa iş mi olduğunu biliyoruz elbette ama cisimlerin mahremiyetinde nasıl bir kılığa büründüğünü ...yalnızca R., C. ve şürekâsı biliyor.”

Clausius da, Thomson’ın $e(V, t)$ ’sine eşdeğer bir $U(V, t)$ durum fonksiyonunun varlığından haberdardı. Onun 1850’de yayımlanan çalışması Thomson’ın *Dynamical Theory of Heat*’ine göre yaklaşık bir yıl önceliğe sahipti. Ama Clausius enerji kavramının fiziksel yorumunu tam yapmada daha gerideydi. 1850’de $U(V, t)$ durum fonksiyonunun fiziksel anlamını ancak yarı yarıya anlamıştı.

Thomson teorisindeki enerji için ilk başta “mekanik enerji” terimini kullandı. Enerjinin bir sistemin barındırdığı varlık olduğunu vurgulamak için, 1856’da “içkin enerji” terimini ortaya attı. Daha sonraları Helmholtz, onun kastettiği türden enerji için “içsel enerji” terimini kullandı.

Fourier Problemi

Thomson’ın *Dynamical Theory of Heat* makalesi termodinamik üzerine baş-

eseri idi. İki yıl önce huzurunu kaçıran Joule-Carnot kavram çatışmasını giderecek nitelikte eksiksiz ve doyurucu bir çözümdü. O sıralarda Thomson'ı tasaya düşüren bir başka şey Joule ve Fourier'nin teorileri arasındaki çatışmaydı. Joule ısı makinesinin işleyişinde aslında hiçbir şeyin kaybolmadığını ileri sürmüştü. Isı makinesi tarafından tüketilen, yani ısı çıktısı içinde yer almayan ısı kaybolmuyor ve eşdeğer miktarda işe dönüşüyordu. Thomson artık Carnot'nun ideal, tersinir işleyiş tarzında çalışan bir ısı makinesine ilişkin bu analizi kabul edebilecek durumdaydı. Bu durumda hiçbir şeyin kaybolması söz konusu değildi, ısı makinesinin randımanı ve iş çıktısı maksimum değerlere sahip olduğuna göre, elde edilebilecek başka bir şey yoktu.

Gelgelelim, öbür uçta Fourier'nin analiz ettiği türden sistemler vardı. Bunlar bütün ısı girdisini ısı çıktısına aktarıyor ama hiçbir kısmını işe dönüştürmüyordu. Thomson bu durumda önemli kayıpların olduğu kanısındaydı, aynı ısı girişi tersinir bir ısı makinesine beslenebilir maksimum ölçüde işe dönüştürülebilirdi. Öyleyse, Fourier sistemindeki bütün bu işe ne olmahtaydı? Benzer bir soru iş çıktısı maksimum değere ulaşmayan bir ısı makinesi için de yöneltilebilirdi. Böyle durumların hepsinde, tersinir bir işleyiş tarzından kullanılabilecek iş kayboluyordu.

Thomson 1852'de bu sorulara cevap veren kısa bir makale yayımladı. Savunduğu ana fikir şuydu: Her ne kadar bir sistemdeki enerji yok edilemezse de, tersinir bir işleyişte iş çıktısı olarak kullanılabilecekken israf edilebilir ya da "ziyan olabilir". Bir sistemdeki enerji israfının derecesi, fiili iş çıktısını hesaplanan tersinir değerle karşılaştırarak saptanabilir. Thomson'ın termodinamik anlayışının gelişimini incelemiş olan bilim tarihçisi Crosbie Smith, "düzenleme"ye ve "insan yaratıcılığı"na bağlı olması yönüyle Thomson'ın enerji israfı ilkesinin alımsızlığı karakterini açıklar. Thomson'ın *Dynamical Theory of Heat* makalesinin taslağından alıntılara yer vererek şunu belirtir:

İletimin meydana geldiği durumlarda, Thomson sıcaklık farkının sonucunda yapılmış olabilecek işin maddi dünyaya kaptırılmış olmasa bile "insanoğlu için geri kazanılmaz biçimde kaybolduğuna" ve insanoğlu için kullanılabilir olmadığına inanır. Dolayısıyla böyle dönüşümler "kendi lehine çevirme fırsatının değerlendirilmesi halinde kullanılabilir hale getirilebilecek" güç kaynaklarını insanoğlunun denetiminden çıkarır. Burada işin ya da mekanik etkinin kullanılması insanoğlunun yaratıcılığına, enerji yoğunlaşmalarını [örneğin yüksek sıcaklıkta ısıyı] mekanik etkiye dönüştürecek makineleri verimli biçimde devreye koymasına bağlıdır ve dolayısıyla bir yok oluş sonrası yaratım sorunu değil, bir düzenleme sorunudur.

Basit bir örnek Thomson'ın ne kastettiğini açıklığa kavuşturacaktır. Yerden yukarıda tutulan bir ağırlık çok yavaş düşerse ve aynı zamanda bir mekanizmayı harekete geçirirse yararlı iş yapabilir. Bu mekanizma ideal olursa, söz konusu iş bu ağırlığı eski konumuna kaldıran bir başka ideal makineye girdi olarak beslenebilir. Böylece ağırlığın yavaş düşüşünün ideal mekanizmayla bir araya geliş tam

olarak tersinir, yani ağırlık ve çevresi ilk durumlarına geri getirilebilir ve Thomson'un tarif ettiği anlamda enerji israfı olmaz.

Şimdi ağırlığın hiçbir mekanizma olmadan serbest düşüşle yere doğru indiğini varsayalım. Ağırlığın düşüşüyle birlikte, potansiyel enerjisi kinetik enerjiye ve bu kinetik enerji de ağırlığın yere çarptığı anda ısıya dönüşür (tıpkı Joule'un çavlan etkisinde olduğu gibi). Burada karşımızda "tersinmez" bir süreç vardır. Bir mekanizma ve iş çıktısı devrede olmadığı için, çevreye karşılıksız bazı yüklemeler olmaksızın ağırlığı yerin yukarısındaki ilk konumuna geri götüremeyiz ve ağırlıklar kesinlikle kendiliğinden yukarıya çıkmaz. Tersinmezliğin ve enerji israfının uç bir örneğidir bu: Ağırlığın ilk potansiyel enerjisinin tamamını ısıya indirgenmiş ve yararlı amaçlar için kalıcı biçimde elverişsiz hale getirilmiştir.

Düşen ısı düşen ağırlıklara benzer. Onun da (mutlak sıcaklıkla orantılı) bir potansiyel enerjisi vardır. Bu enerji tersinir bir ısı makinesi işleyişinde hiç israf olmaksızın tamamen kullanılabilceği gibi, Fourier'nin tersinmez serbest iletim sürecinde ya da gerçek bir ısı makinesinde araya giren bir şeyde tamamen israf olabilir. Önümüzde bir teknolojik tercih vardır: Bir ısı makinesinin tasarımını randımanlı ya da randımansız yapabiliriz, böylece savurgan ya da savurganlıktan uzak olur.

Sıcaklık Ölçümü Problemine Çözüm

Thomson enerji israfı ilkesine ilişkin makalesinin yayımlanmasıyla birlikte, sonunda of Joule, Carnot ve Fourier'nin kavramlarını uyumlu hale getirdiği kanısına varabildi. Ama termodinamiğinin temelleri henüz eksiksiz değildi. Yaklaşık beş yıldır kafasını kurcalamakta olan usandırıcı sıcaklık ölçümü problem konusunda daha bir karara varmamıştı. Özgül problem sıcaklığa bağlı μ , Carnot fonksiyonunun mutlak sıcaklıkla nasıl ilişkilendirileceğiydi.

Burada Thomson'un bu inatçı ve asap bozucu problemle ilgili çalışmalarının tam dökümünü vermeye yetecek kadar yerim yok. Thomson, μ Carnot fonksiyonu değerlerini hesaplamak için Carnot'nun teorisinden türettiği denklemleri kullanabileceğini ummuştu. Hesaplamada kullanılan bazı varsayımların geçerli olmadığını saptayınca, bu uğraştan yenik çıktığını teslim etmek zorunda kaldı. Bunun üzerine μ değerlerini hesaplamaya yönelik daha özenli bir başka girişim için Joule'un yardımına başvurdu. Joule-Thomson çalışmasının başta gelen amacı gerçek (ideal olmayan) gaz davranışlarını incelemektir ve bu açıdan başarıya ulaştı. Ama Thomson aynı zamanda μ değerlerini hesaplamak için Joule'un verilerini kullanmak istiyordu ve görevi yerine getirmeyi sağlayacak hesaplama aracını derleyip toplamakta bir kez daha başarısızlığa uğradı.

Nihayet, 1854'te Thomson hâlâ kısıtıramadığı Carnot fonksiyonunun peşini kovalamada farklı bir rota izlemeye karar verdi. Carnot fonksiyonunun ya da ondan türetilen bir fonksiyonun bir mutlak sıcaklık ölçeğini tanımlamada kullanılabileceğini öngören 1848 sıcaklık ölçümü ilkesine döndü. Hiç kuşkusuz Joule'un denklem (6)'daki Carnot fonksiyonu değerlendirmesinin etkisiyle, aynı kalıba sahip yeni bir mutlak sıcaklık ölçeği tanımlandı. Bu ölçekteki sıcaklıkları T sembolüyle gösteren varsayımı şöyleydi:

$$T = \frac{J}{\mu} \quad (8)$$

Thomson aynı zamanda yeni ölçekteki derecenin Celsius ölçeğindeki dereceye eşdeğer olduğunu varsaydı. Eldeki verilerle μ Carnot fonksiyonunun doğru hesaplanmasının o sırada mümkün olmamasına rağmen, günün birinde bu hesaplanmanın yapılacağına ve sıcaklık ölçümü ilkesinin sağlam temele dayandığına emindi artık. Bu ilke mutlak sıcaklık ve μ arasında varsayılmış her matematiksel ilişkiye olanak vermektedir. Thomson muhtemel en basit seçeneklerden biri olan ve ideal gaz mutlak sıcaklık ölçeğiyle uyuşan denklem (6)'nın makul ve en iyi seçenek olduğunu kavrayabildi. Mutlak sıcaklık ölçeğine verdiği emeklerin karşılığını da gördü: Günümüzde mutlak sıcaklık birimine "kelvin" (küçük harfle) ve kısaltılmış haliyle "K" (büyük harfle) denmektedir.

Virtüözlüğün Tehlikeleri

Günümüzün ders kitaplarında bize ulaşan mutabakata varılmış versiyonuyla, termodinamiğin yapısı üç temel kavrama; enerji, entropi ve mutlak sıcaklığa ve birincisi enerji yasası, ikincisi ve üçüncüsü entropi yasaları olan üç büyük fizik yasasına dayanır. Thomson'ın yayımlanmış çalışmalarında bu tablonun yalnızca bir kısmı görünür. Enerji ve mutlak sıcaklık kavramlarının öneminin bilincindeydi elbette. Hikâyenin bu unsurlarını yarıştaki rakiplerinin hepsinden daha iyi anlamıştı. Fakat entropi teorisinin güçlü ağırlığını kavramada yetersiz kaldı.

Aslına bakılırsa, Thomson 1854'te, daha sonraları Clausius'un irdelediği ve sonunda entropi adını verdiği kavram üzerine kurulu bir hesaplamaya el atma olanağını buldu. Ne var ki, çalışmalarında çoğu kez olduğu gibi, buna yönelmesini esas olarak sağlayan şey özel bir problemdi: Termoelektrik, yani ısıl etkilerden elektriksel etkiler elde etme konusu. Thomson temel öneme sahip saptamalar yaptı ve entropi teorisinin esaslarını kavradığını sergiledi ama analizini yalnızca özel probleme uyguladı ve bir süre sonra Clausius'un keşfe çıkacağı yeni önemli teorik zemine asla ulaşamadı.

Clausius da entropi kavramına hemen inanmadı. Bulduğu yeni fonksiyona bir ad ve sembol vermeye yetecek güveni kazanması yaklaşık on yılı aldı. Thomson ise entropi fikrini ucundan yakaladığı sıralarda, anlaşıldığı kadarıyla böyle uzun süreli ve muhtemelen riskli bir çabayı göze alacak sabır ve heyecandan yoksundu.

Thomson'ın biyografisini yazanlardan J. G. Crowther, onun kendi buluşlarının en derin anlamını "sezememe" sakarlığını bir seferden fazla gösterdiğini belirtir. "Bilimsel kehanetin en üst gücünden yoksundu" diye yazar. "Büyük bilim adamlarının tersine, görünür olguların ötesinde yatanı sezemiyordu. Bilimsel araştırmaların en üst alanlarında disiplinsizdi. Belki de bunun nedeni bilimsel düşüncenin kolektif akışıyla temastan mizacı ve alışkanlıkları gereği uzak olmasıydı. Bu disiplinsizlik çalışma alışkanlıklarına derinlemesine sinmişti. Makalele-

rini çoğu kez tuhaf kâğıt parçaları üzerine kurşunkalemle yazar ve matbaacılar o biçimde gönderirdi."

Bir başka Thomson biyografisi yazarı Joseph Larmor, onun bilimsel virtüözlüğünün bir tablosunu sunar bize. Kafasının her türden teknik probleme dönük parlak çözümlerle dolu olduğunu ve bu yüzden hepsini yazıya dökmeye pek zaman bulamadığını, başardığı en büyük işleri düzenleyip yekpare bir bütün haline getirmeye ise hiç zaman bulamadığını aktarır. Makalelerinin çoğu "zihninden taşarak (...) en yakın yayın kanalına akan (...) parçalardan ibaretti" diye yazar Larmor. "Ömrünün ilk yarısında, vardığı temel sonuçlar öylesine hacimliydi ki çoğu kez randımanlı bir geliştirme şansını bırakmadı ona. Böyle bir birikimin ortasında kötü bir sergileyici olup çıktı. Sürekli önüne açılan ufuklara dair sırf bir fikir edinmenin yolu ancak yayımlanmış bölük pörçük kayıtlarının arasında ileri geri dolanarak uğraşlarının izini sürmek ve böylece meşguliyetinin ardışık bir görünümlerini elde etmektir."

Thomson'ın "yayımlanmış bölük pörçük kayıtlarının arasında ileri geri dolanan" mantık çizgilerini izlemenin zorluğu hiç kuşkusuz doğru olsa da, çalışmalarında kesinlikle bir vizyon vardı. Smith'in vurguladığı gibi, Thomson'ın çalışmalarının kapsamı diğer fizikçi meslektaşlarınınkinden çok geniştir. Öbür termodinamikçilerin tersinir süreçlere yoğunlaştığı bir dönemde, Thomson akış halindeki ve termoelektrik sistemlerdeki tersinmez süreçlerin termodinamiği üzerinde durdu. Analiz yöntemlerinden bazıları ancak çok sonraları genel kullanım alanına girdi. Gerçi Thomson entropi kavramının önemini küçümsedi ama ikinci bir termodinamik yasasına duyulan gereğin gayet iyi farkındaydı. Enerji israfı ilkesi ikinci yasanın modern saptamasının bir sonucudur.

Thomson bu dağınık tarzıyla termodinamiğin başlıca problemlerinin hepsine dokundu. Ancak sıcaklık ölçeği ve enerji kavramının yorumu dışında, çalışmaları bugünün termodinamik ders kitabı versiyonunda yer almamaktadır. Termodinamikçiler arasında Clausius ve Gibbs ayarında bir konuma sahip olmasına karşın, bilimsel terekesi onlarınkinden çok daha sınırlıdır.

Clausius'la bir karşılaştırma çarpıcıdır: Aşağı yukarı aynı yaşlarda olan ve Carnot'nun mirasına sahip çıkan bu iki bilim adamının uğraştığı termodinamik konuları aynıydı. Ne var ki, önde gelen üçüncü kuşak termodinamikçi Gibbs'i etkileyen, enerji ve entropi kavramları ile bunların yasalarına dayalı Clausius termodinamik dizgesiydi. Clausius da silik duruma düşebilirdi ama teorilerinin kavramsal temelleri konusunda kuşkuya hiç yer bırakmadı ve Gibbs'e bugünkü termodinamik ders kitaplarında gördüğümüz dizgeyi bir araya getirmesi için gerekli ipuçlarını verdi.

Kişi Olarak Thomson

Gelgelelim, Thomson'dan bize kalan farklı türde bir anıt var: Bu virtüözlüğe varan kabiliyetin insan olarak neye benzediğini biliyoruz. Kavgacı kişiliğiyle ve bilim dünyası dışında şöhretten yoksun oluşuyla ilişkili olduğu besbelli nedenlerden dolayı usta bir biyografi yazarının ilgisinin çekmeyen Clausius'un tersine,

Thomson biyografi yorumlarının popüler bir konusu olmuştur ve hâlâ da öyledir. İlk Thomson biyografisi (p harfi dışında) aynı soyadını taşıyan Silvanus P. Thompson'ın yazdığı *The Life of William Thomson*'di. Thompson ara sıra doğruluktan uzaklaşacak kadar aşırı bir hayranlık içindedir ve Cambridge kültürüne tutkunluğunu paylaşmamak mümkündür ama onun iki ciltlik eseriyle birkaç gün geçirmeden Thomson'ın hayatına girmek için daha keyifli bir yol bulmak zor olacaktır.

Silvanus Thompson ele aldığı kişinin meziyetlerinden aşırı etkilenmiş olsa bile, onu daha bütünlüklü gören dostlarından, öğrencilerinden ve akrabalarından uzun alıntılar yapma sağduyusunu göstermiştir. Bu profili Thomson'la ilişkilerinden etkilenmiş, keyif almış ve bir parça üzölmüş iki genç insanın yorumlarıyla bağlamaktan daha iyi bir yol bulunamaz.

Önce Thomson'ın ikinci kuşaktan yeğeni Margaret Gladstone'a kulak verelim. Thomson'ın gözdeleleri arasında yer alan Margaret Gladstone, genç bir kızken Thomson malikânesi Netherall'u sık sık ziyaret ederdi. (Hayatının dikkate değer iki yönü daha: Kraliyet Enstitüsü'nde Faraday'ın yerine geçen J. H. Gladstone'un kızı ve İngiliz İşçi Partisi'nin kurucularından biri olarak 1920'lerde başbakanlık yapan Ramsay Macdonald'ın karısıydı.) Sevimli "William Dayı" ve "Fanny Teyze" tasviri safça ama aynı zamanda keskin kavrayışlıdır:

Fanny Teyze muhabbeti çok sever. William Dayı'ya gelince, etrafta neler olup bitğine sanki hiç aldırmaz. Aynı coşkuyla kendisini matematiğe kaptırıp çalışır ve aradaki boşluklarda yakınında kimi bulursa onunla canlı sohbetlere girer. İkisi de bana çok iyi davranırdı. En hoşuma giden zamanı, hiç ziyaretçinin olmadığı bir gün yaşadım ve yaklaşık otuz saat tamamen başbaşa kaldık.

Matematik "yeşil kitap"ta capcanlı sürüp giderdi. O "yeşil kitap" büyük bir kuru rum gibi. Bir dizi "yeşil kitap" var, onun için özel yapılmış defterler aslında bunlar. Bir tanesini beş altı yılda doldurur. Onun ayrılmaz dostları gibiler. Üst katta, alt katta, içeride, dışarıda, her nereye giderse onunla beraber dolaşırlar. Her şart altında "yeşil kitabı"na bir şeyler yazar. Onlara göz atmak bayağı eğlenceli, bir kayıt trende, bir başkası bahçede, bir üçüncüsü sabah yataktan çıkmadan önce yazılmıştır. Böylece, gece gündüz her saati doldururlar. Bir kaydı yazmaya başladığı yeri ve tam dakikayı her zaman yazar.

1896'da Thomson'ın Glasgow Üniversitesi'ndeki uzun hizmetinin anısına iki bin aşkın konunun katıldığı devasa bir kutlama düzenlendi. Büyük kalabalık Thomson'ın cevaben yaptığı konuşmada beklediği şey pek bulamadı. O anda en köklü duyusunun bir başarısızlık hissi olduğunu anlatmak zorunda kaldı: "Elli beş yıl boyunca bilimin ilerlemesi için sebatla sürdürdüğüm son derece zahmetli çabaları nitelendirecek tek bir kelime var ve o da *Başarısızlık*. Elektrik ve manyetik kuvvet üzerine, esir, elektrik ve kafa yormaya değer madde üzerine ya da kimyasal ilgi üzerine, elli beş yıl önce profesör olarak girdiğim ilk derste bildiğimden ve doğa felsefesi öğrencilere öğretmeye çalıştığımın daha fazla şey bilmiyorum."

Margaret Gladstone da oradaydı ve bazı ağırbaşlı düşüncelerini not etmişti:

O akşam en yoğun çabalarını nitelendirirken kullandığı “Başarısızlık” kelimesi yarı hüznü, yarı hasret dolu bir vurguyla salon boyunca cınlayıp durdu sanki. Bazı kişiler inanmaz bir havada kahkahalar atmaya çalıştılar ama bunu kaldıramayacak kadar ciddiydi o. Bununla birlikte kötümser de değildi, çalışmalarından şimdi de süren keskin bir haz aldığı, çalışma arkadaşlarının yardım ve sevgisini bütün sıcaklığıyla hissettiği apaçıktı.

Öğrencilere gelince, ideal dersin bir konferans olduğundan söz ettiği zaman, kahkahaya boğulmaları için haklı bir neden olduğunu söylemek zorundayım, çünkü onlara ders verirken uçuştunu ve akıllarına sığmayacak kurgusal fikirleri ortaya saçtığını hep işitiyorum.

William Day’ın sözlerini kafamda tartarken, bunları söyleyiş tarzı ve övgüye boğulurken takındığı sakini, ciddi, boyun eğmiş bakıştaki eda belleğimi dolduruyor. Marazi bir şey vardı bütün bunlarda: İnsanların niçin bu kadar iyi davrandığına dair bir merak ve buna layık olacak daha fazla şey yapmış olma arzusu.

Thomson derslere hazırlanacak zamanı nadiren bulurdu ve Margaret Gladstone’un bize aktardığına göre, en son buluşlarını hiçbir şey anlamayan öğrenci kitlelerine anlatmaktan kendini alıkoymazdı. Kendisi de sınıfta pek başarılı olmayan Helmholtz, onun öğrencileriyle nasıl temas kurduğunu hep merak ederdi: “Öylesine hızlı düşünür ki (...) gerekli bilgiyi edinmek için (...) sıkılmasına yol açan bir sürü soru yöneltmeniz gerekir. Öğrencilerinin, benim göze aldığım gibi konuya bağlı kalması için zorlamaksızın, onu nasıl anlayabildiği benim için bir muammadır.”

Bununla birlikte Thomson ile öğrenci “tabaka”sı arasında sevecen bir bağ vardı. Öğrenciler onun sınıfta konu dışına çıkışlarını bağışlar, bir bilim adamı ve gösterişsiz bir insan olarak büyüklüğüne saygı gösterirlerdi. İşte size, Thomson’ın 1870’lerdeki derslerine katılmış “matrak öğrenciler” arasında yer alan ve daha sonraları halefi olan Andrew Gray’in bir anısı. Programın son dersinin bir anlamıdır bu:

Normal programın kapanış dersi çoğunlukla ışıkla ilgili olurdu ve bu konu genellikle sona bırakılırdı, çünkü ilkbaharda gündüzlerin uzaması kimi zaman deneyler için güneş ışığından yararlanmayı mümkün kılardı. Ders çoğu kez dönemin son bir ya da iki gününe sıkıştırılırdı. Bu nedenle bir saatlik dersin ardından, “Dönemin son gününde olduğumuza göre, ayrılması gerekenlerin sınıflarına gitmelerinden sonra dersi birazcık daha sürdüreceğim” derdi Thomson. Derken saat onda derse yeniden başlayıp on bir kadar devam ederdi. Ayrılması gereken öğrencilere bir kez daha bu fırsat verilir ve derse tekrar başlanırdı. Evde yapılacak başka türden işler için ihtiyaç duyulan hocaların başına ne geldiğini öğrenmek için mesajlar gönderilir ve her saat başı geri giden cevap “Hâlâ ders veriyor” olurdu. Nihayet saat birde dersi bitirir ve sonuna kadar kalmış olan küçük ve dersine bağlı öbeğe, gösterdikleri nazik ve uzun süreli ilgiden dolayı kibarca teşekkür ederdi.

Entropiye Giden Yol Rudolf Clausius



Bilim Kardeşliği

Termodinamik tarihi insanların ve kavramların hikâyesidir. Karakter kadrosu geniştir. En az on bilim adamı termodinamiği yaratmada önemli roller oynadı ve çalışmaları yüzyılı aşkın bir zaman dilimine yayıldı. Buna karşılık kavramlar listesi şaşırtıcı ölçüde kısadır. Termodinamikte üç yol gösterici kavram vardır: Enerji, entropi ve mutlak sıcaklık.

Üç kavram Sadi Carnot'nun ısı makineleri teorisine ilişkin bilimsel raporunu yayımladığı 1824'ten başlayarak kırk yıllık bir dönemde geliştirildi ve ilk kez kullanıldı. Carnot öncüydü ve savlarını arındırmak için başvurabileceği kavramsal araçlar ilkeldi. Bununla birlikte halefleri için vazgeçilmez hale gelen son derece özgün kavramlar ve yöntemler bulmayı başardı.

Carnot 1832'de öldü ve bilimsel çalışmaları da onunla birlikte gömüldü. Unutulup giden raporu önce çalışma arkadaşı Emile Clapeyron, daha sonra ikinci kuşak termodinamikçilerden Rudolf Clausius ve William Thomson sayesinde hayata döndü. Aşağı yukarı Carnot'nun çıkış açıcı raporuyla aynı sıralarda doğan bu iki adam, deyim yerindeyse Carnot'nun bilimsel zürriyetindendi. Carnot'yu görmezlikten gelmiş kuşağın dünyadan göçtüğü sıralarda olgunluk çağına varan Clausius ve Thomson, bilimsel fikirler dünyasına adım attılar ve Carnot'nun güçlü ama gözardı edilmiş mesajından sonuna kadar yararlandılar. Şimdi Clausius'u ele almanın zamanı ama önce bazı matematiksel meselelere eğilmeliyim.

Formüller ve Kabuller

Bir sistemi termodinamik üslubuyla açıklamak için, önce sistemin durumunu belirleyen V hacmi ve t sıcaklığı (günümüzde Celsius sıcaklığı) gibi değişkenler tanımlamak gerekir. Sistemin bazı süreçlerden geçmesiyle V ve t değerlerinde ortaya çıkan küçük değişiklikler dV ve dt olarak ifade edilir. Bu semboller artışları ya da azalışları belirtebilir. Bunun anlamı dV ve dt değerlerinin örtük olarak pozitif ya da negatif olmasıdır. Örneğin, genleşmede sistemin hacmi arttığı için dV değişikliği pozitifdir, sıkışmada ise hacim azaldığı için dV negatifdir. Benzer biçimde, pozitif dt bir sıcaklık artışı, negatif dt ise bir sıcaklık azalmasını belirtir.

Isınma ve iş yapma termodinamiğin temel süreçleridir. Clausius ve Thomson'un kavradığı gibi, bunlar bir sistem ile çevresi arasındaki etkileşimlere dayanır. Örneğin, bir sistem çevreden az miktarda dQ ısı katmak ısınma sürecinde küçük bir adımdır. Sisteme katılan ısı pozitif sayılır ve dQ örtük olarak pozitif olur. Tersine süreç dQ ısını sistemden alır ve dQ negatif olur. Bu kabuller Çizim 8.1'de gösterilmektedir.

İş yapma süreci, bir araba motorunda olduğu gibi, piston-silindir düzeneğinde bir gazın sıkışması olabilir. Sıkışma sürecinde küçük bir adım sistem (gaz) üzerinde yapılan az miktardaki dW işiyle ifade edilir ve bu iş pozitif sayılır. Tersine süreç olan genleşmede ise sistem kendi çevresi üzerinde iş yapar. Bu bir iş çıkartıdır ve dW negatif sayılır. Bunu Çizim 8.2'de görebilirsiniz.

Bir sisteme az miktarda dQ ısını yavaşça katarsak, tepki büyük olasılıkla dt değerinde küçük bir sıcaklık artışı olur; buna dV hacim artışıyla ifade edilen küçük bir genleşme eşlik eder. Isı ve yarattığı iki etki, Clausius için vazgeçilmez bir matematiksel araç olan şu denklemle ilişkilendirilir:

$$dQ = MdV + Cdt \quad (1)$$

Bu denklemdeki C katsayısına "ısı kapasitesi" denir. Hacmin sabit tutulduğunu ve hacimde hiçbir değişiklik olmadığını ($dV = 0$) varsayarak hacmi izole edebiliriz. O zaman denklem (1)'den şu sonuç çıkar:

$$dQ = Cdt \text{ (sabit } V) \quad (2)$$

Sisteme $dQ = 0,1$ ısı birimi kattığımızı ve sıcaklık değişikliğini $dt = 0,001^\circ\text{C}$ olarak ölçtüğümüzü varsayalım. Bu durumda denklem (2)'ye göre hesaplanan ısı kapasitesi şu olur:

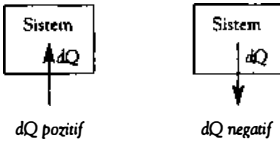
$$C = \frac{dQ}{dt} = \frac{0,1}{0,001} = 100 \text{ ısı birimi } ^\circ\text{C başına}$$

Buna göre ısı kapasitesi sistemin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli olan ısı birimi sayısıdır.

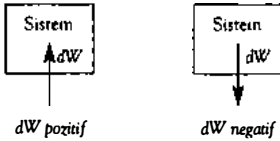
Gazdan oluşan bir sistemi sıkıştırırsak ve hacmini dV değerinde değiştirirsek, yapılan az miktardaki dW işi hacim değişikliğiyle orantılı olur.

$$dW \propto -dV \quad (3)$$

(Buradaki $\propto$ sembolünü “orantılı” diye okuyun.) Daha önce dW ve dV için belirttiğimiz kabuller nedeniyle, dV önüne eksi işareti konmalıdır. Sıkışma işi girdisi sağlar, bu nedenle dW pozitifdir, dV ise negatiftir, çünkü sıkışma sonunda hacim azalır. İşaretlerin yanlış eşleşmesi, pozitif olan dV 'nin yerine $-dV$ 'yi geçirerek giderilir. Aynı işlem dV 'nin pozitif olduğu ve negatif $-dV$ 'nin iş çıkışı için negatif bir dW ile eşleştirildiği bir genleşmeye de uygulanır.



Cizim 8.1. Denklemdaki dQ için işaret kabulünün görsel açıklaması.



Cizim 8.2. Denklemdaki dW için işaret kabulünün görsel açıklaması.

Sıkışma sırasında yapılan iş, beklenebileceği üzere, aynı zamanda bir basınç faktörüyle orantılıdır, çünkü bir gazı düşük basınçta sıkıştırmak yüksek basınçta sıkıştırmaya oranla daha az iş gerektirir. Eğer sıkışma yavaşça uygulanırsa, bu basınç faktörü dosdoğru gazın P basıncı olur. Bu faktör katıldığında, orantılılık (3) şöyle bir denkleme dönüşür:

$$dW = -PdV \quad (4)$$

Bu denklem bir gazın genleşmesi ve hatta bir sıvının ya da katının genleşmesi ya da sıkışması için de geçerlidir.

İletilen ve Dönüştürülen Isı

Clausius 1850'de yayımladığı bir bilimsel raporda Carnot'nun çalışmalarını aradan geçen yirmi beş yılın buluşlarıyla bağdaştırdı ve termodinamiğin birinci yasağını hemen hemen bugünkü biçiniyle formüle etti. Clausius'un 1850 makalesi Carnot'nun ölümünden iki yıl sonra o dönemin (ve günümüzün) teorisyenlerince anlayacağı matematiksel dille Émile Clapeyron tarafından yazılmış olan

makaleye bir göndermeyle başlıyordu. Carnot, açıklamaya bir türlü fırsat bulamadığı nedenlerle, raporunu büyük ölçüde matematiksellikten uzak olan ve ele aldığı incelikli noktaların bulanık kalmasına yol açan bir üslupta yazmıştı.

Hem Carnot'yu hem de Clapeyron'yu yanlışa yönelten şey, kemikleşmiş kalorik ısı teorisiydi. Bu teori ısının yok edilemez olduğunu ve dolayısıyla bir ısı makinesinde ya da başka bir aygıtta işe dönüştürülemeyeceğini ısrarla savunmaktaydı. Isı makinesinin yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa düşürdüğü ısının miktarında hiçbir değişiklik söz konusu olamazdı. Clausius için, aynı biçimde bir yıl sonra Thomson için, Carnot-Clapeyron çalışmalarını kalorik teorisine özgü yanlış anlamalardan kurtarmanın zamanı gelmişti artık. Clausius bu işi önce 1850 makalesinde herhangi bir ısı makinesinde ısı girdisinin bir kısmının işe *dönüştüğü* yolundaki temel varsayımı ortaya koyarak yaptı. Buna göre geri kalan ısı girdisi, Carnot-Clapeyron modelinde olduğu gibi, dosdoğru yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa *iletilir* ve ısı makinesinin çıktısı haline gelir. Bir başka deyişle, ısı *iletim* ve *dönüşüm* olmak üzere iki tür aktarımdan etkilenebilir. Bu durum bir ısı makinesi çevriminin her turu için şöyle özetlenebilir:

$$\text{ısı girdisi} = \text{dönüştürülen ısı} + \text{iletilen ısı} \quad (5)$$

ya da

$$\text{ısı girdisi} - \text{iletilen ısı} = \text{dönüştürülen ısı} \quad (6)$$

Clausius bu son saptamayı C ve M katsayılarının yer aldığı çapraşık bir diferansiyel denklemi biçiminde ortaya koyan upuzun bir gerekçeli açıklamaya başvurdu.

Birinci Yasa

Eğer Clausius analizinde daha ileri gitmemiş olsaydı, 1850 makalesi termodinamik tarihinde önemli bir yer tutmazdı. Türettiği diferansiyel denklem, matematiksel açıdan geçerliydi ve fiziksel geçerliliği de doğrulanabilirdi ama geliştirilmesine vesile olan o andaki koşulların ötesinde pek fazla anlamı yoktu. Clausius bu eksikliklerin farkındaydı ve sonraki çabası ortaya koyduğu savı yeniden biçimlendirerek daha anlamlı hale getirmek oldu.

Bazı ustaca matematiksel manevralarla ilk denklemden çok daha önemli bir teorik araç işlevini görecektir olan ikinci bir denklem (7. denklem) türetti. Bu denkleme termodinamiğin birinci yasasının standart matematiksel versiyonu olarak günümüzün bütün termodinamik ders kitaplarında rastlanabilir. Matematiksel açıdan yakın ilişkili iki denklemin fizikteki önem açısından böylesine farklılık göstermesi -bir denklemin tarihsel bir merak konusuyla sınırlı olması, buna karşılık diğerinin her fizikçi, mühendis ya da kimyacı tarafından bilinmesi- teorik bilim adamı için matematiğin yazılış ve yorumlanış biçimine bağlı olarak parlak ya da donuk bir mesaj içerebilecek bir dil olduğunun canlı kanıtıdır.

Clausius'un ilk diferansiyel denkleminin yalnızca entegralini alması içerdiği fiziksel mesajın açığa çıkmasına yetti. Dosdoğru entegral almanın bir yan ürünü olarak bir V ve t fonksiyonuna başvurdu. Vardığı sonuç $Q(V, t)$ ısı durumu fonksiyonunu andırıyordu. Aradaki tek fark bunun sahiden bir durum fonksiyonu olmasıydı. Clausius'un $U(V, t)$ diye ifade ettiği yeni fonksiyon, günümüzde termodinamik pratiğine damgasını vuran yararlı durum fonksiyonları koleksiyonunun ilk parçasıydı.

U niceliği düzgün bir durum fonksiyonuydu ama fiziksel açıdan ne anlama gelmekteydi? Clausius buna yine denklem (1)'den yararlanarak cevap verdi. Birkaç matematiksel dokunuşla, şu denklemi türetti:

$$dQ = dU + \frac{1}{J} PdV \quad (7)$$

Bu denklemde P basıncı ifade eder ve $\frac{1}{J}$ faktörü PdV terimine bağlı mekanik birimleri dQ için gerekli ısıl birimlere çevirir.

Bu noktada Clausius termodinamiğin birinci yasasının matematiksel ifadesi olarak günümüz termodinamik öğrencilerinin tanımakta güçlük çekmediği denkleme varmıştı. Modern kullanımda, ısı ve mekanik birimler arasında hiçbir ayırım yapılmadığı için J faktörü gereksizdir, U bir içsel enerji olarak kabul edilir ve denklem U değerindeki değişiklikleri yansıtacak biçimde şöyle yazılır:

$$dU = dQ - PdV \quad (8)$$

Ama 1850'de enerji kavramı henüz belirsizdi ve Clausius'un yorumunda yer alması olanaksızdı. Ona göre, denklem (7) öncelikle ısı teorisine bir katkıydı ve dQ ısınma sürecindeki küçük bir adım sırasında katılan ısı miktarını ölçmeye yönelikti. Sisteme giren bu miktar -etkisi bir termometrede ölçülebilen- "serbest" ya da "hissedilir" ısı biçimine bürünebilir ya da işe dönüşebilirdi. Clausius *içsel olarak* (günümüzün yorumuyla moleküller arasındaki kuvvetlere karşı) ve *dışsal olarak*, yani çevrede uygulanmış bir basınca karşı yapılan iki iş türü olduğunu saptadı. Denklem (7)'deki $\frac{1}{J} PdV$ teriminin ikinci değerini vermesi nedeniyle,

dU 'nun iki şeyi hesapladığı sonucuna vardı: Hissedilir ısıdaki değişiklikler (bir ısı katıldığı zaman daima artış yönünde) ve eğer varsa, yapılan içsel işin miktarı.

Clausius makalelerini bir kitapta topladığı 1864'te 1850 tarihli makalesine yaptığı bir ekle görüşünü özlü bir anlatımla şöyle özetledi: "Burada sunulan U fonksiyonu ısı teorisinde büyük öneme sahiptir. İzleyen raporlarda sıklıkla ele alınacaktır. Belirtildiği üzere, bir cismin durumunu değiştirmesi sırasında hesaba katılan üç ısı niceliğinden ikisiyle ilgilidir. Bunlar *hissedilir* ya da *fiilen mevcut* ısıdaki ve *içerideki iş sırasında sarf edilen* ısıdaki artışlardır."

Clausius'un kendi $U(V, t)$ durum fonksiyonuna ilişkin bu yorumu geliştirdi-

ği sıralarda, Thomson da $e(V, t)$ diye ifade ettiği özdeş fonksiyona dayalı bir teori kurmaya çalışıyordu. Kendi fonksiyonuna “mekanik enerji” adını veren Thomson, bunu çevresiyle ısı ve iş alışverişine girdikten sonra bir sistemde depolanan mekanik etkinin (moleküler kinetik ve potansiyel enerjinin) bir ölçüsü olarak anlıyordu. Zamanla bunun yerine “içkin enerji” adını benimsedi. Daha sonraları yerleşen “içsel enerji” adını ise Helmholtz koydu.

Clausius’un on beş yıl boyunca Thomson’ın enerji teorisini kabul etmeye yanaşmaması, enerji kavramının -ve de Thomson’ın içgörüsünün- ne kadar çetrefil olduğunun çarpıcı bir göstergesidir. Clausius ancak 1865’te Thomson’ın yorumunu benimsedi ve kendi U fonksiyonuna “enerji” demeye başladı. Thomson’ın ya da Helmholtz’un terimlerini kullanmazdı.

U fonksiyonunun fiziksel anlamı konusundaki belirsizliğine rağmen, Clausius 1850 tarihli makalesinde termodinamiğin birinci yasasının tam bir formülasyonuna yaklaşmıştı. Kullandığı matematiksel gösterim biçimi bile günümüz ders kitaplarındakiyle aynıydı. Clifford Truesdell onun 1850’deki çalışmasında başardığı şeyleri şöyle özetler: “Clausius’un [1850] makalesiyle klasik termodinamiği yarattığına hiç kuşku yoktur. ... Clausius burada büyük bir buluşunun niteliğini sergiler: Önemli önemsiz öncellerinden kalan sağlam şeyleri korurken, ... geri kalanı dobra bir tavırla çöpe atmak, daha önce birbirinden kopuk olan teorileri birleştirmek ve basit ama köklü tek bir değişikliklikle önceki başarılarla sıkıca yaslanan yepyeni ve eksiksiz bir teori kurmak.”

Clausius’un yaptığı “basit ama köklü tek değişiklik” ısı makinelerinde ve başka yerlerde ısının yalnızca (Carnot’nun varsaydığı gibi) yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa inmekle ya da iletilmekle kalmadığını, aynı zamanda işe de dönüşebileceğini varsaymasıydı. Başta Joule olmak üzere başkaları da ısıdan işe dönüşümlerin mümkün olduğunu kavramıştı. Joule’un araştırmalarının büyük bir bölümü tersine, yani işten ısıya dönüşümle ilgili gözlemlere dayalıydı. Ne var ki, böyle dönüşümlere ilişkin kavrayışı genel bir ısı teorisinin çerçevesine oturtan ilk kişi Clausius’tu.

Isı Aktarımları

Clausius’un “basit ama köklü tek bir değişiklik” üzerine kurulu teorik yapısına daha katması gereken çok şey vardı. 1854’te ısı teorisi üzerine ikinci bir makale yayımladı. Bu makalede termodinamiğin birinci yasası ve enerji kavramı alanının çok ötesine geçerek, termodinamiğin ikinci yasasına ve entropi kavramına dayalı yeni alanda bir hayli mesafe aldı. Başlangıç varsayımı yine ısının iki tür aktarımla geçebileceğiydi. Clausius’un bu aktarımlara ilişkin terminolojisini biraz geliştirerek, ısının yüksek bir sıcaklıktan düşük bir sıcaklığa düşüşünü bir “iletim aktarımı” ve ısının işe dönüşmesini bir “dönüşüm aktarımı” olarak anıcağım. Clausius her iki aktarım türünün (yine onun terminolojisi dışında bir ifadeyle) biri “doğal”, diğeri “doğal olmayan” iki muhtemel doğrultu izleyebileceği kanısındaydı. Doğal doğrultuda aktarım kendi başına, kendiliğinden ve yardım almaksızın devreye girebilir, buna karşılık doğal olmayan doğrultu bir zorlama olmadıği sürece mümkün değildir.

Dönüşüm aktarımında doğal doğrultu Joule'un işten ısı elde etmeye ilişkin gözlemlerinde görülebilir. Clausius'a göre, dönüşüm aktarımında doğal olmayan doğrultu ısıdan iş elde edilmesidir. Asla kendi başına meydana gelmeyen ve daima ısı makinesinin işleyişiyle zorlanması gereken bir dönüşümdür bu. İletim aktarımında doğal doğrultu, ısıнын yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa serbestçe iletilmesidir. Doğal olmayan doğrultu ise ısıнын tersine düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa taşınmasıdır ve kendiliğinden bir süreç olarak ortaya çıkması olanaksızdır. Böyle bir ısı aktarmanın klimalarda kullanılanlara benzer bir "ısı pompası"yla zorlanması gerekir.

Clausius önemli bir adım atarak, bu akıl yürütmeyi daha da ileri götürdü. Isı makinelerinde iki ısı aktarımı türünün aynı anda meydana geldiğini gördü. Isı makinesinin çalışması sırasındaki her çevrimde, iletim aktarımı doğal doğrultuda gerçekleşirken (ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa inerken), dönüşüm aktarımı doğal olmayan doğrultuyu izler (ısı işe dönüşür). Sanki iletim aktarımı doğal olmayan doğrultuda dönüşüm aktarımını *harekete geçiriyor* gibidir.

Dahası, Clausius'un vardığı sonuca göre, iki aktarım dengeye öylesine yakındır ki, tersinir işleyişlerde biri diğerine baskın çıkabilir. Bir bakıma eşdeğer oldukları söylenebilir. Clausius bu ipucunu izleyebilecek bir nicel "ısı aktarımı teorisi" kurmaya girişti. Hedefi ise tersinir, çevrimsel süreçlerde her iki aktarım için "eşdeğerlik değerleri" saptamaktı. Bu eşdeğerlik değerlerinin yeni bir doğa yasasında denge veya kendi deyişiyle "telafi" durumunu ifade etmek için kullanılabileceğini umuyordu.

O sırada farkında olması pek mümkün görünmese de, Clausius bu basit teorik beklentiyle, bilim tarihinde gelecek vaat eden akıl yürütme çizgilerinden birini başlatmıştı. Yapmakta olduğu şeyin önemini tam kavraması kolay olmayacaktı ama kavramına ve doğurduğu büyük ilkeye, yani termodinamiğin ikinci yasasına ulaşması için gerekli bütün teorik ipuçları vardı artık elinde.

Clausius ısı aktarımı teorisine ısıнын düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa kendiliğinden iletilmediği aksiyomuyla başladı. (Bir buz sarkıtına dokunursanız, daha sıcak olan elinizdeki ısı soğuk buz sarkıtına geçer ve buz sarkıtı soğukluk hissi verir. Buz sarkıtları asla sıcaklık hissi uyandırmaz.) Clausius 1854 makalesinde bu varsayımı şöyle belirtiyordu: "Aynı anda meydana gelen bağlantılı başka bir değişim olmaksızın, ısı asla daha soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme geçemez." Daha sonraları aksiyomunu şöyle basitleştirdi: "Isı daha soğuk bir cisimden daha sıcak bir cisme kendi başına geçemez."

Clausius'un bu basit hareket noktasından teorisini geliştirmek için kullandığı savlar burada ele alınamayacak kadar uzundur. Onun eşdeğerlik değerleri ve telafi durumu tersinir, çevrimsel süreçlerin hepsinde devreye giren ısılara ve sıcaklıklara ilişkin temel bir kalıbı ortaya koyar. Eğer t_i böyle bir süreçte meydana gelen bir adımdaki sıcaklık ve Q_i bu adımdaki ısı girdisi ya da çıktısı olursa, Clausius'un bu adıma denk düşen eşdeğerlik değeri $f(t_i)Q_i$ olur; burada $f(t_i)$, t_i sıcaklığının bir tür *evrensel* fonksiyonudur. Bir süreçteki bütün adımlar için belirlenen bu tür terimlerin $\sum f(t_i)Q_i$ gösterimiyle yazılan toplamı, bütün süreç için

net eşdeğerlik değeri verir. Clausius'un tersinir işleyiş için telafi durumunda, toplamdaki terimler tam olarak birbirini götürür ve sonuç şöyle olur:

$$\sum f(t_i)Q_i = 0 \text{ (tersinir, çevrimsel işleyiş)}$$

Her biri t sıcaklığında küçük bir dQ ısı aktarımını kapsayan çok sayıda küçük adımdan oluşmuş bir süreç için, Clausius'un telafi ölçütü çok sayıda küçük adımın bir toplamı olarak ifade edilir, yani şöyle bir entegral biçimini alır:

$$\int f(t)dQ = 0 \text{ (tersinir, çevrimsel süreç)} \quad (9)$$

Clausius açısından, çok önemli bir sonuçtu bu: Yeni bir durum fonksiyonu bulunduğunu gösteriyordu. Clausius'un akıl yürütmesini sürdürmek üzere, yeni fonksiyonu geçici olarak jenerik F sembolüyle (Carnot fonksiyonu için daha önce kullanılan F ile aynı değil) ve küçük bir dF değişikliğini

$$dF = f(t)dQ \text{ (tersinir süreç)} \quad (10)$$

diye tanımlarsak, denklem (9) şu hale gelir:

$$\int dF = 0 \text{ (tersinir, çevrimsel süreç)} \quad (11)$$

Clausius buradan hareketle F 'nin bir durum fonksiyonu olmasını sağlayan bir matematiksel teoreme yönelebildi artık. Diğer durum fonksiyonu $U(V, t)$ 'ye paralel olarak, bunu $F(V, t)$ fonksiyonu olarak belirlemek mümkündü.

Bu noktada, Clausius teorisinin temelinde yatan matematiksel bileşenlere ulaşmıştı ama bu matematiğin fiziksel yorumu berrak olmaktan uzaktı. U fonksiyonunun fiziksel anlamı hâlâ bulanıktı ve yeni fonksiyon daha da bilinmez bir esrardı. Usta bir teorisyen olarak, Clausius daha sonraları matematiksel savın uydurmaları olduğu ortaya konabilecek niceliklere çok fazla fiziksel anlam yüklemenin getireceği tehlikelerin farkındaydı. Bu yüzden 1854'te yeni durum fonksiyonu için bir ad önermediği gibi, bir sembol verme yoluna da gitmedi.

Bununla birlikte, Clausius telafi durumu (11)'in gerçekten yeni bir durum fonksiyonunu tanımladığı yolundaki sonucuna güvenebileceği ve bu matematiksel olgudan hareketle evrensel $f(t)$ fonksiyonunun belirleyebileceği kanısındaydı. Daha ileri bir matematiksel sav onu şu sonuca götürdü:

$$f(t) = \frac{1}{t + a} \quad (12)$$

Burada $t + a$ ideal gaz ölçeğindeki mutlak sıcaklığı tanımlar. Mutlak sıcaklığı göstermek için bir kez daha T 'yi kullanan Clausius'un vardığı sonuç şuydu:

$$f(t) = \frac{1}{T}$$

Bu sonucun denklem (10)'daki karşılığının yerine konması, Clausius'un henüz adı olmayan yeni termodinamik durum fonksiyonunu tanımını tamamlar:

$$dF = \frac{dQ}{T} \text{ (tersinir süreç)} \quad (13)$$

İkinci Yasa

Denklem (13)'ün matematiksel eşdeğerine ulaştığında, Clausius daha geniş kapsamlı bir teoriye doğru umut verici bir başlangıç yaptığının farkına herhalde varmış olmalıdır. Ama teori hâlâ ciddi biçimde sınırlıydı. Bir kere, denklem (13) yalnızca tersinir süreçler için geçerliydi. Tersinirlik durumu ilk olarak Carnot tarafından ısı makinesi işleyişinin maksimum verimliliği sağlama anlamındaki ideal biçimini tanımlamak amacıyla ortaya atılmıştı. Clausius'un denklem (13)'e varmayı sağlayan savında önemli bir yere sahipti. İki tür ısı aktarımının birbirini telafi ettiğini ileri sürmesine olanak vermekteydi.

Carnot'nun teorik üslubuyla büyük işler başarmıştı Clausius. Şöyle bir şeyi hayal etmek mümkündür: Eğer Carnot daha uzun yaşamış olsaydı 1850'de elli dört yaşında olacaktı. İletimin yanı sıra dönüşümün de ısı aktarımını sağlayabileceğini kavraması halinde, büyük ölçüde Clausius'un 1850 ve 1854'te yaptığı gibi akıl yürütecekti. Clausius ilk iki makalesinde esasen Carnot'nun istediği şeyi yapmıştı. Daha sonra 1854 makalesinde ve ardından 1865'te Carnot'nun ötesine geçerek, tersinmez süreçlerin gerçekçi dünyasına girdi. Buradaki süreçler ideal ve tersinir türden değildi. Clausius'un vardığı sonuç, günümüzün yazarlarınca ifade edilmiş biçimiyle, tersinmez süreçler için denklem (13)'ün geçerli olmadığı ve bunun yerine bir eşitsizliğin geçirilmesi gerektiğidir.

$$dF > \frac{dQ}{T} \text{ (tersinmez süreç)} \quad (14)$$

(Burada > sembolünü “daha büyük”, < sembolünü de “daha küçük” diye okuyun.)

Böylece Clausius iki durum fonksiyonunu, yani U fonksiyonunu ve geçici olarak F diye ifade ettiğimiz $\frac{dQ}{T}$ terimiyle ilişkili fonksiyonu ortaya koymuş ve teorisini tersinir, çevrimsel süreçlere bağlı daha önceki kısıtlılıklardan kurtulacak biçimde genelleştirmişti. Bu genelleştirmeyi tamamladığı makalesi 1865'te yayımlandı. Termodinamik üzerine raporlarının sonuncusu olan bu makaleyi yazdığı sırada, artık U için “enerji” terimini kabul etmeye hazırdı ve ısı ve mekanik birimleri arasında hiçbir ayrım olmadığını, bu nedenle $J = 1$ eşitliğini varsayarak, denklem (7)'yi şu şekilde yazdı:

$$dQ = dU + PdV \quad (15)$$

Denklem (4) uyarınca $dW = -PdV$ eşitliği göz önüne alındığında, şöyle bir ifade de kullanılabilir:

$$dQ = dU - dW \quad (16)$$

Sonunda (bugünkü noktadan bakılınca insana “hele şükür” dedirtecek bir gelişmeyle) Clausius ikinci durum fonksiyonuna bir ad ve bir sembol vermeye yetecek güvene ulaşmıştı. Belli bir neden olmaksızın S harfini seçti ve denklem (13)’

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ (tersinir süreç)} \quad (17)$$

biçiminde, eşitsizlik (14)’ ise

$$dS > \frac{dQ}{T} \text{ (tersinmez süreç)} \quad (18)$$

biçiminde yazdı. (Clausius’un alfabenin ikinci yarısındaki harfleri tercih ettiği anlaşılıyor. Denklemlerinde O, X ve Y hariç M’den Z’ye kadar bütün harfleri kullanmıştı.) S fonksiyonunun ısı aktarımının eşdeğerlik değerlerin hesaplamaya yaraması nedeniyle, Clausius bu fonksiyona vereceği adı “aktarım” anlamındaki Yunanca *trope* kelimesinden türetti. nerdiği terim, “enerji”ye [energy] uygun bir eş olacak şekilde “en-” öntakısı ile bir “-y” sontakısını eklediği “entropi” [entropy] oldu.

Bütün bunlar şimdiki termodinamik ğrencilerinin aşına olduğu şeylerdir,çünkü günümüzde aynı sav sürdürülerek, denklem (17)’den $dQ = TdS$ türetilir, dQ teriminin yerine denklem (15)’teki karşılığı konur ve bu yeniden düzenlemeyle şu sonuç elde edilir:

$$dU = TdS - PdV \quad (19)$$

Günümüzde bunu kimyasal açıdan değişmeyen her türlü sistemin termodinamik tarifinde ana diferansiyel denklem olarak kabul etmekteyiz. Ayrıca bundan daha özgül düzinelerce denklem tretiler.

Clausius hiç kuşkusuz denklem (19)’un ve matematiksel gücünün farkında olmasına rağmen, bunu kullanmadı. Kendi geliştirdiği U ve S durum fonksiyonları konusunda hâlâ garip bir ikircikliği vardı. Etraflı bir matematiksel savda, U ve S’yi denklem (15) ve denklem (17)’den çıkararak, yerlerine Q ısısının ve W işinin fonksiyonlarını koydu.

Öyle anlaşılıyor ki, Clausius’un duraksamasının nedeni U enerjisine ve S

entropisine moleküler yorumlar vermeyi ummasıydı ama bu programı tamamlamadı. Öngördüğü moleküler tablonun temel bileşenleri, moleküllerin taşıdığı kinetik ve potansiyel enerji ile entropinin belirlenmesinde yer alan ve “saçılım” dediği makroskobik bir özellikti. Ona göre, bu özellik “[sistemin] moleküllerinin dağılma derecesi”ni ölçmeye yaramaktaydı. Örneğin, (molekülleri geniş biçimde ayrılmış) bir gazın saçılımı (molekülleri birbirlerine daha yakın olan) bir sıvının ya da katının saçılımından daha büyüktü.

1860'larda molekül bilimi emekleme çağındaydı ve bu molekül yorumlarının kestirimden öteye geçmesi mümkün değildi. Clausius bunu gayet iyi biliyordu ve molekül hipotezlerine dayanarak teorisinin geri kalan kısmını tehlikeye atmak istemiyordu. Rankine böyle bir yola gitmiş ve yandaşlarının çoğunu yitirmişti. Bununla birlikte, Clausius'un gönlü enerji ve entropi kavramlarını büsbütün bir tarafa atmaya elvermiyordu. Bilim tarihçisi Martin Klein'in ifadesiyle, enerjinin ve entropinin “özetleyici kavramlar” olduğu güvenli bir orta yol buldu, böylece teorisinin iş gören denklemlerini kurgusallıktan tamamen uzak olan ısı ve iş kavramlarına sıkı sıkıya dayandırdı. Clausius moleküler yorumlarını sonuna kadar götürmedi ama kestirimleri gidebildikleri noktaya kadar sağladı. Hatta saçılım teorisi bile Maxwell, Boltzmann ve Gibbs'in daha sonraki çalışmalarıyla doğrulandı.

Clausius'un termodinamik üzerine son sözleri, 1865 makalesinin son iki satırı iki özetleyici kavramın, yani enerji ve entropinin büyük önemi konusunda okurları uyarıcı nitelikteydi. Bu kavramları ve dayandıkları ilkeleri fiziğin ve mühendisliğin yeryüzüne çakılı problemleriyle sınırlandırmak için hiçbir neden görmüyordu: Makroskobik fenomenleri içeren bütün evren için bir anlam taşıyor olmalıydılar. Bilimsel hayal gücünü uç noktalara kadar zorlayan Clausius, evreni ısı, mekanik ya da başka bağlantılardan yoksun, dolayısıyla $dQ = 0$ ve $dW = 0$ durumunda tasarladı. Ardından termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına ilişkin saptama (16)'yı ve saptama (18)'i bu izole sisteme uyguladı. Denklem (16) uyarınca, $dQ = 0$ ve $dW = 0$ durumunda $dU = 0$ olduğuna göre, izole bir evrenin enerjisi değişmez, yani sabittir. Eğer $dQ = 0$ olursa, eşitsizlik (18) bize $dS > 0$ sonucunu verir, yani bütün entropi değişikliklerinin pozitif olduğunu ve dolayısıyla arttığını anlatır. Denebilir ki, hiçbir sistem, hatta evren bile sonsuza kadar değişmez. Bütün değişim durduğunda, artan entropi maksimum bir değere ulaşır. İşte Clausius okurlarından, termodinamiğin iki yasasına ilişkin şu son sözle saptamalarını “evrenin temel yasaları” olarak kabul etmelerini rica ediyordu:

Evrenin enerjisi sabittir.

Evrenin entropisi bir maksimuma doğru yönelir.

Clausius'a Karşı Tait ve Diğerleri

Teorisyenler çalışmalarını iki aşamada yürütmek durumundadır. Önce, teorilerinin söylediği şeyi bizzat anladıklarına emin olmaları gerekir. Daha sonra,

başkalarının anlaşılmasını sağlamaları gerekir. Clausius kendi termodinamik teorisinin gelişiminde ilk aşamayı başardı. Teorisini destekleyici yorumlarda ve uygulamalarda olsa olsa nadiren hatalara düştü. Ama kısmen kendi kusuru olan nedenlerden dolayı, teorisinin dayandığı kavramlar konusunda geri kalan bilim dünyasını eğitme zamanı geldiğinde, olağanüstü güçlük çekti.

Clausius'un muarızları onun $\frac{dQ}{T}$ niceliğini, özellikle de işaretini çok sıkça yanlış anladı. Burada kafa karışıklığı anlaşılır bir şeydir, çünkü bizzat Clausius dQ terimine verdiği işaret konusunda makaleden makaleye tutarsızlık içindeydi. Çoğunlukla ısı girdisini pozitif sayardı ama ara sıra tam tersi kabulü kullandığı da olurdu. Aslında dQ terimine doğru işaret koyamama sakarlığı, Clausius'un en inatçı ve dobra muarızı P. G. Tait'i yanlış yönelten unsurlardan yalnızca biriydi. Daha önce Joule-Mayer anlaşmazlığında Tyndall'la ağız dalaşına girmiş olan Tait'in termodinamiğe katkıları sınırlıydı. Thomson's fikirlerini ortaya koymak için aktif çaba gösteren biriydi. Yazdığı *Sketch of Thermodynamics* (Termodinamik Taslağı) adlı kitap Thomson, Clausius ve Rankine'den alınmış kavramsal kırıntıların bir derlemesiydi ve bu kavramlardan bazılarını yanlış anlamıştı.

Tait'in en bariz yanlış anlayışlarından biri, entropinin "elde edilebilir enerji"nin bir ölçüsü olduğuydu. Böyle bir yoruma nasıl vardığını anlamak güçtür; çünkü entropinin enerji birimleri bile yoktur. Belki de hatanın kaynağı Clausius'un aktarım kavram ve entropi arasında ilişki kurmasıydı. İngilizler'e göre, aktarım, ısıdan işe dönüşüm demektir. Clausius'u hiç özenle okumayan Tait, aktarım kavramına ilişkin bu anlayışı dosdoğru Clausius'un entropi tanımının yerine geçirmiş olabilir.

Tait'in kitabının çıkmasından kısa bir süre sonra, James Clerk Maxwell *Theory of Heat* (Isı Teorisi) adlı bir ders kitabı yayımladı. Bu kitapta da entropiyi elde edilebilir enerji olarak gören Tait'in hatalı yorumu tekrarlanıyordu. Clausius'un *Philosophical Magazine*'e yazdığı bir mektuptaki bazı sıkıştırmalar üzerine, Maxwell hatasını kavradı ve kitabının ikinci baskısında aslında entropi ile mutlak sıcaklık ve elde edilemeyen enerjisi arasında bir bağlantı olduğunu gösterdi.

Maxwell örnek olarak mutlak sıcaklığı T olan ve daha düşük sabit T_0 sıcaklığındaki çevresiyle hem mekanik hem de ısı açıdan etkileşime giren bir sistemi ele aldı. Sistemin çevresiyle Q tutarında ısı alışverişine girdiği, kendi enerjisini, entropisini ve sıcaklığını U , S ve T değerlerinden çevrenin U_0 , S_0 ve T_0 değerlerini düşürdüğü ve aynı zamanda çevresi üzerinde W tutarında iş yaptığı iki aşamalı bir çevrimsel süreci tasarladı.

Maxwell'in vardığı sonuç bu süreçteki toplam $U - U_0$ enerji değişiminin tamamen iş çıktısına asla dönüştürülemeyeceğiydi. Tersinir işleyişte elde edilebilecek maksimum iş $(U - U_0) - T(S - S_0)$ düzeyindeydi. Maxwell entropiyle ilişkili $T(S - S_0)$ niceliğini "elde edilemeyen enerji" olarak nitelendirdi: Her durumda bunun işe dönüştürülmesi olanaksızdı. Maxwell'in süreci tersinmez olduğunda, iş çıktısı daha da küçülerek $(U - U_0) - T(S - S_0)$ altında bir düzeye inmek-

teydi. Thomson “israf olan enerji” dediği şeye eşit olan bu ilave kayıptan, iş yaratıcı makinelerin daha iyi tasarlanmasıyla kaçınmak mümkündü.

Clausius böylece Maxwell’in yanlış anlamalarını düzelttebildi ama Tait’le ve daha sonra Thomson’la tartışmalarında aynı ölçüde talihli olmadı. Tait kitabında Maxwell’in az önce özetlenen çalışmasına benzer bir analiz yürütmeye çalışmıştı. Çıkardığı sonuçta yalnızca elde edilemeyen ve israf enerji arasındaki ayrımı gözardı etmeyi becermekle kalmadı, meşhur bir pasajda termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına ters düşme marifetini sergiledi. Bu potlar Clausius’un, *Philosophical Magazine*’e yazdığı mektuplarda sert eleştiriler yöneltmesine yol açtı. Sonunda Tait ricat ederek, Thomson’ı münakaşanın içine sürdü ama Clausius’un ikinci yasa versiyonu konusundaki bilgisizlik açısından Thomson’ın görüşlerinin de pek aşağı kalır tarafı yoktu.

Kayıp Bir Portre

Bilim adamları her zaman nesnel olmaz ama görüş ayrılıkları -ya da çekişen taraflar- zamanla sahneden çekilir ve derken uygun bir mutabakata varılır. Bu gerçekleştiğinde (ki her zaman öyle olması bilim tarihinin bir kuralıdır), geriye kalan şey konuya ilişkin bir ders kitabı metni ya da “standart” versiyondur. Teoriler, denklemler ya da birimlerle ilintili birkaç ad yaşayabilir ama beşeri hikâye, yani insanların yaşantıları, savları ve kavgaları solup gider. Bu pratiğin bazı avantajları vardır. Her dönemeçteki tarihsel yanlış anlamalarla boğuşmak durumunda kalan öğrenciler için bilimin formel yapısını kavramak kolay olmazdı. Yanlış yola saptırıldıkları zaman tarihsel gelişmelerden bazıları hiç kuşkusuz lüzumsuz olur, ki Tait’in gayretlerine böyle bir yakıştırma uygun düşer. Ama beşeri hikâyenin öbür tarafını, yaratıcılığın yanlışla değil, doğruya yönelişini anlatan tarafını hatırlamak gerekir.

Beni bu açıklamayı yapmaya yönelten şey, bilim tarihinin genel izleniminde Clausius ve kapladığı -ya da yoksun bırakıldığı- yer hakkındaki düşüncelerdir. Clausius termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına dönük çalışmalarıyla, 19. yüzyıl sonlarında ve 20. yüzyıl başlarında termodinamiğe bakışta sağlanan mutabakata muazzam bir etkide bulundu. Onun bazıları bir yüzyıl ya da daha eski ifade biçimiyle neredeyse aynı yazılan denklemleri, günümüzün bütün modern termodinamik ders kitaplarında ve termodinamik metotlarının uygulandığı şaşırtıcı çeşitlilikteki başka metinlerde yer almaktadır. Buna karşılık Clausius’un kendisi, hatta adı silinip gitmiş gibidir. Günümüzün tipik bir termodinamik ders kitabında onun adına görece önemsiz tek bir denklemle ilişkili olarak rastlarız. En azından birinci yasa diye anılan

$$dU = dQ - PdV$$

biçimindeki denklem (8)’le ve

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ (tersinir süreç)}$$

biçimindeki entropi denklemi (17)'yle bağlantılı olarak anılması gerekir.

Her şeye rağmen giderilebilecek böyle bir ihmalden daha da kötü olan şey, insan olarak Clausius'un kayıplara karışmasıdır. Biyografik çalışmaların 19. yüzyılın önemli bilim adamları arasında belki de en çok gözden kaçırdığı kişi Clausius'tur. Onun Köslin'de, on sekiz çocuklu bir ailenin en küçük oğlu olarak doğduğunu biliyoruz. İlk eğitimini babasının müdür olduğu küçük bir devlet okulunda yaptı. Daha sonra Stettin Lisesi'nde ve Berlin Üniversitesi'nde okudu. Doktora diplomasını 1847'de Halle Üniversitesi'nden aldı ve termodinamik üzerine ilk makalesini yayımladıktan kısa bir süre sonra Berlin'deki Topçuluk ve İstihkâm Okulu'nda öğretim üyeliğine başladı. 1855'te Zürih Politeknik Okulu'na geçerek, orada on dört yıl kaldı ve en önemli çalışmalarından bazılarını yürüttü. 1869'da Almanya'ya dönerek, önce Würzburg Üniversitesi'nde ve iki yıl sonra da geri kalan ömrünü geçireceği Bonn Üniversitesi'nde profesör oldu. Fransa-Prusya Savaşı'nda cephe gerisi askerlik hizmeti yaptı ve dizinden ağır biçimde yaralandı. Evlendi ve altı çocuğu oldu. Karısı doğum sırasında trajik biçimde öldü. Hayatının sonlarında, altmışlı yaşlardayken bir kez daha evlendi. Verdiğimiz kısa taslak mevcut biyografik malzemelerden toparlanabilenlerin çoğunu içermektedir.

Clausius'un kişiliği konusunda çağdaşlarının yorumlarından çıkarılabilecek tek özellik kavgacılığıdır. Mektuplarda "yaşlı kurt Clausius" ve "şu huysuz Clausius" ibarelerine rastlamaktayız. Helmholtz'la rekabeti ömür boyu sürmüştü. Max Planck ikinci yasaya ilişkin konularda Clausius'la yazışmaya çalıştığını ama mektuplarına cevap alamadığını aktarır. Clausius'un portrelerinde güçlü ve hâşin bir yüz görürüz. Böyle bir adamın Tait'le polemik atışmalarını gözümüzde canlandırmak hiç de zor değildir.

Clausius'tan bize kalan şey derlenmiş makaleleridir. Onu okurken, termodinamiğin 19. yüzyılın ortalarında elli yıllık bir dilimi kapsayan harikulade berrak gelişim çizgisini tam kavrayabiliriz. Carnot'dan Clausius'a ve sonunda Clausius'un en büyük ardılı Willard Gibbs'e kadar uzanan bir çizgidir bu. Clausius'un oynadığı rol esaslıydı. Carnot'nun mesajını yorumlayıp yeniden düzenlemeyi ve vardığı sonuçları bir başka dâhi Gibbs tarafından kullanılabilir biçimde ifade etmeyi başardı. Clausius'un entropi üzerine makaleleri de Planck üzerinde önemli bir etki yarattı ve onun entropi kavramını kuantum teorisine geçiş için bir köprü olarak kullanmasını sağladı. En görkemli teoriler başlı başına katkılarda bulunur ve daha sonra başka büyük teorilerin yaratılmasına ilham kaynağı olur. Clausius'un başardığı iş böylesine ender bir şeydi.

Çarpıcı olmasına çarpıcı ama asıl kahramanının hâlâ bilmiyor oluşumuz nedeniyle düş kırıcı bir hikâye bu. Sözgelimi Cézanne, Flaubert ve Wagner hakkında tuvale, kâğıda ve notalara döktükleri şeylerin ötesinde pek bir şey bilmeseydik, çoğumuz bunu büyük bir talihsizlik sayardı. Yaratıcı bir deha olarak onların çağdaşı ve dengi olan Clausius bu anlamda bir insan olarak bizden esirgenmiştir. Böyle bir kayıp için yas tutmalıyız.

En Büyük Yalınlık Willard Gibbs



Doğuştan Teorisyen

Akademik ya da bilimsel öneme sahip çok az mevkide bulundu. Otuz yıllık hocalığı boyunca derslerine giren öğrenci sayısı toplam yüzü geçmedi. Yale Üniversitesi'ndeki görev süresinin ilk on yılında maaş almadı. Mesleki toplantılara nadiren katıldı, çok seyrek yolculuk etti. Bilimsel dış dünyaya dönük zorunlu bir Avrupa seyahati ile New England bölgesine ve Adirondack Dağları'na yıllık gezintiler bir yana bırakılırsa, hayatı Connecticut'ın New Haven şehriyle sınırlı kaldı ve High Street'teki evini Sloane Laboratuvarı'ndaki makam odasından ayıran iki blokun ötesine pek uzanmadı.

Willard Gibbs hayatını başka şeylerle doldurdu. Onun dünyası teorik fizikti. Bu dünyada da Clausius ve Boltzmann dahil çağdaşlarının çoğundan daha fazla şey gördü ve daha fazla dolaştı. Nasıl bazıları doğuştan yazar ya da doğuştan müzisyense, Gibbs de doğuştan teorisyendi. İncelediği teorik meselelere kusursuzca ayarlı bir havsalaya sahipti. Konuyu bilen meslektaşlarıyla sıkı temasa girmesine gerek yoktu, aslına bakılırsa, 19. yüzyıl Amerika'sında buna pek fırsat da yoktu. Sırf kendi sezgisel tepkisini ve genel bilgisini yoklaması, ne zaman doğru yolda olduğunu anlamasına yeterdi. Başkasının bunu söylemesine gerek yoktu. Böylesine kopuk bir ortamda çalışmalarını yürütecek yeteneğe ve güvene sahip çok az teorik bilim adamı vardır. Bu anlamda onu geride bıraktığı söylenebilecek tek kişi, en önemli makalelerinden bazılarını bir başka teorik fizikçiyle göz aşınalığı bile kurmadan önce yazmış olan Einstein'dır.

Gibbs ve Clausius

Gibbs'in ilk yayımlanan çalışmaları termodinamik üzerineydi. Bütün termodinamik çalışmalarında Clausius'un güçlü etkisi vardı ve bu şükran borcunu hiç saklamadı. Gibbs'in ilk iki makalesinin konuları Clausius'un ısıya ilişkin

$$dQ = dU + PdV \quad (1)$$

denklemini ile entropiye ilişkin

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ (tersinir süreç)} \quad (2)$$

denklemiydi. Gibbs'in yaptığı şey ikinci denklemi dQ için çözerek, $dQ = TdS$ sonucunu ilk denklemde yerine koyarak ve bu denklemi dU için çözerek, dQ terimini her iki denklemden bertaraf etmekten ibaretti:

$$dU = TdS - PdV \quad (3)$$

(Bu denklemin tersinirlik kısıtlamasını gerektirmediği kanıtlanabilir ama bu nokta önemli değildir, çünkü denklem hemen her zaman tersinir süreçlere uygulanır.) Gibbs'in denklem (3)'ün temel önemini *kavrayan* ilk kişi olmasına karşın, Clausius kesinlikle bu denkleme kafa yormuştu. Bu nedenle "Clausius denklemi" olarak anılmasının hakça olduğu söylenebilir. (Zaten Gibbs'e ait daha kapsamlı denklem vardır.) Clausius anlaşıldığı kadarıyla Gibbs'in çalışmaları üzerine hiç yorum yapmadı. Ama böyle bir şey yapsaydı, Gibbs'e bir minnet ifadesi herhalde yakışık kaçırdı. Çünkü, kuşku ve kafa karışıklığını gidererek, dikkatleri Clausius'un örtük denklem (3)'ü üzerinde toplayan esas olarak Gibbs'ti.

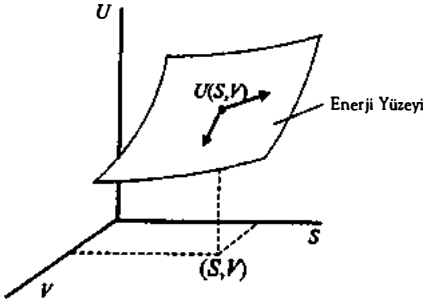
Gibbs bu denklemi destekleyici görüşlerini 1873'te yayımlanan iki makalede ortaya koydu. Bu makalelerdeki üslubu günümüzün bir öğrencisince okunmasını güçleştirir, çünkü artık rağbet görmeyen geometrik bir akıl yürütme tarzına dayanır. Ama Gibbs ve başta Maxwell olmak üzere bazı çağdaşları için, geometrik kurgular Clausius, Thomson ve diğerlerinin kullandığı analitik savlara göre fiziksel doğruluğa daha yakındı. Analitik yaklaşım birçok ilerleme sağlamıştı, ama dayandığı uzun ve soyut savlar önemli ölçüde kafa karışıklığına da yol açmıştı.

Entropi kavramı analitik düşüncenin fizikte yapabileceği ve yapmayacağı şeylere iyi bir örnekti. Clausius entropi kavramını matematiksel anlamda tanımlamıştı. Formel özelliklerinden hiçbirini atlamamış ya da yanlış anlamamıştı. Bununla birlikte çağdaşlarına ve hatta kendisine entropinin termodinamikteki birincil önemini göstermeyi başaramamıştı. Başkaları için formalitelerin içinden çıkmak zordu. Ünlü Tait-Clausius entropi tartışması, açık savaş aşamasına vardığında bile, fizik bakış açısına göre basit bilgilerin üstüne çıkmayan meselelerle ilgilirdi.

Gibbs denklem (3)'ten U içsel enerjisindeki dU değişikliklerinin S entropisindeki ve V hacmindeki dS ve dV değişiklikleri tarafından belirlendiği, bir başka deyişle içsel enerjinin entropiye ve hacme ilişkin bir $U(S, V)$ fonksiyonu olduğu yolundaki matematiksel mesajı okuyabildi. U 'nun S ve V 'ye bu bağıllığını üç boyutlu enerji yüzeylerinde ifade etti. Böyle bir yüzeyin bir kısmı Çizim 9.1'de taslak olarak verilmektedir. Buna göre, yüzeydeki bir nokta vurgulanır ve yüzeyin bu noktada nasıl şekil aldığını göstermek üzere yüzeye teğet oklar çizilir. Sol-daki ok sabit S bir entropi değeri için ve V doğrultusuna paralel olarak çizilir. Entropinin sabit olduğu bu durumda, yani $dS = 0$ durumunda, denklem (3) şu hale gelir:

$$dU = -PdV \quad (S \text{ sabiti})$$

ya da



Çizim 9.1. S entropisinin, V hacminin ve Gibbs yaklaşımında S 'ye ve V 'ye ilişkin bir $U(S, V)$ fonksiyonu sayılan içsel enerjinin belirlediği noktaların yer aldığı bir enerji yüzeyi.

$$\frac{dU}{dV} = -P \quad (S \text{ sabiti}) \quad (4)$$

Son denklemdeki $\frac{dU}{dV}$ türevi, okun çizildiği yerde enerji yüzeyinin dikliğinin ya da "eğim"inin bir ölçüdür (Çizim. 9.2). Denklem (4) uyarınca, aynı türev $-P$ 'ye, yani basıncın negatif değerine eşittir. Böylece, enerji yüzeyindeki her noktada sabit bir S entropi değeri için V doğrultusuna paralel eğim, basıncı hesaplamayı sağlar. Bu eğimler genellikle aşağıya doğrudur, yani, negatiftir. Çünkü basıncılar genellikle pozitifdir ve $\frac{dU}{dV} = -P$ olarak hesaplanan eğimler negatif çıkar.

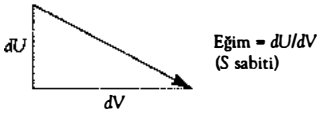
Benzer bir savla, Çizim 9.1'de sağdaki ok sabit bir V değeri için enerji yüzeyinin S doğrultusuna paralel eğimini ölçer. Bu durumda, Clausius'un denklem (3)'ü şunlara indirgenir:

$$dU = TdS \text{ (V sabiti)}$$

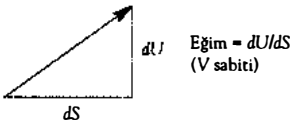
ya da

$$\frac{dU}{dS} = T \text{ (V sabiti)} \quad (5)$$

Burada eğim $\frac{dU}{dS}$ türeviyle (Çizim 9.3) hesaplanır ve denklem (5) uyarınca, bu türev T mutlak sıcaklığına eşit olur. Verilen fiziksel mesaj enerji yüzeyinin S doğrultusuna paralel olarak ölçülen eğimlerinin mutlak sıcaklıkları hesaplamaya yaradığı ve her zaman yukarıya doğru, yani pozitif olduğudur, çünkü mutlak sıcaklıklar her zaman pozitiftir.



Çizim 9.2. Sol okun Çizim 9.1'den alınarak büyütülen yan görüntüsü. Bir merdivende yükselmenin mesafeye oranı gibi, dU 'nın (yükselti) dV 'ye (mesafe) oranı, yani $\frac{dU}{dV}$ türevi de çizildiği noktada okun ve enerji yüzeyinin eğimini hesaplamaya yarar.



Çizim 9.3. Sağ okun Çizim 9.1'den alınarak büyütülen yan görüntüsü. Buradaki $\frac{dU}{dS}$ türevi de çizildiği noktada okun ve enerji yüzeyinin eğimini hesaplamaya yarar.

Gibbs 1873'teki ilk iki makalesinde, bu geometrik modeli ustaca ayrıntılarla işledi. İki teğet vektörün yer aldığı bir düzlem hayal etti ve bu düzlemin enerji yüzeyi üzerinde çevrildiğini tasarladı. Düzlem ve yüzey arasındaki her temas noktasında, bütün termodinamik hikâyesi belirlenir: Bir hacim, bir entropi, bir içsel enerji, denklem (4) ve denklem (5)'ten basınç ve sıcaklık. Böylece Gibbs yüzeyin iki boyuta (entropi ve hacim) nasıl yansıtılacağını ve (bir topografya haritasındaki sabit eş yükselti eğrileri gibi) sabit basınç ve sıcaklık eş eğrilerinin nasıl çizileceğini gösterdi. Belirli basınç ve sıcaklık koşulları için, çevrilen teğet düzlemin eşzamanlı temas noktalarının yalnızca bir tane değil, iki ve hatta üç tane olduğunu ortaya koydu. Birden çok temas noktası, farklı evrelerin (örneğin katı, sıvı ve buhar evrelerinin) birlikte var olduğunu ifade eder.

Termodinamiğin *Principia'sı*

Bunlar Gibbs'in termodinamik üzerine ilk iki makalesinde vardığı basit, ama geniş kapsamlı sonuçlardı. Geline nokta itibarıyla, daha önce Clausius'un ikircimli olsa bile, formel olarak yaptığı şeyi pekiştirmişti. Gibbs 1875-1878 arasında birkaç bölüm halinde yayımlanan sonraki çalışmalarında, bir kez daha Clausius'un ilham kaynağı olduğunu açıkça ilan etti. İşe Clausius'un iki satırlık yasalariyla başladı: "Evren enerjisi sabittir. Evrenin entropisi maksimuma yönelir." Entropi kuralını ve Clausius denkleminin basit bir uyarlamasını temel aldı. Ancak Clausius'un sağladığı ipuçlarının çok ötesine geçti.

Gibbs'in 1875-78 "makale"si -ki aslında sıkıştırılmış düzyazıyla yaklaşık üç sayfayı ve tam tamına yedi yüz tane rakamlı matematiksel denklemi kapsayan bir kitaptır- hiç abartmasız "termodinamiğin *Principia'sı*" olarak nitelendirilmişti. Newton'un başeseri gibi, Gibbs'in *Equilibrium of Heterogeneous Substances* (Heterojen Maddelerin Dengesi) adlı çalışmasının da neredeyse sınırsız bir kapsamı vardır. En basit esasları geliştirerek temel diferansiyel denklemlerine varır ve bu temel denklemlerden hareketle her alandaki uygulamalara geçer. Gazların, karışımların, yüzeylerin, katıların, evre değişikliklerinin (örneğin, kaynama ve donma), kimyasal tepkimelerin, elektrokimyasal pillerin, çökeltmenin ve geçişmenin temel termodinamik teorisini açıkladı. Bu konuların hepsi günümüzde, daha çok fiziksel kimyacılarca, başlı başına birer önemli araştırma alanı sayılmaktadır. Fiziksel kimya disiplininin henüz doğmadığı 1870'lerde, Gibbs'in ele aldığı konular tanıdık değildi ve birbirinden kopuktu. *Equilibrium* bunları bütünleşik bir teorinin büyük şemsiyesi altında bir araya getirdi.

Ama Gibbs'in kitabının birkaç meraklı okurun ötesinde ilgi görmesi on yılları aldı. Newton'un *Principia'sı*na bir başka benzerlik, Gibbs'in *Equilibrium*'unun geçmişte (ve bugün) sınırlı bir okur kitlesine sahip olmasıdır. İhmalin nedenlerinden biri Gibbs'in içe kapanık yaşıantısı, bir başkası yazılarını *Transactions of the Connecticut Academy of Arts ve Sciences* adlı pek tanınmayan bir dergide yayımlama kararıydı. Ne var ki, daha da önemli nokta (şimdi de geçerli olmak üzere) Gibbs'in yazı üslubuydu. Gibbs'i okumak, E. T. Bell'in anlatımıyla, Pierre Simon Laplace'ı (ünlü bir matematikçi ve gök cisimleri mekaniği alanında Newton'un halefi) okumak gibi bir şeydir. Laplace matematiksel yazılarında keşmekeşten nefret ederdi. Bu nedenle savlarını kısaltmak için, sık sık *Il est aisé a voir* (Anlaması kolay) gibi iyimser bir not düşerek, sonuç dışındaki şeyleri es geçerd. Oysa "anladığı" bu kolay şeylerin ardındaki mantığa tekrar dönmek için saatlerce, bazen günlerce kafa patlatmak durumunda kalırdı çoğu kez. En hünerli okurlar bile çok geçmeden bu meşhur ibare karşılına çıktığında acı bir inilti koparma alışkanlığını edinmişti, çünkü kendilerini muhtemelen bir haftalık körkütük çalışma beklediğini bilirdi.

Gibbs "meşhur ibare"yi pek sık kullanmazdı ve kanıtlarını hatırlamada sıkıntı çektiği pek söylenemezdi ama bir sürü şeyi atladığı kesindi. Gibbs'in *Equilibrium*'unu okumaya soyunan cesur okurun aylarca sürecek "körkütük çalışma"yı göze alması iyi olur. Bilim tarihçisi Martin Klein, becerikli bir teorik fizik-

çi olan Lord Rayleigh'in Gibbs'e yazdığı bir mektupta, *Equilibrium*'un "okurların çoğu, bana kalırsa hepsi için bayağı yoğun ve bayağı zor" olduğu görüşünü bildirdiğini aktarır. Gibbs ise hiç kuşkusuz bütün içtenliğiyle, kitabın tersine "hayli uzun" kaçtığı, çünkü "bunu yazdığı sırada kendisi ve başkaları için zamanın değerini anlamaktan" yoksun olduğu cevabını vermişti.

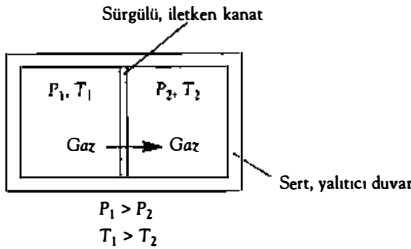
Gibbs'in yazı üslubu belki zorluğundan dolayı kusurlu bulunabilir ama genellikle ve süslenmemiş dolaysızlığı açısından takdiri hak ettiği de söylenebilir. Amerikan Sanat ve Bilimler Akademisi'nden Rumford Madalyası'nı alırken, idealini şu sözlerle belirtmişti Gibbs: "Teorik araştırmanın başta gelen hedeflerinden biri, konunun en büyük yalınlığıyla görüldüğü bakış noktasını bulmaktır." O her zaman "daha yalın bir bakışı" amaçlardı ve bu da çoğu kez matematiksel dili kusursuzlaştırmak anlamına gelirdi. Öğrencilerinden Charles Hastings'e, "Eğer matematiksel fizikte bir başarımlı varsa, bence bunun ardında yatan şey matematiksel zorluklardan kaçınılbilmiş olmamdır" demişti.

Maksimum Entropi

Clausius denklemiyle birlikte Gibbs'in başlıca ilham kaynağı olan Clausius entropi kuralı, izole (çevresinden tamamen koparılmış) bir sistemdeki bütün değişikliklerin entropi artışına yol açtığını öngörür. Bu değişiklikleri mekanik, ısı, kimyasal ya da elektriksel her türlü tekdüzesizlik harekete geçirebilir. Örneğin, bir sistemin sıcak ve soğuk bölümleri varsa, koşullar uygu olduğunda sıcaktan soğuğa ısı aktarımı gerçekleşir, genel entropi artar ve artış eğilimi sistemin ilk yüksek ve düşük sıcaklıklar arasındaki tek bir sıcaklıkta ısı olarak tekdüze hale gelmesine kadar devam eder. Bu noktada sistem ısı dengeye varır, bütün değişim durur ve entropi maksimum değere ulaşır. Dengedeki maksimum değere doğru bir entropi artışının eşlik ettiği tekdüzelik yönünde benzer bir yöneliş, basınç, kimyasal bileşim ve elektriksel potansiyel açısından tekdüzesizliklerin olduğu izole sistemlerde de görülür. Doğru tekdüzesizliklerden hoşlanmaz ve elinden gelince onları düzeltir.

Gibbs'in metodunun bir çeşnişi olarak, bu entropi değişikliklerinden bazılarını nasıl analiz ettiğine ilişkin basit bir örneği vereceğim. Isıl bakımdan iletken ve sürgülü bir kanadın ayırdığı iki bölmeden oluşan bir gaz sistemini gözünüzde canlandırın (Çizim 9.4). Sistemi sert ve yalıtıcı duvarlar çevrelemekte ve böylece çevreden izole tutmaktadır. Basınç ve sıcaklık bölmelerin birinde P_1 ve T_1 , diğerinde ise P_2 ve T_2 'dir. P_1 P_2 'den, T_1 de T_2 'den daha büyüktür. Basınç farkından dolayı sürgülü kanat soldan sağa doğru itilir ve ısı da aynı doğrultuda aktarılır.

Böyle bir durumda denge koşullarını bulmaya çalışan Gibbs, sistemin sert ve yalıtıcı duvarlarla izole edilmiş olması nedeniyle enerji ve hacmin sabit olduğunu belirledi. Clausius denklemini her iki bölmeye uyguladı ve sonuçta şaşırtıcı olmayan bir gelişmeyle denge durumunda basınç ve sıcaklığın eşitlendiğini buldu.



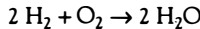
Çizim 9.4. Mekanik ve ısı tekdüzesizliklerin harekete geçirmesiyle dengeye doğru yol alan bir izole sistem.

$$P_1 = P_2 \text{ ve } T_1 = T_2 \text{ (denge)}$$

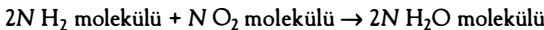
İkinci bir örnek için, sistemi öyle geliştirelim ki kanat yalnızca hareketli ve iletken değil, aynı zamanda geçirgen olsun: Böylece sistemdeki gaz kanattan geçerek yayılabilir. Şimdi sistem daha çapraşıktır. Birazdan Gibbs'in bu probleme genel çözümüne bakacağız ama önce bir ara verip kimyasal meselelere dönmemiz yerinde olur.

Kimya Dersleri

Kimyasal tepkimeler bildik bir dille yazılır. Örneğin,



hidrojenin (H_2) oksijenle (O_2) tepkimeye girerek su (H_2O) oluşturduğunu belirtir. Roket motorlarında ve yakıt pillerinde yaygın kullanılan bir tepkimedir bu. Tepkimeyle oluşan madde, yani H_2O tepkimenin “ürün”üdür, tüketilen maddeler, yani H_2 ve O_2 ise “tepkenler” olarak anılır. Modern kullanımda bu kimyasal ifade mikroskobik düzeyden makroskobik düzeye kadar her ölçekte yorumlanabilir. En ufak mikroskobik düzeyde iki hidrojen molekülünün bir oksijen molekülüyle tepkimeye girerek iki su molekülü oluşturduğunu anlatır. Aynı orantılar herhangi bir tepkime sayısı için, hatta H_2 , O_2 ve H_2O miktarlarını makroskobik boyuta çıkaracak ölçüde büyük bir sayı için geçerlidir. *Herhangi* bir N sayısında tepkime şöyle ifade edilir:



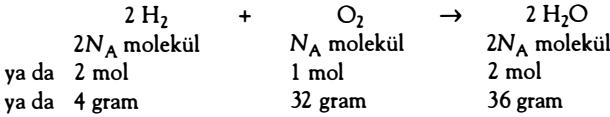
Kimyacılar nicel çalışmalarını yürütmek için standart bir N değerine gerek duyarlar. Keyfi ama kolaylık sağlayıcı tercih 2 gram (aslında 2,016 gram) H_2 'deki molekül sayısıdır. Buna (moleküler fizikte erken bir tarih sayılabilecek 1811'de, aynı basınç ve sıcaklık altında eşit gaz hacimlerinin aynı sayıda molekülü barın-

dırdığını ortaya atan Amedeo Avogadro'dan dolayı) "Avogadro sayısı" denir. N_A ile gösterilen Avogadro sayısı şu değeri taşır:

$$N_A = 6,022 \times 10^{23}$$

Bu son derece yüksek (neredeyse Büyük Okyanus'taki suyun bardakla ölçülen sayısına eşit) bir sayıdır. Böylesine çok sayıda H_2 molekülü bir "gram-molekül," yani bir "mol" hidrojen eder. Aynı şekilde N_A sayısında molekül barındıran bir mol O_2 molekülün ağırlığı 32 gram, bir mol H_2O molekülünün ağırlığı ise 18 gramdır.

Bütün bunları su tepkimesi için özetlersek, şöyle bir sonuç çıkar:



Görüldüğü üzere, bu kimyasal tepkimede -ve diğer tepkimelerin çoğunda- atom kazancı ya da kaybı yoktur: Moleküler düzeyde, tepkime altı atom ($2H_2$ 'de dört H artı O_2 'de iki O) girer ve tepkimeden altı atom ($2H_2O$ 'da dört H ve iki O) çıkar. Buna bağlı olarak tepkimede kütle kazancı ya da kaybı yoktur: 36 gram H_2 ve O_2 36 gram H_2O oluşturur.

Potansiyeller

Clausius denklemi V hacmi ve S entropisi değiştiğinde U içsel enerjisinin değiştiğini anlatır bize. Ama enerji hikâyesi bundan ibaret değildir. Bütün kimyasal maddeler ya da Gibbs'in ifadesiyle "kimyasal bileşenler" kendine özgü bir içsel enerji taşır, bir sisteme sözelimi çevredeki alandan bir boru yoluyla herhangi bir bileşen katıldığında, toplam U içsel enerjisi sisteme katılan bileşenin miktarıyla orantılı olarak değişir.

Tek bir kimyasal bileşenin (örneğin suyun) yer aldığı tekdüze bir sistemin söz konusu boru hariç çevreden izole edildiğini ve dn mol olarak ölçülen az miktarda bileşenin sisteme katıldığını varsayalım. Sistemin içsel enerjisi dn değeriyle orantılı olarak değişir:

$$dU \propto dn \text{ (boru hariç izole sistem)}$$

Gibbs bunu μ orantılılık faktörünün yer aldığı bir denklem olarak şöyle yazmıştı:

$$dU = \mu dn \text{ (boru hariç izole sistem)} \quad (6)$$

Buradaki μ faktörü Gibbs'in "potansiyel" olarak adlandırdığı bir durum fonksiyonudur. Maxwell buna "kimyasal potansiyel" diye daha uygun bir ad verdi. Basınç

ve sıcaklık mekanik ve ısıl değişiklikler için ne anlama gelirse, kimyasal potansiyel de kimyasal değişiklikler için o anlama gelir. Bir sistemde bir bileşen açısından kimyasal tekdüzesizlikler varsa, bu bileşen kimyasal potansiyelin yüksek olduğu bölgelerden düşük olduğu bölgelere yönelir ve böylece dengeye varılmasıyla bütün kimyasal tekdüzesizlikler giderilir.

Gibbs izolasyonun daha da bozulması ve borulu sistemin ısınma ve iş yapma süreçlerinde çevresiyle ilişkiye girmesine izin verilmesi halinde yalnızca iki ek terime gerek olduğunu varsayarak, denklem (6)'yı daha da açtı ve genelleştirdi. Clausius denkleminde bildiğimiz bu iki terim eklendiğinde, şöyle bir sonuç çıkar:

$$dU = Tds - PdV + \mu dn \quad (7)$$

“Gibbs denklemi” olarak anacağımız şeyin basit bir versiyonudur bu.

Şimdi, sürgülü, iletken ve geçirgen bir kanadı olan iki bölmeli izole sistem örneğine dönelim (Çizim 9.5). Gibbs yine sistemin toplam enerji ve hacmin sabit olduğunu göz önünde tutarak bu durumu analiz etti. Ayrıca izole edici duvarların çevreyle ilişkide kazancı ya da kaybı önlemesi nedeniyle, toplam gaz miktarının da sabit olduğunu varsaydı. Bu durumda gaz yalnızca iki bölme arasında geçişle kısıtlanmış olur. Denklem (7)'nin her bir bölmeye ilişkin ifadeleri, daha önce olduğu gibi, sürgülü kanadın basınç farkı altında soldan sağa doğru hareket etmesini ve sıcaklık farkı altında ısının aynı doğrultuda taşınmasını zorunlu kılar. Öte yandan, kimyasal potansiyel farkı altında gaz geçirgen kanat içinden geçerek taşınır. Sonunda şöyle bir dengeye varılır:

$$P_1 = P_2, T_1 = T_2 \text{ ve } \mu_1 = \mu_2 \text{ (denge)}$$

Burada mekanik, ısı ve kimyasal dengeyi tanımlamada basıncın, sıcaklığın ve kimyasal potansiyelin paralel rollerini görebiliriz.

Bir diferansiyel denklem açısından, Gibbs denklemi (7) alışılmamış ölçüde kolaylık sağlar. Fizikteki diğer önemli diferansiyel denklemlerden çoğunun tersine, son derece basit biçimde çözülür (entegrali alınır). Denklem özel matematiksel yapısı dU 'yu U , dS 'yi S , dV 'yi V ve dn 'yi n ile değiştirmeye ve böylece denklemi entegrali alınmış bir biçime sokmaya olanak verir:

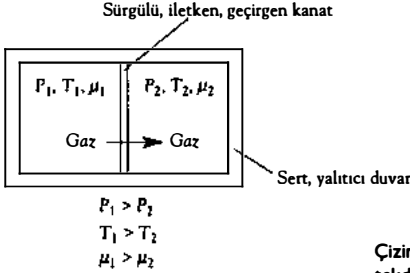
$$U = TS - PV = \mu n \quad (8)$$

Denklem (7) ve denklem (8) hâlâ tek bir kimyasal bileşeni barındıran bir sistemle sınırlıdır. Gibbs denkleminin bir başka hoş yönü, birkaç basit değişiklikle herhangi sayıda kimyasal bileşene uyarlanabilmesidir. Sistemde A ve B diyebileceğimiz iki bileşen bulunursa, denklem (7) ve denklem (8)'de her bileşen için birer olmak üzere iki kimyasal potansiyel terimi yer alır.

$$dU = TdS - PdV + \mu_A dn_A + \mu_B dn_B \quad (9)$$

ve

$$U = TS - PV + n_A \mu_A + n_B \mu_B \quad (10)$$



Çizim 9.5. Mekanik, ısı ve kimyasal potansiyel tekdüzesizliklerin harekete geçirmesiyle dengeye doğru yol alan bir izole sistem.

Moleküllerden Kaçınmak

Her ne kadar böyle bir tercihte bulunması mümkün olsa da, Gibbs buradaki benzer mol nicelikleri (denklem [7]-[10] dizisindeki n s ve dn s değerlerini) kullanmadığı gibi, kimyasal tepkimeleri örtük bir moleküler yorumla yazmadı. Bunun yerine, kimyasal bileşenlerin niceliklerini ölçmek için kütle birimleri (örneğin gram) kullandı. Bize hafif tuhaf gelse bile, su tepkimesini yazış biçimi şöyledi:

$$1 \text{ gram hidrojen} + 8 \text{ gram oksijen} = 9 \text{ gram su}$$

Kimyasal potansiyelleri n moldan çok m kütlesine göre tanımladığı için, denklem (8) versiyonu da şöyledi:

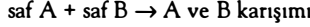
$$U = TS - PV + m\mu$$

1870'lerde moleküllerin varlığına işaret eden doğrudan deneysel bulgular yoktu ve fizikçilerin (hepsi olmasa bile) birçoğu fiziği molekül hipotezine dayanmadan yazmayı tercih etmekteydi. Gibbs, *Equilibrium*'unda büyük ölçüde bu tercihe uydu. (Daha önce belirtildiği gibi, Clausius da 1860'larda öyle yapmıştı.)

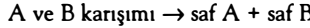
Ancak temel bir noktayı açıklamak gerektiğinde, Gibbs moleküllere başvurmakta hiç duraksamadı. İki NO_2 molekülünün birleşerek tek bir N_2O_4 molekülünü oluşturduğu kimyasal tepkime için ayrıntılı bir denge hesaplaması yaptı

ve karışma süreçleri açısından entropi değişikliklerini ele alırken, daha sonraları “istatistiksel mekanik” olarak anılacak önemli disiplini başlatan kâhince bir saptamada bulundu.

Gibbs A ve B diyebileceğimiz iki saf gazın kendiliğinden karışarak tekdüze bir karışım oluşturmamasının, yani



işleminin her zaman bir entropi artışıyla sonuçlandığı görüşündeydi. (Tekdüzesizliklerin zamanla yerini tekdüzeliğe bırakması yönündeki doğal eğilime eşlik eden entropi artışının bir başka örneğidir bu.) Dolayısıyla moleküler ölçekteki böyle bir karışmanın, A ve B moleküllerinin rasgele hareket ederek birbirlerinin içine yayılmalarına ve er ya da geç tekdüze bir karışım oluşturmalarına yol açtığını gösterdi. Ayrıca entropiyi azaltıcı ve karışımından çıkarıcı süreci şöyle tasarladı:



Burada A molekülleri bir doğrultuda, B molekülleri başka bir doğrultuda hareket eder ve karışım kendiliğinden saf A ve saf B hallerine ayrışır. Ancak böyle bir durum hiç gözlenmez, çünkü A ve B molekülleri bir kez karıştıktan sonra, astromik sayıları ve rasgele hareketleri birbirlerinden tam ayrılmalarını çok düşük bir ihtimal haline getirir.

Bununla birlikte, Gibbs ayrışmanın ve buna bağlı entropi azalmasının tam anlamıyla mutlak olanaksız değil, yalnızca hayali denecek ölçüde olabilirlikten uzak olduğunu kavradı. “Bir başka deyişle” diye yazdı, “telafi edilmemiş bir entropi azalışının olanaksızlığı görüldüğü kadarıyla olabilirlikten uzaklığa indirgenebilir.” Daha soyut bir ifadeyle, vardığı sonuç bir termodinamik durumunun entropisinin böyle bir duruma ilişkin olabilirlikle bağlantılı olduğuydu. Karışma durumunun olabilirliği ayrışma durumunun olabilirliğinden çok ama çok daha yüksektir.

Gibbs, *Equilibrium*'da bu akıl yürütmeyi daha ileriye götürmedi. Oysa aynı sıralarda Boltzmann ondan bağımsız olarak, nicel çerçevede olabilirliğe dayalı entropi yorumunu geliştiriyordu. Gibbs epey sonra, 1902'de entropi-olabilirlik bağlantısını moleküler termodinamik yorumunun odak noktası haline getirdi.

Gibbs Enerjisi

Bir sisteme kimyasal bileşenlere ilişkin kimyasal potansiyeller katıldığı zaman, günümüzde “Gibbs enerjisi” olarak anılan özel bir enerji türü ortaya çıkar. Örneğin, bir sistemde A ve B diye iki bileşenin bulunduğunu ve mol miktarlarının n_A ve n_B olduğunu varsayalım. Kimyasal potansiyel toplamı $n_A\mu_A + n_B\mu_B$ olur ve bunun değerini denklem (10)'u yeniden düzenleyerek şöyle buluruz:

$$U + PV - TS = n_A\mu_A + n_B\mu_B \quad (11)$$

Denklemin sol tarafındaki nicelik günümüzde Gibbs enerjisi dediğimiz (Gibbs'in ise ζ fonksiyonu adını verdiği) durum fonksiyonunu tanımlar ve G sembolüyle gösterilir. Böylece ortaya çıkan

$$G = U + PV - TS \quad (12)$$

denklem (11)'i şöyle basitleştirir:

$$G = n_A \mu_A + n_B \mu_B \quad (13)$$

Bu denklemden $n_A \mu_A$ 'nın sistemdeki A bileşeninden n_A molünün kattığı Gibbs enerjisi ve dolayısıyla μ_A 'nın bir A molu için Gibbs enerjisi olduğunu anlayabiliriz. Benzer şekilde, $n_B \mu_B$ ve μ_B ise n_B ve bir B molü için Gibbs enerjileridir.

Gibbs enerjisini tanımlamanın nedenlerinden biri ekonomiktir: Bu tanım başlıca durum belirleyici değişkenlerin (P ve T) yanı sıra termodinamikte önemli diğer bütün durum fonksiyonlarını (U , S ve V) sıkıştırıp tek bir durum fonksiyonunda toplar. Fizikçilerin matematiği olabildiğince özlü hale getirme yönündeki ilkel içgüdüsünü tatmin eder. Ama Gibbs enerjisi ve onun habercisi kimyasal potansiyeller, bunun çok ötesine bir işe yarar.

İkinci Yasanın Dönüştürülmesi

Clausius'un farkına vardığı gibi, termodinamiğin ikinci yasası entropilerin nasıl hesaplanacağını gösteren bir ilkedir. Bu hesaplama bir tersinir süreç için

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

şeklinde, bir tersinmez süreç için ise

$$dS > \frac{dQ}{T}$$

şeklinde olur. Bu iki ifadeyi bir eşitlik-eşitsizlik olarak

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

denkleminde birleştiririz ($\geq$ sembolünü "daha büyük ya da eşit" diye okuyun). dQ 'nun yerine denklem (1)'de karşılığını koyarak elde ettiğimiz

$$dS \geq \frac{dU + PdV}{T}$$

sonucunu şu şekilde yeniden düzenleriz:

$$dU + PdV - TdS \leq 0 \quad (14)$$

P basıncı ve T sıcaklığı sabit olursa:

$$PdV = d(PV) \text{ ve } TdS = d(TS)$$

Elimizdeki ax ürünü için, a sabit olduğunda $adx = d(ax)$ sonucu çıkar. Böylece P ve T sabitleri için eşitlik-eşitsizlik (14)

$$dU + d(PV) - d(TS) \leq 0$$

ya da

$$d(U + PV - TS) \leq 0$$

haline gelir ya da tanım (12) esas alındığına şöyle ifade edilir:

$$dG \leq 0$$

Bu ifadenin eşitlik kısmı bir tersinir süreç ya da denge için

$$dG = 0 \text{ (} P \text{ ve } T \text{ sabitleri, tersinir süreç ya da denge)} \quad (15)$$

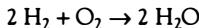
olarak, eşitsizlik kısmı ise bir tersinmez süreç için

$$dG < 0 \text{ (} P \text{ ve } T \text{ sabitleri, tersinmez süreç)} \quad (16)$$

şeklinde geçerlidir. Entropi (izole bir sistemde) denge durumundaki bir maksimuma doğru artarken, Gibbs enerjisi (sabit basınç ve sıcaklığa sahip bir sistemde) ters doğrultuda değişir, yani bir minimuma doğru azalır.

Kimyasal Termodinamik

Şimdiye kadar kimyasal bileşenler bir sisteme borular aracılığıyla giriş ve çıkışını göz önünde tuttuk. (Boru yerine membran günümüzde daha sık olabilir.) Bileşenler ayrıca kimyasal tepkimeler aracılığıyla ortaya çıkabilir ya da yok olabilir. Örneğin, daha önce değindiğimiz



su oluşturma tepkimesiyle, H_2 ve O_2 sistemden çıkarılmış ve H_2O sisteme katılmış olur.

Gibbs denklemi (9) ve ikiden fazla bileşene ilişkin uzantıları, bu ve diğer tepkimeli sistemler için geçerlidir. $2dx$ mol gibi az miktarda H_2O üretildiğini (işaretlerin düzgün olmasını sağlamak için dx 'i pozitif sayacağız), böylece tepkimeden çıkarılan H_2 ve O_2 tepkenlerindeki mol değişikliklerinin $-2dx$ ve $-dx$ negatif miktarlarında olduğunu varsayalım.

$$\begin{aligned}dn_{H_2O} &= 2dx \\dn_{H_2} &= -2dx \\dn_{O_2} &= -dx\end{aligned}$$

Üç bileşen H_2O , H_2 ve O_2 için Gibbs'in denklemi

$$\begin{aligned}dU &= TdS - PdV + 2\mu_{H_2O}dx - 2\mu_{H_2}dx - \mu_{O_2}dx \\&= TdS - PdV + (2\mu_{H_2O} - 2\mu_{H_2} - \mu_{O_2})dx\end{aligned}$$

ya da

$$dU + PdV - TdS = (2\mu_{H_2O} - 2\mu_{H_2} - \mu_{O_2})dx$$

şeklinde olur. Daha önce olduğu gibi, P basıncı ve T sıcaklığı sabit olursa, bu denklemin sol tarafı $d(U + PV - TS) = dG$ haline gelir ve böylece şu sonuç çıkar:

$$dG = (2\mu_{H_2O} - 2\mu_{H_2} - \mu_{O_2})dx \quad (P \text{ ve } T \text{ sabitleri})$$

İkinci yasa bize sabit basınç ve sıcaklık için $dG \leq 0$ olduğunu anlatır. Dolayısıyla son denklem uyarınca şu sonuca varılır:

$$2\mu_{H_2O} - 2\mu_{H_2} - \mu_{O_2} \leq 0 \quad (P \text{ ve } T \text{ sabitleri}) \quad (17)$$

(Daha önce dx 'i pozitif olarak belirlediğimizi unutmayın.)

Burada tepkimenin "Gibbs enerjisi değişimi"ni, yani tepkimenin ürün ($2\mu_{H_2O}$) için Gibbs enerjisi ile iki tepken ($2\mu_{H_2} + \mu_{O_2}$) için Gibbs enerjisi arasındaki farkı hesaplama yoluyla, kimyasal potansiyellerin bütün kimyasal tepkimeyi karakterize edecek biçimde bir araya getirildiğini görmekteyiz. Modern kullanımda bu denklem şöyle gösterilir:

$$\Delta_r G = 2\mu_{H_2O} - \mu_{O_2} - 2\mu_{H_2}$$

(Δ sembolü sonlu değişimleri belirtir ve küçük ya da son derece küçük değişimleri ifade eden d 'nin sonlu bir karşılığıdır.) Ürünlerin kimyasal potansiyellerden tepkenlerin kimyasal potansiyellerini çıkarmaya dayanan aynı işlem, herhangi bir tepkime için Gibbs enerjisi $\Delta_r G$ değişimini hesaplamayı sağlar. Eşitlik-eşitsizlik (17)'nin ortaya koyduğu genel sonuç şu olur:

$$\Delta_r G \leq 0 \text{ (} P \text{ ve } T \text{ sabitleri)}$$

Eşitlik tersinir işleyişi ya da dengeyi

$$\Delta_r G = 0 \text{ (tersinir işleyiş ya da denge, } P \text{ ve } T \text{ sabitleri)} \quad (18)$$

eşitsizlik ise tersinmez işleyişi

$$\Delta_r G < 0 \text{ (tersinmez işleyiş, } P \text{ ve } T \text{ sabitleri)} \quad (19)$$

olarak açıklar.

Buradaki fiziksel tabloyu hatırlamak kolaydır. Her kimyasal tepkime, ürünler ve tepkenler arasındaki kimyasal potansiyel farkının etkisiyle, bir Gibbs enerjisi yüzeyi üstünde olanak bulduğu ölçüde aşağıya doğru hareket eder ($\Delta_r G < 0$ aşağıya doğru demektir). Kimyasal değişim tepken ve ürün kimyasal potansiyelleri dengeleninceye, Gibbs enerjisi değişimi sıfıra eşitleninceye ve kimyasal dengeye varılncaya kadar sürer.

Gibbs enerjisinde kendiliğinden aşağı inen bir kimyasal tepkime, düşüş halindeki bir ağırlığa ve aynı biçimde bir ısı makinesinde yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ısı düşüşüne benzer. Düşen ağırlık ve ısı gibi, aşağı inen kimyasal tepkime de yararlı bir iş kaynağı olabilir. Bu iş çoğu kez tepkimeyi bir elektrokimyasal pile doldurarak kullanılır. Böylece pil elektriksel iş çıktısı sağlar. Flaş bataryaları ve yakıt pilleri bunun örnekleridir.

Düşen bir ağırlıktan ya da bir ısı makinesinde düşen ısıdan elde edilen iş miktarının, söz konusu düzeneklerin ne kadar iyi tasarlandığına bağlı olduğunu hatırlayacaksınız. Düzenegın tersine işlemesi halinde en randımanlı performansı elde edersiniz. Gibbs enerjisi kavramı tepkimenin tersine işlemesi temelinde elektrokimyasal pilden elde edilebilecek en iyi elektriksel işin Gibbs enerjisi $\Delta_r G$ değişimine göre hesaplanacağı biçimde tasarlanmıştır. Su tepkimesi için, tablo haline getirilmiş Gibbs enerjisi verilerinden tersinir bir hidrojen-oksijen elektrokimyasal pilinin 1,23 volt elektriksel çıktı ürettiğini hesaplayabiliriz. (H_2O gazdan çok sıvı olarak üretilir.) Pratik elektrokimyasal piller her zaman bir dereceye kadar tersinmezdir. Su tepkimesinin kullanıldığı bir yakıt pili büyük ihtimalle yaklaşık 0,8 volt çıktı sağlar.

Bir kimyasal tepkimeye ilişkin Gibbs enerjisi değişimi, bir işin yerine getirilmesinde kullanıma uygun ya da “serbest” maksimum enerjiyi hesaplamaya yarar. Bu nedenle Gibbs enerjisi sıklıkla “serbest enerji” olarak anılır.

Gibbs ve Maxwell

Gibbs'in basılmış makalelerini göndereceği kişilere ilişkin upuzun bir posta listesi vardı. Görünüşe bakılırsa, dünyada çalışmalarına ilgi duyabilecek hemen her tanınmış bilim adamını kapsayan bir listeydi bu. Bu posta gönderilerinin çoğu, hatta Clausius'a ulaşanlar ilk başlarda dikkat çekmedi. Ancak meslektaşlarından daha kadirşinas ve alesta olan Maxwell'in ilgisini hemencecik uyandırdı

ve özellikle Gibbs'in geometrik akıl yürütmeden geniş çapta yararlanmasını takdir etmesini sağladı. Clausius denkleminin geometrik yorumu üzerine Gibbs'in 1873'te yazdığı iki makale, Maxwell'i su için tam bir enerji yüzeyini sergileyecek bir alçı maket yapmaya yöneltti. Bu su "heykeli" üstünde sıvı, buhar ve katı evrelerin bir arada bulunduğu alanları, iki evrenin bir arada bulunabileceği alanları ve her üç evrenin bir arada bulunuşunu temsil eden bir üçgen belirledi. Make-tin yüzeyi üstünde, Clausius denkleminin öngördüğü gibi, sabit basınç ve sıcaklık eş eğrilerini oydu. Su heykelinin bir kopyasını da Gibbs'e gönderdi. Gururu okşanan ve memnun kalan Gibbs, maket hakkında sorular yönelten öğrencilere maketin, tipik alçakgönüllülüğüyle "İngiltere'deki bir dosttan" geldiğini söyledi.

Gibbs'in biyografi yazarlarından J. G. Crowther, Maxwell'in fiilen Gibbs'in "entelektüel tanıtım temsilcisi" haline geldiğini belirtir. Ama pek uzun sürmedi bu. Maxwell erken gelen bir ölümle 1879'da, Gibbs'in *Equilibrium*'un son bölümünü yayımlamasından bir yıl sonra dünyadan göçtü. Eğer Maxwell yaşamış olsaydı, diye devam eder Crowther, "Gibbs'in buluşlarının büyük önemi on yıl önce anlaşılabilirdi ve bugünün [1930'ların] fiziksel kimyası ve kimya endüstrisi şimdi gelişim noktasının yirmi yıl ilerisinde olabilirdi."

Aynı sıralarda, 1879'da Gibbs yeni ve sivrilmeye hevesli bir kurum olan Johns Hopkins Üniversitesi'nin çağrısı üzerine Baltimore'da bir dizi konferans verdi. New Haven'a dönüşünden önce, Yale'in eski kütüphane müdürü olan üniversite rektörü D. C. Gilman ona Johns Hopkins fizik fakültesinde bir görev teklif etti. Gilman ve fakülte dekanları fizik ve matematik alanlarında birinci sınıf araştırma görevlilerini toplama çabası içindeydi. Yale'de matematiksel fizik profesörlüğüne atanmasının üzerinden dokuz yıl geçmiş olmasına Gibbs hâlâ maaş almıyordu, Gilman ise hatırı sayılır bir maaş öneriyordu.

Gibbs teklifi kabul etmeyi aklına koydu. Gilman'la yazışmalarının gizli kalacağını umuyordu ama haberin sızdırıldığı bazı çalışma arkadaşları bunu derhal Yale rektörü James Dana'ya yetiştirdiler. Gibbs'e bir mektup yazan Dana "bizimle kalınız" ricasında bulundu ve "hizmetinize gerçekten değer verildiğini göstermek üzere bağış sağlama yoluyla acilen bir şeyler yapılacağı" umudunu dile getirdi. Rica samimiydi: "Johns Hopkins siz olmadan da büyük ölçüde kendi yolunda ilerleyebilir. Biz sızış yapamayız."

Gibbs şaşırdı, duyulandı ve sonunda ikna oldu. Gilman'a şöyle bir özür mektubu gönderdi: "Son birkaç gün içinde çalışma arkadaşlarım arasında ayrılışıma karşı çok beklenmedik bir muhalefet ortaya çıktı. Bana yaptığınız teklifi aklımdan geçirmemi olanaksız hale getirecek kadar güçlü bir muhalefet. ... Beni burada tutan bağları koparmanın zor olacağı yolundaki düşüncenizi ... bana söylediğinizi hatırlıyorum. Doğrusu, beklediğimden daha zor olduğunu gördüm." Ne de olsa Yale, ait olduğu yeri.

Termodinamiğin Ötesi

Gibbs (artık iki bin dolar yıllık maaş aldığı) 1880'li ve 1890'lı yıllarda, bir başka büyük teorik probleme kafa yordu: Termodinamiğin moleküler yorumu.

Gibbs daha önce *Equilibrium*'da molekül hipotezinden olabildiğince kaçınarak, makroskobik enerji ve entropi kavramlarına, kimyasal potansiyel gibi türetilmiş niceliklere ve Gibbs enerjisi dediğimiz fonksiyona odaklanmıştı. Bu makroskobik görüşünü 1870'lerde yarattıktan sonra, mikroskobik ya da moleküler düzeyde termodinamiğin "rasyonel temelleri"ne dönük arayışını sürdürme zamanının geldiğine karar verdi. Termodinamik sistemlerde devreye giren molekül sayısının çok yüksek olmasından dolayı ister istemez istatistiksel temele oturttuğu ve "istatistiksel mekanik" adını verdiği moleküler mekaniğin bir açıklamasıydı bu. Enerji ve entropi kavramları yine kilit öneme sahipti ama artık ortalama değerler olarak hesaplanmaktaydı ve entropi çok önceleri *Equilibrium*'da işaret ettiği olabilirlik bağlantısıyla yorumlanmaktaydı. Gibbs öncelleri Maxwell ve Boltzmann'ın çalışmalarını birleştirdi ve 1902'de *Elementary Principles in Statistical Mechanics*'i (İstatistiksel Mekaniğin Temel İlkeleri) yayımladığı sırada sahneye henüz yeni (ve büyük ölçüde farkına varılmaksızın) çıkan kuantum teorisinin dayandığı kavramsal sıçrama için gerekli zemini hazırladı.

Gibbs bir matematikçi değildi ama bu kitapta değinilen diğer büyük teorisyenler (sözelimi Maxwell, Einstein ve Feynman) gibi, matematiksel metotları en yalın, en kestirme yoldan amaçlarına hizmet edecek duruma nasıl getireceğini biliyordu. Bir fiziksel probleme yaklaştığında, fizik kadar matematiksel dile de kafa yorardı.

Gibbs'in hocalık görevleri arasında Maxwell'in *Treatise on Electricity and Magnetism* adlı kitabına dayanan elektrik ve manyetizma teorisi dersi de vardı. Bu konuda ve başta mekanik olmak üzere başka konularda, matematiksel açıklama uzay içinde büyüklüğün yanı sıra doğrultusu olan fiziksel nicelikleri ele alır. Her iki özellik "vektör" denen matematiksel terimin ayrılmaz unsurlarıdır, vektörde uzay boyutlarına denk düşen üç bileşen de bulunabilir. Gibbs, vektörlerle oynamak için elverişli bir matematiksel ortam sağlayan yeni bir metot geliştirdi.

Gibbs'in vektörleri ele alış metodu Maxwell'in ve İngiliz meslektaşının metodundan bir kopuşu ifade ediyordu. Onların esas aldığı şey, İrlandalı matematikçi ve fizikçi Rowan Hamilton'ın formüle ettiği "kuvaterniyonlar" metotuydu. (İrlanda'nın en büyük matematik ve fizik değeri olan William Rowan Hamilton, daha yirmili yaşlardayken ışın optiğine ve parçacık dinamiğine ilişkin bütünlük bir teori oluşturdu. Bu teori yaklaşık bir yüzyıl sonra Erwin Schrodinger'in dalga mekaniğini geliştirmesinde rol oynadı. Yirmi yedi yaşında tamamladığı optik ve dinamik çalışmalarından sonra, yaratıcı dehası Hamilton'ı düş kırıklığına uğrattı, daha doğrusu tuhaf bir biçimde yanlış yola itti. Fiziği yeni kuvaterniyon matematik metoduyla yeniden yazmak için yıllarca boğuştu. Yeni bir *Principia* yazacağına inanıyordu. Kuvaterniyonlar, Newton'un fluksiyonları kadar önemli olacaktı. Ama uğraşları hiçbir zaman başarıya ulaşamadı. Köşesine çekilmiş olarak kaotik bir düş âleminde yaşarken öldü.) Gibbs fiziksel uygulamalarda kuvaterniyonların gereksiz bir matematiksel eklenti olduğu görüşüne vardı ve elektromanyetik teorisine ilişkin beş makalede kendi metodunun üstünlüklerini ortaya koydu. Öğrencileri için, *Vector Analysis* adıyla bir broşür bastırdı.

Hamilton'ın tilmizleri ve yandaşları vardı. Bunlar arasında başı çeken ise en gözde rolü polemikçilik olan P. G. Tait'ti. Gibbs'in vektör analiziyle ilgili haberleri iştince, derhal harekete geçerek Gibbs'i (çarnaçar) İngiliz dergisi *Nature*'ın sayfalarında uzun süren bir tartışmanın içine çekti. Gibbs'e "kuvaterniyon ilerleyişinin köstekçilerinden biri", vektör analizine de "Hamilton ve Grassmann'ın gösterim düzenlerinden müteşekkil bir tür hünsa hilkat garibesi" yaftasını yapıştırdı. (On dokuzuncu yüzyılda yaşamış bir matematikçi ve dilbilimci olan Hermann Grassmann, üçten fazla boyutu kapsayacak bir geometriyi öneren ilk kişilerden biriydi.) Gibbs polemikte Tait'le boy ölçüşebilecek biri değildi ama sıfatlar yakıştırmaksızın nasıl karşılık verileceğini biliyordu:

Vektörleri ele alırken kuvaterniyon kullanımından uzaklaşmak sanki bir alçaklık-mış gibi bir varsayım ile hareket ediliyor. Eğer bu varsayım doğruysa, demek ki önemli bir hakikattir, eğer doğru değilse, üstelik böylesine yüksek bir makam sahibince destekleniyorken, buna karşı çıkılmaması bir talihsizlik olur. Eleştiriler özellikle gösterimlerle ilişkili ama kanımca bu gösterimlerin temelinde yatan daha derin kavrayış sorunu var. Besbelli ki, kusurum yalnızca gösterim meselesinde olsaydı, ortaya koyduğum şeyi bir ucube olarak tanımlamak yerine, üstündeki kisveyi partial diye nitelendirmek daha doğru olurdu.

Gibbs, partial olsun ya da olmasın, kendi metodunun "vektör analizine girişen kişinin birinci görevi olan ... konuyu en kolayca kavranacak ve kavrandığında yararlı olacak biçimde sunmaya" hizmet ettiğine emindi. Pratikte Gibbs bu tartışmanın açık seçik galibi oldu. Onun biyografisini yazanlardan Lynde Phelps Wheeler şunu belirtir: "Aradan geçen yıllarda kullanımındaki sürekli artışla Gibbs'in vektör metodlarının bugün [1950'ler] neredeyse evrensel hale geldiği söylenebilir."

Bir Gibbs Eskizi

Josiah Willard Gibbs 1839'da doğdu. Aynı adı taşıyan babası Yale Üniversitesi'nde seçkin bir filolog ve dinsel edebiyat profesörüydü. (Aile içinde ve çevrede babaya "Josiah", oğula ise "Willard" denirdi.) Baba ve oğul farklı düşünsel yolları izledi ama birçok ortak yanları vardı. Willard Gibbs biyografisi yazarlarından Muriel Rukeyser, Josiah Gibbs'i "kendi üniversite kuşağının en engin donanımlı hocası" olarak nitelendirir ve şu saptamada bulunur: "Esas aldığı iki silah doğru bilgi ve kesin ifadeydi. [Filologluk uğraşını], bu tarama, etiketleme ve karşılaştırma işini, insanoğlunun geride bıraktığı sözcüklerin ipuçları arasında dektifçe iz sürmeyi çok severdi."

Rukeyser'in çizdiği Willard portresi ise şöyledir: "Sade tavırların ve ufakık Latince kitapların sindiği Gibbs evinde, ilk okuma kitaplarıyla, babasının *Kitabı Mukaddes* meselleriyle ve annesinin iyi huyluluk konusundaki yumuşak ısrarıyla yetişen mülayim ve kırılgan bir çocuk." Dört kız kardeşin arasına sıkışmış "bir bızdık, kadınlarla dolu bir evin ufak oğlanıydı. Aileye annenin uzun, sevecen yüzü ve babanın öğretim programı yön verirdi."

Gibbs ölümün ve sorumluluğun derslerini küçüklüğünde öğrendi. Daha on yaşındayken en küçük kız kardeşinin ölümünü gördü ve on beş yaşında Yale College'a girmesinden kısa bir süre sonra annesinin sağlığı yavaş yavaş bozulmaya başladı. En büyük abla Anna "elden ayaktan kesilen annenin yerini gittikçe daha fazla doldurdu" diye aktarır Rukeyser, "böylece aile içindeki ilişkiler değişirken erkek evlat hızla büyüdü. İlk çekilmiş eski klişe baskılı fotoğraflarda bir an düşmanca parlayan, hemen ardından yumuşak ve anlayışlı bir bakışa bürünen keskin gözlerin belirlediği upuzun yüzü hemen öne çıkar. Dingin havası hiç ek-sik değildir."

Latince ve matematik derslerinde birinciliklerle Yale'i 1858'de bitiren Gibbs, yeni açılan Yale lisansüstü okuluna girdi ve ABD'de mühendislik dalında ilk doktora diplomasını aldı. Ardından Yale'de üç yıl rehber hocalık yaptı. O sıralarda (1860'ların ortalarında) daha geniş bilim dünyasına ilgi duymaya başladı ve Avrupa'ya giderek Paris, Berlin ve Heidelberg'in bilim merkezlerinde üç yıl öğrenim gördü. (Ama bu gezilerinde yolu Bonn'a, bilim alanındaki velinimeti Clausius'un yaşadığı şehre düşmedi.) New Haven'a 1869'da döndü ve 1871'de Yale'de (maaşsız olarak) matematiksel fizik profesörlüğüne atandı.

Gibbs yapmacıksız, dost canlısı, çoğu zaman nüktedan ve çevresine kolay uyum sağlayan biriydi. Crowther'a göre, "küçük bir işi yapması istendiğinde, hiç soru sormadan derin çalışmalarını bir tarafa bırakırdı. En eften püften öğretim görevlerinden kaçmaz ve kendisinden görüş isteyen öğrencilerinden değerli zamanını hiç esirgemezdi." Yoğunlaşma gücü öylesine olağanüstüydü ki, düşünce silsilesini pek kesintiye uğratmaksızın günlük işleri yapabilir, hatta bir öğrenciy-le konuşabilirdi.

Gibbs hiç evlenmedi. Wheeler'a göre bunun nedeni, "erken yaşlarda aile sorumluluklarını üstlenmesi, ayrıca çoğu delikanlının bir aile kurmayı düşündüğü dönem boyunca sağlığının belirsiz olmasıydı." Bunun dışında, hiç evlenmeyen en büyük ablası Anna'yla olan yakın ilişkisi de önemli bir rol oynamış olabilir. Anna'nın "sağlık bozukluğuyla daha da ağırlaşan son derece mahcup bir kişiliği vardı" diye yazar Wheeler. "Willard'la bir araya geldiklerinde hiç kimsede görülemeyecek bir suskunluğa bürünebildikleri söylenirdi" diye anlatır Rukeyser bize. "Aralarında tam bir anlayış birliği olduğu anlaşılıyor. Çoğu insan onun suskunluğuna layıktı ama yaşayan kişiler Gibbs'le ve ablasıyla -tren yolculuklarında ve kır tatillerinde- harika sohbetlerle geçirdikleri uzun günleri hâlâ hatırlıyorlar."

Gibbs çocuklara karşı sevecendi. Margaret Whitney adlı bir kuzeni, onun Whitney ailesinin çocuklarını atlı kızağa götürürken sergilediği davranışları şöyle aktarıyor:

Sırayla dolaşarak bizi yerimize iyice oturtur ve her şeyin yolunda olup olmadığına bakardı. Öylesine dostça ve güven verici bir gülümsemesi vardı ki, onun yanında olan küçük kız anında rahatlama duygusuna girerdi. Onunla en hoş anım bir kış günü bana ender bir haz veren hızlı tekne yolculuğuydu. Karlar arasındaki atlı kızağın yanında dikilmenin, kaldırılıp içine konmayı beklemenin, her tarafı saran

karların, dinçlik veren soğuk havanın, şingırdayan kızak çanlarının, tez canlı bütün kalabalığın ve bu kalabalık içindeki biri olmanın izlenimi, hep içimde yaşayan ve her an uyanıp canlanabilen bir duygu bu. Bana bunu veren iyilik dolu adama şükran duymama değdiğini belirtmeliyim.

Gibbs'in sağlığı çocukluğunda geçirdiği kızıyla ağır hasar gördü ve hayatı boyunca ufak tefek hastalıklar yakasını hiç bırakmadı. Narin bir bünyesi vardı ama vücutça uyumluydu ve atletik yeteneğe sahipti. Margaret Whitney onun ve hırçın bir atın başından geçenleri şöyle hatırlıyor: "[New York'un, Keene Valley kasabasında tatil yaparken] at sırtında oteline dönüyordu ve at fena biçimde huysuzluk yapıyordu. Ama dizgini öylesine sıkı tutuyor ve eyerde öylesine sağlam oturuyordu ki, çevredekiler atın her an onu silkeleyip düşürebileceğini düşünürken, azgın hayvanı kontrol etmeyi ve sakince durdurmayı başardı."

Başkalarının ilerlemeden çok kafa karışıklığına katkıda bulunduğu bir dönemde termodinamik alanında o kadar çok iş başaran Gibbs'in ilham kaynaklarını merak etmekten kendini alıkoyamıyor insan. Acaba Clausius denkleminin temel önemini çağdaşlarından çok daha berrak olarak nasıl görebildi? Kimyasal potansiyel terimleri eklemenin Clausius denklemini modern termodinamikte ana denklem haline getireceğine nasıl bu kadar emin olabildi? Bu terimleri eklemek matematiksel olarak kolayca yapılır ama matematiksel kolaylık fiziksel anlamı güvence altına almaz.

Son derece içsel olan çalışma alışkanlıklarına bakmamız mümkündür. Ders verirken ve makalelerini yazarken, (elinde kalem olmaksızın düşüneyen Newton'un tersine) notlara başvurmazdı. Araştırmalarını gelişigüzel ortamlarda öğrencileriyle ya da meslektaşlarıyla asla görüşmezdi. Böyle yönlendirici ya da doğrulayıcı araçların olmamasına rağmen, makalelerinde ciddi hatalar neredeyse yok denecek kadar azdır.

Gibbs bilim tarihinde belki de hiç aşılamamış ölçüde doğuştan teorisyendi. Kendi yenedünya ortamında dönemim bilimsel hayhuyundan kopuk olması da önemli bir rol oynamış olabilir. Kopukluğun bilimsel çabada önemli bir taratıcı etki olduğu her zaman doğru değildir; ama yerleşik bilim uzmanlarının savaştan kamplara ayrıldığı durumlarda Gibbs gibi bağlantısız ve önyargısız olmak bir avantaj sağlayabilir.

"Dışarıdan hiç ama hiçbir şey beklemezdi" diye yazar Rukeyser. "Kendinden emindi ve kendine güvenirdi." Maxwell'in desteği herhalde bu özgüveni güçlendirmiş olmalıdır. Ama Maxwell'in aktif biçimde uğraşlarını tanıtmamasına karşın, Gibbs teorik fizik dünyası dışında pek adını duyuramadı. Elektronu bulan ve Maxwell'in Cambridge'deki halefleri arasında yer alan J. J. Thomson, yeni kurmuş bir Amerikan üniversitesi adına öğretim üyesi bulmaya çalışan bir rektörle arasında geçen konuşmayı anlatır. "Cambridge'e gelerek" diye yazar Thomson, "benden iyi bir Moleküler Fizik Profesörü olabilecek birinin adını vermemi istedi." Thomson ona dünyadaki en büyük moleküler fizikçilerden birinin Willard Gibbs olduğunu ve onun da Amerika'da yaşadığını söyler. Rektör herhalde bu ki-

şi Harvard kimya profesörlerinden *Wolcott Gibbs* olmalı, diye karşılık verir. Thomson üzerine basarak *Willard Gibbs*'i kastettiğini belirtir ve konuğunu Gibbs'in gerçekten büyük bir bilim adamı olduğuna inandırmaya çalışır. "Bir iki dakika öylece kalıp düşündü" diye devam eder Thomson, "ardından 'Bana başka bir ad vermeniz iyi olur. Willard Gibbs kişisel çekiciliği pek fazla biri olamaz, yoksa adını mutlaka işitirdim' dedi."

Gibbs'in ilhamına ilişkin bir başka temel ipucu *Wheeler*'in bir yorumunda ortaya çıkar. *Wheeler* başlangıçta onun biyografisini iki cilt olarak yazmayı tasarlamıştı. Biri Gibbs'in bilimsel çalışmalarıyla, diğer hayatındaki bilim dışı olaylarla ilgili olacaktı. Ama çok geçmeden iki cildi teke indirme gereğinin açıkça görüldüğünü şöyle anlatır *Wheeler*: "Gibbs'in bilimsel çalışmalarının alışılmamış ölçüde Gibbs'in ta kendisi olduğunu ve onu gerçekten anlamak için en azından bir ölçüde çalışmalarını anlamak gerektiğini kavradım. Hayatı ve çalışmaları o kadar iç içe geçmişti ki hikâyesi de öyle olmalıydı."

"Kişisel çekicilik" istismarı yapan akademik ekâbirler da dahil birçok insanın gözünde Gibbs ürkek ve tutuk biriydi. Oysa dostları onun sakin ağırbaşlılığından etkilenirdi. *Wheeler* onun en yakın dostu *Hubert Newton*'un kızından bir alıntı yapar. Gibbs'i tanıdığı "en mutlu adam" diye nitelendiren *Josephine Newton* şöyle der: "Sanırım bu şen havası kısmen onun şeylere gerçek değerlerini biçmesine olanak veren kusursuz orantı duyusundan, kısmen de tadını çıkarıldığı tekdüzeli iyi sindirimden geliyordu." Bu adam mutlu (ve iyi sindirime ermiş) olmayıp da ne olacaktı? Son derece önemli yaratıcı çalışmalar yapıyordu-ve üstelik bunu biliyordu.

Son Yasa Walther Nernst



Şeytan ve Walther Nernst

1900'ların başlarında Berlin'de dillerde dolaşan bir hikâyeye göre, günün birinde Tanrı bir üstün insan yaratmaya karar verir. Öncelikle beyin üzerinde çalışarak, "son derece kusursuz ve kıvrak bir zekâ"ya biçim verir. Ancak karşısına başka bir uğraş çıkar ve elindeki işi bir kenara koymak zorunda kalır. Baş melek Cebrail bu harika beyni görür ve eksiksiz bir insan yaratma yönündeki dürtüye dayanamaz. Ancak, yeteneklerinin haddini bilemez ve başarabildiği şey yalnızca "pek de etkileyici görünmeyen ufak tefek bir adam"ı yaratmak olur. Başarısızlığı hevesini kırar, yaratığını ruhsuz halde bırakır. Şeytan bu benzersiz ama cansız varlığa rastlar, duyduğu keyiften gözlerini alamaz ve ona hayat üfler. "İşte Walther Nernst'ti o."

Bu öykü Nernst'in hoş bir biyografisinde Kurt Mendelssohn tarafından anlatılır. Mendelssohn bize Nernst'in daha sahici bir tasvirini de sağlar: "[Nernst'in ailesinde] kalıtımsal bir dehanın ya da sıra dışı bir atılganlığın kaydı yoktur. Anlaşıldığı kadarıyla Walther parlak zekâsını genetik zarın şanslı bir biçimde atılışına borçluydu." Nernst bir ara aktör olmayı düşünmüştü ve "hayatı boyunca her şeye inanan saf bir küçük adam maskesini takınarak, bu hevesini bir ölçüde gerçekleştirdi. Safdil şaşkınlığını ifade etmek için en çok başvurduğu yol, kısaç gözlüğünü düşüren burun seğirmesiydi. Sesinde her zaman bir hayret havası vardı, çok ustalıkla yönelttiği kırıcı ve iğneleyici yorumlarına sesinde veya gülümseyişinde beliren bir değişim asla eşlik etmezdi. Sahiden ciddi ve hafifçe şaşırmış dururdu."

Leipzig, Göttingen ve Berlin

On dokuzuncu yüzyılın âdetlerine uygun olarak, Nernst de öğrenciliği sırasında üstün bilim adamlarının yaşadığı ve eğitim verdiği üniversiteler arasında gezindi. Tahsil yolculuğu onu Zürich'e, (Helmholtz'un termodinamik dersi verdiği) Berlin'e, tekrar Zürich'e, ardından (Ludwig Boltzmann'ın yanında öğrenim görmek üzere) Graz'a ve son olarak da (Friedrich Kohlrausch'la birlikte yürüttüğü çalışmaların ona elektrokimyaya dönük ömür boyu bir ilgiyi esinlediği) Würzburg'a sürükledi. Graz'da bir doktora tezi yazmasına, Boltzmann'ın eski bir öğrencisi ve kendisinin de tez araştırmasındaki ortağı Albert von Ettinghausen'dan "tedirginlik fiziği" dersleri almasına yetecek kadar mola verdi. Sabırsızlığını hiç-bir zaman yenemeyen biri olduğu için, Ettinghausen'ın deneylerdeki çuvallamaları kolaylıkla kabullenmesine sonsuz bir hayranlığı vardı. Bir deneydeki hazin başarısızlığın sonrasında, Ettinghausen sakince "Eh, ne yapalım, deney başarılı değildi, en azından bütünüyle değildi" diyebiliyordu.

Nernst'in profesyonel kariyeri neredeyse pervasız bir başarı hikâyesiydi. 1880'lerin sonlarında Würzburg'dayken Wilhelm Ostwald'la tanıştı ve Leipzig'de profesörlüğü kabul etmesi üzerine onun asistanı oldu. Ostwald'ın hepsi de yeni fiziksel kimya disiplininin temellerini oluşturmaya yönelik uğraşlarında kendi yeteneklerine uygun meşgale bulmakta hiç zaman kaybetmedi. Leipzig'de yayımlanan ilk eseri elektrokimya literatüründe klasiklerden biri haline geldi. Bu eserinde fiziksel kimya öğrencilerince kuşaklar boyunca "Nernst denklemi" olarak bilinen denklemi dünyaya sundu.

Nernst 1891'de Göttingen Üniversitesi'nde fiziksel kimya dalında asistan profesör olarak atandı. İki yıl sonra ilk fiziksel kimya ders kitaplarından birini yayımladı. Ostwald'ın yazdığı *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*'den (Genel Kimya Ders Kitabı) sonra bu alandaki ikinci çalışma olan kitabının adı *Theoretische Chemie*'ydi (Teorik Kimya) ve Ettinghausen'a adanmıştı. Nernst fiziksel kimyaya bakışını, Helmholtz'un ortaya koyduğu termodinamik temelleri ve Boltzmann tarafından savunulan (ve zamanında Ostwald'ın hararetle karşı çıktığı) moleküler hipotez ("Avogadro hipotezi") üzerine inşa etmişti. Otuz yıl sonra bile on beşinci baskısıyla hâlâ kullanımda olan kitabı, bu alanda en etkili metinler arasına girdi.

Nernst üç yıl daha süren çalışmalarında, yalnızca Göttingen'in bulunduğu Prusya'nın değil, Bavyera'nın da eğitim bakanlığını o kadar etkiledi ki, kendisine Münih Üniversitesi'nde Boltzmann'ın halefi olarak teorik fizik profesörlüğü önerildi. Ama Prusyalı bakan Friedrich Althoff pes edecek değildi. Nernst'in usallıkla yürüttüğü bürokratik pazarlıkları şöyle anlatır Mendelssohn:

Nernst'i Prusya'da tutmak için, Althoff'un bakanlık sorumluluğunun biraz ötesinde çaba harcaması gerekiyordu. Nernst'in maliyeti Göttingen'de yeni bir fiziksel kimya kürsüsü kurmak ve bunun yanında bir elektrokimya laboratuvarı açmaktı. Althoff yeni kürsüyü kendi tasarrufundaki fonları kullanarak oluşturabilirdi, ancak laboratuvar için Maliye Bakanlığı'ndan ödenek temin etmeliydi ve bu da zaman

alacaktı. Dizginlerin elinde olduğundan şüphesi olmayan ve sıkı bir pazarlığın nasıl yürütüleceğini bilen Nernst, Althoff'u daha önce benzeri görülmemiş bir davranışa zorladı. Göttingen'deki laboratuvarın gerçekleşmemesi halinde, Nernst'in Berlin'deki fizik kürsüsüne geçmesine izin verileceği yolunda yazılı bir sözdü bu. Althoff boyun eğdi, çünkü Maliye Bakanlığı'nın büyük ihtimalle ödemeyi yapacağına inanması için her türlü neden vardı, nitekim öyle de oldu. Yıllardan 1894'ti ve Berlin'in on bir yıl daha beklemesi gerekecekti.

Nernst'in bilimsel yeteneği uygulamalı problemlere, özellikle de ekonomik olabilirlik taşıyan problemlere uzanacak kadar genişti. Göttingen'de bulunduğu sırada, Edison'un ampulüyle rekabet edeceğini umduğu ama tam geliştirmedeği bir elektrik lambası icat etti. Nernst'in tasarımı iyonik iletkenlik üzerine çalışmalarının bir uygulamasıydı. Önce Almanya'nın sağlam elektrik firmalarından Siemens'i icadının patentini satın alması için ikna etmeye çalıştı. Siemens belki lambanın teknik açıdan olabilirliği, belki de Nernst'in parasal talepleri yüzünden öneriye ilgi göstermedi.

Ardından Nernst daha yeni ve serüvene açık bir şirket olan Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft'a (A.E.G.) patenti teklif etti. Toplu bir parada direktmesi ve telif hakkı olarak bir pay almaya yanaşmaması nedeniyle uzayıp giden pazarlıklardan sonra istediğini elde etti: Zengin bir insan hale gelmesine yeten bir milyon mark. Teknik çalışmalarını büyük ölçüde Nernst'in iki öğrencisinin yürüttüğü ve A.E.G.'nin bütün hünelerini sergileyerek geliştirdiği Nernst lambası, diğer tasarımlarla rekabetten sonunda yenik çıktı. A.E.G. açısından bu finansal başarısızlık, anlaşıldığı kadarıyla Nernst'in teknik yeteneklerine şirketin duyduğu güveni kırmadı. A.E.G. yönetim kurulu başkanı Emil Rathenau, hayatının geri kalan yıllarında da Nernst'le dost kaldı.

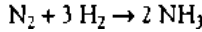
Servete kavuşmasına, siyaset ve iş dünyalarının yüksek katmanlarında nüfuzlu bir yer edinmesine ve yeni bir bilim olan fiziksel kimyada yüksek bir itibar kazanmasına rağmen, Nernst başarısının zirvesine ulaşmış değildi. Fethedilecek bir akademik dünya daha vardı. Bir sonraki seyahati, Mendelssohn'un sözleriyle, onu Göttingen'deki "güneş mekânı"ndan Berlin Üniversitesi'ndeki akademik ve bilimsel zirveye götürdü. Nernst 1905 yılının ilkbaharında üstü açık bir motorlu arabayla ve arıza ihtimaline karşı gözde bir makine ustasının refakatinde ailesini Göttingen'den Berlin'e götürdü. Günümüzde termodinamiğin üçüncü yasası olarak anılan saptamayı formüle etmesi için gereken ipucunu da aynı yıl içinde buldu.

Kimyasal Denge

Nernst'in büyük buluşunu yapmak üzere olduğu bu aşamada biraz mola vererek, araştırmalarındaki başlıca ilgi alanına, yani gazlı bileşenleri içeren yüksek sıcaklıktaki kimyasal tepkimelere daha yakından bakabiliriz. 1900'lerin başlarında buna benzer tepkimeler sanayide büyük öneme sahipti. 1920'lerde Nernst'in mesai arkadaşısı olan Franz Simon, onun çalışmasına ilham veren gazlı tepkime-

lere dair yaygın kaygıyı şöyle anlatır: “Elli yıl önce [Simon görüşlerini 1956’da yazıya dökmüştü], kısmen söz konusu problemin fiziksel metotlarla ele alınmasına elveren görece basitliği, kısmen de ekonomik olabilirlik nedeniyle kimyasal gaz tepkimelerine yoğun bir ilgi vardı. Gaz tepkimeleri ağır kimya sanayisinin gelişmesinde zaten önemli rol oynamıştı, özellikle amonyak sentezinin barışta ve savaşta Alman ekonomisi için büyük önem kazandığı artık görülen bir gerçektir.”

Amonyak sentezi tepkimesi, oksijenin azotla (N_2) yer değiştirmesi ve amonyak (NH_3) oluşturmada dışında, önceki bölümde bahsedilen su tepkimesine benzer.



Amonyak kimyevi gübre olarak kullanılabilir ya da patlayıcı yapımı için nitratlara dönüştürülebilir. Sınai işlemden azot havadan, hidrojen ise kömür ve buhar arasında yüksek sıcaklığın, yüksek basıncın ve katalizörün gerekli olduğu bir tepkimeden elde edilir. Bir kimya mühendisi işlemi öyle tasarlayabilir ki, işlem azot ve hidrojenle başlar, eğer sıcaklık yeterince yüksek ve katalizör de aktifse, tepkime çabucak amonyak oluşturur. Ama tepkimenin tepkenleri olan azot ve hidrojenin tamamen amonyaka dönüşümü mümkün değildir. Çünkü tepkiyen sistem nihayetinde tepkenlerin yalnızca bir kısmının dönüşüme uğradığı denge durumuna ilerler. Tepkime daha fazla ilerlemez, çünkü denge durumunda bütün değişim sona erer. Denge durumunda üretilmiş amonyak elde edilebilecek maksimum durumundadır.

Bir mühendis, işlemi optimum performansa göre tasarlamak için, değişik basınç ve sıcaklıklarda dengedeki amonyak ürününden ne kadar bekleneceğini bilmek isteyecektir. Termodinamik bu mühendislik amacına etkili bir parametre sağlar. Bu “denge sabiti” olarak bilinir ve her zaman K sembolüyle gösterilir. Amonyak sentezi tepkimesi şöyle tanımlanır:

$$K = \frac{p_{NH_3} \times p_{NH_3}}{p_{N_2} \times p_{H_2} \times p_{H_2} \times p_{H_2}}$$

Burada p s söz konusu kimyasal bileşenlerin basınçlarıdır. Mühendis, mümkün olan en fazla amonyak basıncına (p_{NH_3}) göre tasarımı yapar, dolayısıyla denge sabiti K ’nin büyük değerlerinden faydalanır. Denge sabitine ilişkin bu tarifi tepkimenin ifadesiyle karşılaştıralım: Denklemin payında ürün NH_3 ’ün iki molekülüne iki çarpım faktörü ($p_{NH_3} \times p_{NH_3}$), paydasında ise tepken N_2 ’nin bir molekülüne bir p_{N_2} faktörü ve tepken H_2 ’nin üç molekülüne üç p_{H_2} faktörü denk düşer. Denge sabitleri diğer gazlı tepkimeler için de benzer biçimde tanımlanır: Tepkimedeki her bileşen için çarpılan bir p faktörü, ayrıca pay kısmında kimyasal ürün terimleri ve payda kısmında tepken terimleri.

Nernst’in pragmatik hedefi, gazlı tepkimelerde mühendislerce seçilen herhangi bir sıcaklık ve toplam basınç değeri için denge sabitini hesaplamaya dö-

nük bir metot geliştirmekti. Yüzyılın dönümünde, termodinamik alanında başta gelen deney aracı kalorimetreydi. Bir kalorimetre, yazın kahveyi sıcak, kışın da limonatayı soğuk tutan termos gibi iyi yalıtılmış bir kaptır. (Kimi nüktedan insanlar termosun limonatayı sıcak, kahveyi soğuk tutmak yerine limonatayı soğuk, kahveyi sıcak tutacağını nasıl bildiğini merak ederler). Kalorimetre laboratuvarında tekörnekliliği sağlamak için etkili bir karıştırıcıyla ve sıcaklık değişimlerini sezmek için duyarlı bir termometreyle desteklenir. (Joule'in kalorimetrelerini ve harikulade termometrelerini hatırlayacaksınız.)

Nernst'in incelemelerine başladığı sıralarda, kimyasal tepkimeler üzerine -"termokimya" uygulayıcılarınca yürütülen- kalorimetre çalışmalarından anlaşıldığına göre, çoğu tepkime "ısıveren" türdendi. Böyle bir tepkime ilerlerken ısı enerjisi salar, bunun sonucunda kalorimetrede ısı artar ve "tepkime ısısı"nı ölçmek böylece mümkün olur. Ne var ki, Nernst çok geçmeden, tepkime ısılarının ve alışılmış termokimya teorisi ile uygulamasının gazlı tepkimeler üzerinc çalışmalarında gerek duyduğu bütün araçları sağlayamadığını fark etti. Bu sorunları çözmek için, önce çok daha kapsamlı bir sorunu alt etmesi gerekiyordu.

Kimyasal İlgi

Nernst'in kitabına not düştüğü üzere, uzun bir geçmişi olan bir meseleydi bu:

Kimyasal birleşmede ya da maddelerin ayrışmasında ortaya çıkan kuvvetlerin doğası sorunu, bilimsel kimya ortaya çıkmadan çok önceleri tartışılmıştı. Grek filozofları bu meseleden atomların "aşk ve nefret"i diye söz ederlerdi. ... Atomların değişken ilgisindeki kimyasal değişikliklerin nedenini ararken yalnızca adları değiştirme yaklaşımımızla, aslında antik çağ bilgelerinin insanbıçımci bakışını korumaktayız.

Şurası muhakkak ki, daha kesin fikirlere varma girişimleri hiç eksik olmamıştır. Atomların sıkıca birleşmeye eğilimlerini çengel biçimli yapılarına bağlayan Borelli ve Lemery'nin kaba kavrayışlarından ... kimyasal işlemde çekicilik fenomenini bir taşın yeryüzüne düşüşüne yakın gören Newton, Bergman ve Berthollet'nin iyi tasarlanmış fikirlerine kadar her türden görüş merhalelerine rastlamaktayız.

Maddeler arasındaki herhangi bir fiziksel etkiye ilişkin buluşlar arasında, bazı spekülatif beyinlerin kimyasal işlemi açıklamak amacıyla başvurmadığı tek bir örneğin bile bulunmadığını söylemek pek abartılı olmayacaktır. Ama şimdiye kadar varılan sonuçlar bu konuda sergilenen maharete pek yaraşacak düzeyde değildir.

Kimyasal ilgi çalışmalarında Nernst'in daha yakın seleflerinden ikisi olan öncü termokimyacılar Julius Thomsen ve Marcellin Berthelot, kimyasal ilgileri ölçmede tepkimelerin ısılarını esas almak gerektiği kanısındaydı. Örneğin, Thomsen'in öne sürdüğü ilgi ilkesi "katıksız kimyasal niteliğe sahip her basit ya da

karmaşık davranışa bir ısı evrimi eşlik eder” görüşü üzerine kuruluydu. Diğer bir deyişle, kendiliğinden gerçekleşen bütün kimyasal tepkimeler ısıveren türden olmalıydı. Thomsen-Berthelot ilkesini eleştiren Gibbs, Helmholtz ve Boltzmann kendiliğinden “ısıalan” tepkimelere ilişkin örnekler verdiler. Bu örnekler bir kalorimetrede ısıtıcı etkilerden çok soğutucu etkilerin ortaya çıktığını göstermekteydi.

Ancak, Thomsen-Berthelot ilkesi tümüyle değersiz de sayılmazdı. Pek çok durumda deneylerdeki gözlemlerle uyuşmaktaydı. Nernst bu başarıları takdir etti ve aksamalar kadar önemli olabileceklerini düşündü: “[Thomsen-Berthelot ilkesini] mutlak doğru kabul etmek kadar, tamamen gözardı etmek de abes kaçacaktır. ... Doğayı araştırırken asla şüphe edilmemelidir ki, çoğu durumda doğru çıkan ama birkaç durumda aksayan bir kural sahibi bir doğruluk tohumu taşır-etrafını saran kabuk henüz ‘soyulmadığı’ için saklı kalmış bir tohum.” Thomsen-Berthelot ilkesinin katı bileşenlerle ilgili tepkimelere uygulandığında çok daha başarılı sonuç verdiğinin özellikle farkındaydı Nernst.

Nernst’in kimyasal ilgi problemine getirdiği çözüm, günümüzdeki uygulamayla, şu şekilde tanımlanan Gibbs enerjisine başvurur:

$$G = U + PV - TS \quad (1)$$

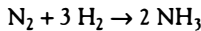
Bu denklem H sembolüyle gösterilen ve “entalpi” denen içsel-dışsal enerjinin ortaya konmasıyla kısaltılır ve şu şekli alır:

$$H = U + PV \quad (2)$$

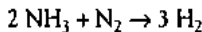
Bu, U içsel enerjisi ile PV potansiyel enerjisinin bir bileşimidir. Potansiyel enerji V hacminin P basıncındaki varlığından dolayı sahip olduğu bir sistemdir. Denklem (1)’de H ’yi $U + PV$ ’nin yerine koyarsak, Gibbs enerji denklemi şu hale gelir:

$$G = H - TS \quad (3)$$

Kimyasal tepkimeler $\Delta_r G$ Gibbs enerji değişimleriyle ayırt edilir. Örnek olarak tekrar



şeklindeki amonyak sentezi tepkimesini alırsak, Gibbs enerji değişimi bize tepkimenin $\Delta_r G < 0$ olduğu durumda ilerleyeceğini gösterir. Öte yandan, $\Delta_r G > 0$ olduğu durumda sentez tepkimesi mümkün değildir ama bunun tersi tepkime olan



şeklindeki amonyak ayrışması mümkündür. Yani $\Delta_r G$ değerinin pozitif ya da negatif olmasına göre, tepkime her iki yöne kayabilir. Sentez ve ayrışma yönlerinden hangisini seçerse seçsin, tepkimenin eninde sonunda varacağı nokta, bütün kimyasal değişimlerin sona erdiği $\Delta_r G = 0$ denklemiyle tanımlanan denge durumudur. Bir başka deyişle, Gibbs enerji değişimi kimyasal ilginin, yani tepkimeyi amonyak sentezi ya da ayrışması yönüne taşıyan yahut dengeye ulaşıldıktan sonra tepkimeyi durduran kuvvetin doğru bir ölçüsüdür. Gibbs enerji değişimleri diğer tepkimeler için kimyasal ilgilere ilişkin benzer dökümleri verir.

Kimyasal tepkimeler, denklem (3)'ün de gösterdiği gibi, Gibbs enerji değişimi $\Delta_r G$ tepkimesiyle ilişkili olan $\Delta_r H$ entalpi değişimlerine ve $\Delta_r S$ entropi değişimlerine göre belirlenir.

$$\Delta_r G = \Delta_r H - T \Delta_r S \quad (4)$$

Eğer $\Delta_r H$ ve $\Delta_r S$ kalorimetreyle ölçülebilirse, burada kimyasal ilgiye varmak için $\Delta_r G$ ile ölçülen kalorimetrik bir yol edinmiş oluruz. Bu, $\Delta_r H$ tepkime entalpisi için basit bir meseledir. Eğer tepkime sabit basınç altında ilerlerse, $\Delta_r H$ entalpi değişimi tümüyle ısı enerjisine çevrilir ve kalorimetre de tepkime ısısı olarak bulunur.

Ne yazık ki, Nernst'in probleminin can alıcı noktası sayılan bir durum olarak, entalpi değişimlerinin tersine $\Delta_r S$ tepkime entropisi değişimi kalorimetreyle doğrudan ölçülemez. Bununla birlikte, eğer $\Delta_r S$ 'nin belli bir sıcaklıktaki değerini biliyorsak, seçtiğimiz herhangi bir sıcaklıktaki $\Delta_r S$ değerini bulmak için kalorimetreden gelen veriyi kullanabiliriz. Nernst bu belli sıcaklığın ne olması gerektiğini kavrayacak kadar işin içyüzünü biliyordu. Simon'a göre, "Nernst [doğanın] niyetlerini yalnızca mutlak sıfırda, yani bütün sıcaklık yelpazesinde özel öneme sahip tek noktada açığa vurabileceği sezgini taşıyordu." Böylece Nernst, katı maddelerin söz konusu olduğu tepkimelerin düşük sıcaklık verilerine dayanarak, esasen benzer bütün tepkimeler için entropi değişiminin mutlak sıfır noktasında sıfıra eşit olduğunu tahinin etti:

$$T = \text{mutlak sıfır durumunda } \Delta_r S = 0 \quad (5)$$

Burada "esasen" dememizin nedeni, Nernst'in entropi kavramının varlığına inanmamasıydı (Gibbs'ten gerekli dersleri henüz alınmamıştı). Üzerinde çalıştığı denklemler S entropi değerini değil, bunun yerine G Gibbs enerjisine dayalı matematiksel eşdeğeri içermektedir (Zaten Helmholtz'a ait "serbest enerji" terimini kullanmaktaydı). Nernst önceleri denklem (5)'e "ısı teoremi" adını verdi. $\Delta_r S$ değerini kalorimetreden okunan verilerle hesaplamayı, bu tepkime entropilerini tepkime entalpileriyle birleştirmeyi ve nihayet $\Delta_r G$ olarak ölçülen kimyasal ilgileri belirlemeyi mümkün kılan bu teorem, Nernst'in katı maddelerin söz konusu olduğu tepkimelere ilişkin kimyasal ilgi problemini çözdü.

Kimyasal Sabitler

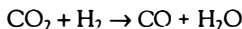
Nernst'in 1906'da yayımlanan ısı teoremi büyük bir başarıydı. Termokimya alanında sonraki çalışmalarıyla birlikte bu teorem ona kimya dalında Nobel Ödülü kazandırdı. Gelgelelim, Nernst'in asıl problemi, yani gazlı tepkimeler için denge sabitlerini hesaplama konusunda bu teoremin söylediği pek fazla şey yoktu. Şimdi, geriye dönüp denge sabitlerine doğru yolunu bulması gerekiyordu.

Nernst'in elinde ihtiyacını kısmen karşılayan bir denklem vardı. J. H van't Hoff'un 1880'lerde ortaya koyduğu bir diferansiyel denklemdi bu. (Jacobus Henricus van't Hoff, fiziksel kimyanın kurucuları arasında yer alan mütevazı, sessiz ve çalışkan bir Hollandalı bilim adamıydı. 1901'de kimya dalında Nobel onur payesini alan ilk kişiydi. Nernst'in ısı teoremini yayımladığı sırada, iki bilim adamı Berlin Üniversitesi'nde aynı zamanda mesai arkadaşlarıydı.) Hollandalı van't Hoff'un denkleminin matematiksel kalıbı şöyleydi:

$$\frac{1}{K} \frac{dK}{dT} = f(T)$$

Burada K bir denge sabiti ve $f(T)$ ise kalorimetre deneylerinde elde edilebilen sıcaklığın bir fonksiyonuydu. Nernst'in K için bir denkleme ihtiyacı vardı. Bunu van't Hoff'un diferansiyel denkleminin integralini alarak elde edebilirdi ama böyle bir işlem bilinmeyen bir sabiti ortaya çıkarıyordu. Bir diferansiyel denklemde integrali alınmış bir denkleme geçiş her zaman bir "enteegrasyon sabiti"ni gerektirir. Diferansiyel denklemde sabit ortadan kalkar, çünkü bir sabitin türevi sıfıra eşittir ama entegrali alınan bir denklemde bu sabit gözardı edilemez.

Matematiksel açıdan gayet basit olan entegrasyon sabiti meselesi fiziksel bağlamda çetin bir soruna yol açmaktaydı. Nernst gerek duyduğu entegrasyon sabitini, tepkimede yer alan bileşenler için I adı altında ayrı sabitlere ayırabileceğini fark etti. Karbon dioksitten (CO_2) ve hidrojenden (H_2), karbon monoksitin (CO) ve su buharının (H_2O) üretildiği bir "su gaz tepkimesi"ni göz önüne alalım.



Nernst'in formülüne göre, bu tepkime için I entegrasyon sabiti, tepken terimlerini ürün terimlerinden çıkarmak üzere, her bileşene denk düşen dört ayrı terime bölünebilir.

$$I = i_{\text{CO}} + i_{\text{H}_2\text{O}} - i_{\text{CO}_2} - i_{\text{H}_2}$$

Nernst'i terimlere "kimyasal sabitler" adını verdi. Her sabit yalnız ilgili bileşenin fiziksel özelliklerine dayanır ve yalnızca bir tepkime için değil, bileşenin yer aldığı bütün tepkimeler için geçerlidir. Her bileşen için ayrı bir sabit hesaplanabilir ve temelli kullanılabilecek bir çizelge haline getirilebilir.

Nernst'in gazlı kimyasal dengelerle ilgili çalışması, teorik araştırma yolları-

nın dolambaçlı olabileceğinin göstergesidir. Başlangıçta genel kimyasal ilgi problemi üzerinde durmuş ve düşük sıcaklıktaki katı maddeleri kapsayan tepkimelerin çok az bilinen termodinamiğine eğilmenin avantajlarını saptamıştı. Bu konunun etrafında dolaşırken, kendi ısı teoreminin deneysel temellerini bulup ortaya çıkarmıştı. Gazlı tepkimelere geri dönünce ve problemi van't Hoff'un diferansiyel denkleminin entegrasyonu çerçevesinde formüle edince, gerek duyduğu entegrasyon sabitlerini her tepkime bileşeni için ayrı kimyasal sabitlerin toplamı şeklinde ifade edebileceğini anlamıştı.

Ancak, Nernst'in görevi henüz tamamlanmış değildi. Kimyasal sabitlerin doğru hesaplanması için gereken veriler, Nernst'in teorisini formüle ettiği 1906'da ortada yoktu. Çok geçmeden Nernst gerekli düşük sıcaklık verilerini elde etmeye yönelik ilk deney programlarından birine başladı. Bir ara aşama olarak, kimyasal sabitleri tahminen belirlemeyi sağlayacak formüller geliştirdi.

Tahmini kimyasal sabitlerin değerlerini içeren bir tablo hazırladı ve bu tabloyu yaklaşık denge sabitlerini hesaplamak için kullandı. "Nernst o dönemde varolan bütün malzemeleri tarayarak, hesaplama sonuçlarının deneysel olgularının oldukça geniş bir hata payıyla uyuştuğunu gösterdi" diye yazar Simon. Tipik bir uygulamada, Nernst'in ampirik metodu su gaz tepkimesi için 800°C'lik yüksek sıcaklıkta $K = 1,82$ sonucuna varmaktaydı. Aynı sıcaklıkta gözlemlenen denge sabiti ise $K = 0,93$ şeklindeydi.

Nernst'i eleştirenlerin bir bölümüne göre, bu türden bir uyuşma hiç de çarpıcı değildi. Nernst'in eski bir öğrencisi ve kimyasal termodinamik metodlarının geliştirilmesinde en önemli haleflerinden biri olan Gilbert Lewis, onun doğru hesaplamalar için düşük sıcaklık verilerini elde etmeye yönelik çabalarını övgüyle anarken, "[tahmini] kimyasal sabitleri kullanmaya gittikçe daha çok yönelmesi"ni üzüntüyle karşılıyordu. Ona göre "bu sabitlere dayanan hesaplamaları ölçüm sonuçlarıyla bağdaştırmaya yönelik [dehşet verici] çeşitli çabalar ... kimya tarihinin esef edilecek bir evresi" sayılırdı.

Lewis modern kimyasal termodinamik literatüründe kimyasal sabitlere hiçbir biçimde rastlanmadığını onaylayıcı bir tavırla kaydeder. Oysa Simon bize şunu hatırlatır: Nernst'in başarısını ölçmek için esas aldığı "geniş hata payı ... daha önceki toptan bilmezlik durumuna göre son derece tercih edilir bir şeydi; ... [Nernst'in] yakın tahminleri karmaşık tepkimeler örgüsü içinde hangi tepkimelerin termodinamik açıdan elverişli olduğuna dair kabataslak bir fikre çok çabuk varmayı mümkün kılarak kimya sanayisine çok yararlı oldu."

Teoremden Çıkan Yasa

Nernst, ortaya koyduğu ısı teoreminin sırf yeni bir formül ya da matematiksel tarif değil, temelde bir yasa olduğunu açık seçik belirtti. Teoreminin yalnızca termodinamiğin yerleşik iki yasasına uygun düşen "üçüncü yasa"yı oluşturmakla kalmadığını, başka bir yasanın asla söz konusu olamayacağı görüşünde idetti. Bu vargısı şöyle bir kestirime dayanıyordu: İlk yasaı üç kişi (Mayer, Clausius ve Helmholtz), ikinci yasaı iki kişi (Carnot ve Clausius), üçüncü yasaı ise yalnız

bir kişi (W. Nernst) bulmuştu. Ortaya çıkacak bir buluşçu kalmadığına göre, dördüncü bir yasa da olamazdı. Üçüncü yasa, son yasaydı.

Bütün bu kendini beğenmiş, övünge ve müstehzi tavırlarına rağmen, Nernst etki alanını yalnızca yüksek ve güçlü katmanlarda değil, lisansüstü öğrencilerinin oluşturduğu yakın çevrede de genişletmeye devam etti. Onun yönetimindeki Berlin Laboratuvarı'nda çalışmış bir İngiliz olan James Partington, "pek az tecrübeye sahip çok genç bir adam"a gösterdiği sevecen ilgiyi yazar. Bilim dünyasının o zamanki (ve de şimdiki) kodamanlarının tersine, Nernst araştırma öğrencilerinin günlük uğraşlarına aldırma, onları daldıkları sularda kendi hallerine bırakma tutumunu izlemezdi. Partington araştırmasında zorlandığı zaman Nernst'in varlığının nasıl teşvik edici olduğunu şöyle aktarır: "Kendi başınıza işi kolaylıkla halledebileceğinizi düşünürdünüz ve bu azim uygulamalarla giderilebilecek bir kusur olan beceri eksikliğini ortadan kaldırırdı. ... Onun sahici iyi kalpliğini şükranla hatırlamaktayım."

Berlin'i 1930'larda ziyaret edenlerin en azından biri, Nernst ve alışılmamış tavırları karşısında önceleri biraz huylanmıştı. Düşük sıcaklıkta süper-iletkenlik fenomeni üzerine çalışmalarıyla tanınan Hendrik Casimir, Nernst ve onun araştırma kolokyumu hakkındaki izlenimlerini şöyle anlatır:

Mendelssohn bu kurumu [kolokyumu] dönemin en seçkin fizikçilerinin en son gelişmeler üzerine görüşlerini belirttikleri bir yer olarak coşkulu ifadelerle tarif etmişti. Doğrusu, bende aynı çarpıcı etkiyi yaratmadı. ... Tartışmalar hem resmi, hem de baştan savmaydı. Epeyce yumuşak ama içe işleyici, oldukça tiz sesiyle [Nernst'in] kolokyumda sunulan şeylerin bir kısmından zaten kitabında söz ettiğini bildirmesi ve insanların bunu bir yayın olarak görmemesinden yakınması alışılmış bir durumdu. O sıralarda gülünç bir figür izlenimini bıraktı bende. ... Daha sonraları, görüşlerinden bazılarının gayet incelikli bir hususu içerdiğini kavradım. Doğumunun yüzüncü yıldönümünü kutlamak üzere 1964'te Göttingen'de düzenlenen toplantıya esas konuşmayı yapmak üzere davet edilmiştim. Bu münasebetle, yayımlanmış çalışmalarını daha yakından inceledim ve çok etkilendim. Doğru, bazı sinir bozucu, tuhaf tavırları vardı ve matematiği sarsaktı ama çalışmalarının bütünü, dikkat çekecek ölçüde berrak ve çoğu kez kâhince bir vizyonu yansıtıyordu. Böylece de insanların önünde daha önce hiç dile getirmedığım bir kanaat yanlısını telafi etme fırsatını buldum.

Neşe ve Keder

Nernst'in özel hayatı neredeyse profesyonel kariyeri kadar olağanüstü talihliydi. Karısı Emma, başka pek çok özelliğinin yanı sıra, ev işlerinde becerikliliğin ve hamaratlığın kusursuz bir simgesiydi. Bir alışkanlık olarak sabah saat altıda kalkardı ve Nernst'in düzen bakımından hiç de basit ve sakin olmayan ev işlerine bakardı. Berlin'e yerleşmelerinin üzerinden pek uzun süre geçmeden, Nernst çifti, şehrin en konuksever ailesi olarak ün saldı. Ortada üçü kız, ikisi erkek beş çocuk vardı ve aile hayatı Nernst'in varoluşunun çok önemli bir parçasıydı.

Ama Nernst bile iki dünya savaşının neden olduğu trajedilerden kaçınamadı. İlk savaşta her iki oğlu da can verdi. Nernst ateşkesten çok önce Almanya'nın yenildiğini ve neredeyse mahvolduğunu görebilmişti. Daha fazla yıkıma engel olmak için, aralarında imparatorun da bulunduğu bağlantılarını beyhude kullanmaya çalıştı. Isı teoremi üzerine çalışmalarını 1917'de bir monografide toplayarak bilimin huzurlu dünyasına sığındı. Bu kitabın giriş cümlelerinde bilimde bulunduğu teselliği şöyle anlatır: "Sıkıntılı ve dertli zamanlarında eski Grekler'in ve Romalılar'ın çoğu avuntuyu felsefede aradılar ve buldular da. Günümüzde benzer biçimde diyebiliriz ki, teorik fizik kadar zihnimizi yaşanan elemenden sıyırmaya yatkın başka bilim yok gibidir."

Sonunda barış sağlandı ve Almanya mucizevi bir biçimde yeniden ayağa kalkmaya başladı. Bir süre siyasal ve ekonomik çalkantılar yaşandı ama Alman bilimi eskisi kadar güçlü ve yoğun bir biçimde sahneye çıktı; Nernst ve Berlinli meslektaşları bilimi tekrar dirilttiler. Uğruna didişilecek kavramsal devrimler vardı artık. Bilimin ufkunda hem kuantum teorisi hem de görelilik belirmişti. Olup bitenleri anlamasına ve değerli bulmasına rağmen, Nernst bu girişimlere katkıda bulunmadı. Önüne daha fazla itibar kapısı açıldı, kendisine önerilen ABD büyükelçiliği görevini geri çevirdi. Berlin Üniversitesi rektörlüğüne seçildi, Helmholtz'tan boşalan fizik kürsüsünün başına geçti ve 1920'de Nobel Ödülü kazandı.

Ama Almanya, ilk savaşın getirdiği siyasal çöküntüden tamamen kurtulamamıştı. 1930'larda Nazi etkisi yayılmaya başladı, derken Naziler bir anda ve geri dönülmez biçimde iktidara geldiler. Nernst, Nazi politikalarına karşıydı ama harekete geçecek enerji ve etki gücünden yoksundu. Bereket versin ki, emekliye ayrılarak doğduğu yere döndü ve ömrünün son yedi yılında bir ölçüde huzur buldu. Son günlerinde Emma yanı başındaydı ve son sözlerini kayda geçirdi. Mendelssohn onun ölümünden hemen önce Emma'ya anlattıklarını "tam da kişiliğine uygun" diye nitelendirerek şöyle aktarır: "Ben cennette zaten bulundum. Gayet hoştu, yine de orayı daha da iyi hale getirebileceklerini anlattım onlara."



ELEKTROMANYETİZMA

Tarihsel Sinopsis

Hikâyemiz şimdi daha zigzaglı bir kronoloji izlemek zorunda. (Doğrusal zaman çizelgelerini daha rahat bulanlar, kitabın sonundaki kronolojiye başvurabilir.) II. Kısım'da 1820'lerde Carnot'dan başlayarak 1930'larda Nernst'e kadar termodinamiğin gelişim çizgisini izlemiştik. Burada tarih bir kez daha 1820'li ve 1830'lu yıllara, termodinamikçilere esin kaynağı olan aynı bilim sahnesine dönüyor: Gündemdeki konu da yine esrarlı ve merak uyandırıcı dönüşüm süreçleri. On dokuzuncu yüzyıl başlarının bilim adamları için karşılıklı-dönüşebilir ısı, mekanik, kimyasal, elektriksel ve manyetik etkilerin birleştirici ilkeleri gerekli kıldığı apaçıktı. Termodinamikçiler önce ısı ve mekanik etkilere yoğunlaştılar, bunlardan enerji ve entropi kavramlarını, ayrıca üç büyük fizik yasasını süzüp çıkardılar. Böylece 19. yüzyılın sonuna doğru, uğraştıkları bilime özgü dilin bütün makroskobik etkileri, aslına bakılırsa bütün evreni kucakladığını keşfetmiş oldular.

Aynı sıralarda keşfedilmesi gereken başka bütünlükler de vardı. 1820'de Ørsted, elektrik akımı taşıyan bir telin yakındaki bir pusulanın manyetik iğnesini hafifçe saptırdığını gözlemledi: Bir elektrik etkisi bir manyetik etki yaratıyordu. Ørsted'in meslektaşları bundan etkilenmediler. Ama Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde hırslı bir genç laboratuvar asistanı vardı ve adı da Michael Faraday'dı. Zekice tasarlanmış bir dizi deney sonunda, Faraday daha birçok "elektromanyetik" etki buldu. Bunlar arasında modern elektrik motorlarını ve jeneratörleri mümkün kılanlar da vardı. Son ve en zorlu deneylerin birinde, Faraday kutuplaşmış ışığın bir manyetik alandan etkilendiğini gösteren çarpıcı buluşu yaptı. Bu gözlem sayesinde ışığı elektromanyetik fenomenlerin alanına taşıdı.

Faraday'ın kılavuzları, 19. yüzyılın en büyük deneycisi olmasını sağlayan üstün laboratuvar becerisinin yanı sıra devrimci bir teoriydi. Manyetik, elektriksel ve elektromanyetik etkilerin topluca "alan" olarak tanımlanan "kuvvet çiz-

gileri" boyunca uzay içinde iletildiği kanısındaydı. Bir kez yaratıldıktan sonra, bu alan her yerde, hatta başka bakımlardan boş bir uzay içinde varlığını sürdürebilirdi. Faraday'ın çalışma arkadaşları deneylerine inanıyordu ama o sırada revaçta olan Newtoncu versiyona köklü biçimde ters düşen teorisine inanmıyordu.

Alan kavramını hararetle benimseyen iki genç zındık daha Faraday'a katıldı. Bunlardan biri William Thomson, diğeri ise 19. yüzyılın en büyük teoris-yeni konumuna yükselecek olan İskoç asıllı James Clerk Maxwell'di. Thomson elektriksel kuvvet çizgilerine ilişkin sınırlı bir matematiksel teori oluşturdu. Maxwell daha da ileri gitti. Yaklaşık yirmi yıllık bir zaman diliminde, Faraday'ın alan kavramından hareketle harika bir teorik yapı kurdu. Bu teori, alanın elektriksel ve manyetik bileşenleri ile kaynakları konusunda bir dizi dife-ransiyel denklemden oluşuyordu. Bu denklemler Faraday'ın daha önce ışığın elektromanyetik niteliğini ortaya koyan deneysel gösterimi de dahil bütün elektriksel, manyetik ve elektromanyetik fenomenlerin teorisini birkaç satıra sığdırıyordu.

Maxwell denklemlerinin kapsamı ve yararlılığı çok geniştir. Fiziksel yo-rumları da yıllar içinde değişmiştir. Şimdi elektrik alanının elektrik yükleri içinde ve manyetik alanın da elektrik akımları içinde oluştuğunu kabul etmek-teyiz. Maxwell elektrik yükünü alanın bir ürünü sayıyordu ve manyetik alan ile elektrik akımları arasında yalnızca dolaylı bir bağlantı görebiliyordu. Ancak, denklemleri kozmik bir ölçekte geçerlidir. Tıpkı Newton'un dinamik ve evren-sel kütleçekimi yasaları ile termodinamik yasaları gibi, Maxwell denklemleri de evrenin köşelerini aşan bir erime sahiptir.

Doğanın Bir Kuvveti

Michael Faraday



Yokluktan Doğan

Bu kitapta envai çeşit bilim adamı var. Bilimde başarıya ulaşmalarını sağlayan yetişme koşullarının ya da karakterlerinin belli yönlerini bulmaya çalışmak boşuna bir çaba olacaktır. Bazıları içe kapanık ve yapayalnız, bazıları dışa dönük ve girişkendi. Bazıları nevroitik, bazıları epeyce mazbuttu. Bazıları dost canlısı ve derviş ruhlu, bazıları soğuk ve kavgacıydı. Çoğunlukla mutlu evlilikleri oldu ama bazılarının evliliği felaketle sonuçlandı. Eğitim açısından hem okullu hem alaylı sayılırlardı. Bazılarının akıl hocaları vardı, bazılarının ise hiç yoktu. Bazıları çalışmalarını sürdürecektik ekoller kurarken, bazıları tek başlarına çalıştı.

Ama bu seçkin bilim adamlarının en azından iki ortak yanı vardı: Hepsi, bazen saplantıya varacak ölçüde çok çalışkandı ve bir iki istisna dışında hepsi orta sınıftan gelmeydi. İşine aşırı düşkünlük eğilimi, olağanüstü başarılar elde etmiş birçok insanda görülen bir özelliktir. Daha ilginç olan ise, orta sınıf kökeninin baskınlığıydı. Fizikçilerimizin sosyal dünyaları, en düşüğünden en yükseğine kadar orta sınıfın bütün kesimlerini kapsıyordu ama nadiren bu konakların altında ya da üstünde yer aldılar. İşte bunun en dikkate değer istisnası şimdi ele alacağımız kişi, yani Londra'nın bir kenar mahallesinde doğan Micheal Faraday'dır.

Faraday'ın babası James, takatten düşürücü bir hastalık yüzünden ailesini zar zor geçindiren bir demirciydi. Hayatının son yıllarında Faraday, ekonomik şartların berbat olduğu 1801'de haftalık yemek payının bir somun ekmek olduğunu hatırlayacaktı. Arkadaşı ve biyografı Henry Bence Jones'a, "sıradan bir okulda, okuma yazmanın ve aritmetiğin temellerinden ibaret, olabildiğince ba-

sit" bir eğitim gördüğünü anlatacaktı. "Okul dışındaki hayatım evde ve sokaklarda geçiyordu."

Ancak, yoksulluğun getirdiği talihsizlikler, güvenli bir aile hayatıyla dengelemişti. Faraday'ın en son biyografi yazarı Pearce Williams, onun annesi Margaret'tan "ailenin temel direği" diye söz eder. "Maddi ihtiyaçlar açısından elindekilerle idare etti ama küçük oğluna ilerideki hayatında onur anlayışına uygun olmayan bütün siyasal ve toplumsal payeleri reddetmesini sağlayan duygusal gücü verdi." Üç kardeş, yani Micheal, kızkardeşi Margaret ve ağabeyi Robert arasındaki yakın dostluk da hiç kuşkusuz onun eseri idi.

Londra sokaklarından çıkan Faraday'ın kendi döneminin en büyük bilim adamlarından biri olarak en yüksek mertebeye ulaşması uzun bir tırmanışla gerçekleşti. Aile desteği ve aynı zamanda Sandemancı kiliseye sofuca inancı, bu tırmanışta ilk adımları atmasına yardımcı oldu. Sandemancılar zorlamadan ya da ateşli vaazlarda bulunmadan sevginin ve disiplinin önemini öğreten köktenci bir Protestan tarikattı. Faraday hayatı boyunca hep süren gücünü bu inancından aldı. Meslektaşlarından John Tyndall, günlüğüne şöyle not etmişti: "Bence, Faraday'ın hafta içinde hiç eksilmeyen gücü ve dayanıklılığı, Pazar ibadetiyle ilgili olabilir. Her Pazar bir çeşmeden su içerek yeniden zindelik kazanıyor."

Gelgelelim, karakterine geçim sıkıntısının, aile desteğinin ve dinsel inancın işlediği direşkenliğe ve kararlılığa rağmen, Faraday iki nimet daha olmaksızın tarihimizde yer alamazdı. Bunlar hayatının çeşitli dönüm noktalarındaki olağanüstü şansı ve son derece coşkulu kişiliğiydi. Şans feleğinin ilk çarkı, kitap ciltçisi ve satıcısı George Riebau'nun yanına çırak girmesiydi. Bir Fransız mütecisi olan Riebau, bu hayat dolu çırağını sevdi ve onu dükkâna girip çıkan birçok kitaptan yararlanmaya teşvik etti. Faraday daha sonraları Bence Jones'a bunu şöyle anlatacaktı: "Çıraklığım sırasında, elimin altındaki bilimsel kitapları okumaktan hoşlanırdım ve içlerinden en keyif aldıklarım [Jane] Marcet'nin *Kimya Üzerine Konuşmaları* ile *Encyclopaedia Britannica*'nın elektrikle ilgili maddeleriydi." Faraday'ın bilim eğitimi işte böyle rastlantıyla başlamıştı.

Kitaplar önemliydi ama yeterli değildi. Faraday gece konferanslarına katılmaya başladı. Bunlar arasında Humphry Davy'nin Londra'da Kraliyet Enstitüsü'nde verdiği dört konferans da vardı. Davy dönemin en meşhur bilim adamlarından ve konferansları büyük rağbet görüyordu. Davy'nin biyografi yazarlarından birine aktardığı gibi, kitap ticaretini "kirli ve bencilce" bir uğraş olarak gören Faraday, "peşinden gidenleri yumuşak huylu ve açık görüşlü hale getirdiğini hayal ettiği bilimin hizmetine girme" düşüncesine kapıldı. Davy'ye safça bir mektup yazarak iş istedi ve şans feleğinin en büyük çarkı olarak, Davy onu Kraliyet Enstitüsü'nde önce yazıcı, daha sonra laboratuvar asistanı olarak işe aldı. Faraday bütün kariyeri boyunca orada kaldı ve zamanla enstitü laboratuvarının ve ders salonunun en cırcıbezi kişisi olarak Davy'nin yerine geçti.

Kilise, aile ortamı, ciltçi çıraklığı sırasında kurduğu dostluklar ve Humphry Davy'nin himayesi Faraday'ın önüne fırsat kapılarını açan dışsal etkenlerdi. Ama olağanüstü içsel gücünün etkisi de bunlardan aşağı değildi. Tyndall şöyle

yazar: "Sevimliliğinin ve kibarlığının altında bir yanardağ ateşi vardı. Kolay heyecanlanan, taşkın bir mizaca sahipti ama büyük disipliniyle bu ateşi boş bir tutkuyla harcamak yerine hayatının temel şevki ve güdüsü haline getirdi." Zaten Faraday'ın uzun, zahmetli ve tehlikeli merdiven basamaklarını çıkışını denetimli bir enerji yanardağından başka bir şey sağlayamazdı. Araştırmalarını doğanın güçleri üzerinde yapmaya karar verdi. O, kendisi, doğanın gücüydü.

Faraday ve Davy

Önemli bilim adamları arasında Humphry Davy kadar yakışıklı, etkileyici ve halkın gözdesi olanı belki hiç çıkmamıştır. Faraday'ı işi aldığı anda şöhretinin zirvesindeydi. Kendisine merkez edildiği Kraliyet Enstitüsü bir süre önce Kont Rumford (Benjamin Thompson) tarafından "fendeki yeni buluşları sanat ve imalatı geliştirmeye, hayata rahatlık ve kolaylık getirecek araçları kolaylaştırmaya yönelik uygulamaları düzenli dersler, felsefi konuşmalar ve deneyler yoluyla öğretmek" amacıyla kurulmuştu. Davy'nin enstitüdeki kimya profesörlüğü sırasında, bu toplumsal amaç onun kimya araştırmalarının ve meşhur bilimsel konferanslarının yanında ikinci plana düştü.

Davy'nin alt-orta sınıf geçmişi, Faraday'ın alt sınıf geçmişiye çok uzak değildi. Cornwall ilinin Penzance yöresinde küçük bir çiftliği olan bir ahşap oymacısının oğluydu. İyi bir üniversite hazırlık okuluna gittiyse de, resmi eğitimi bunun ötesine geçemedi. Penzance'ta bir eczacının yanından çıraklık yaparken kimyaya ilgi duydu. Bristol ilinin Clifton şehrinde doktorluk yapan Thomas Beddoes sayesinde bilim dünyasını girmek için ilk fırsatı yakaladı. Beddoes onu Tıp Pnömatik Enstitüsü'ne kimya deneyleri yöneticisi olarak atadı. Davy'nin gazlarla ilgili deneyleri, özellikle de "kahkaha gazı"nı (diazot monoksit) solumanın etkilerine ("başta göğüs, kol ve bacaklar olmak üzere bütün kaslara yumuşak basınç uygulanmasına benzeyen ve son derece keyif verici bir ürpermenin eşlik ettiği bir duyumsama") ilişkin açıklamaları çabucak meşhur oldu.

Rumford cüretkâr deneyleriyle ve spekülasyonlarıyla dikkatini çeken Davy'yi 1799'da Kraliyet Enstitüsü'ndeki ilk görevine getirdi. Bu kurum Davy'nin bilime ve topluma dönük özlemleri için bir platform haline geldi. Davy 1812'de zengin ve çekici bir dul olan Jane Apreece'le evlendi. "Karısının yüksek mevki tutkusu onunki kadar yoğundu" diye yazar Davy'nin biyograflarından J. G. Crowther, "İki sosyete avcısı, aristokratların kazıklı duvarına yönelik saldırılarında işbirliği yaptılar." Davy açısından "bilimsel uğraş kısa sürede züppelik uğraşının peşine takıldı."

Davy'nin yanında 1813'te bilimsel çıraklığa başladıktan kısa bir süre sonra Faraday'ın eline bir başka talihli fırsat geçti. Artık soyluluk unvanı taşıyan Davy çifti, Faraday'ın da "deneylerde ve yazı işlerinde asistan" olarak katıldığı bir Avrupa turuna çıktı. Avrupa turu Faraday'ın bilim ve diğer alanlardaki eğitiminin önemli bir parçası oldu. Davy'nin şöhreti Fransa ve İtalya'da bütün kapıları açtı ve Faraday zamanın önde gelen birçok bilim adamıyla tanıştı. Davy'nin kendisi bu eğitimin bir unsuruydu. O ve hevesli asistanı bilim haritasını ve ötesini kap-

sayan konularda özgürce ve karşılıklı konuştular. Leydi Davy ise bir başka meseleydi. Çok fazla konuşuyor ve Faraday'a bir uşak gibi davranmakta ısrar ediyordu. Arkadaşı Benjamin Abbott'a, "Aşırı ölçüde kibirli ve mağrur biri, altındaki lere gücünü hissettirmekten büyük zevk alıyor" diye yazmıştı Faraday.

Faraday'ın Avrupa tecrübesi hayatında öbür şeyler kadar önemli yer tuttu. Williams bize şöyle anlatır: "1815 sonbaharında İngiliz topraklarına ayak basan genç adam, 1813'te buradan ayrılmış olan delikanlıdan oldukça farklıydı. Dünyanın güzel bir parçasını görmüş, karmaşıklığının ve çeşitliliğinin farkına varmış ve insanların yaklaşımları konusunda epeyce iyi bir kavrayış edinmişti. Dönemin önde gelen bazı bilim adamlarıyla tanışmış ve hem onları etkilemiş, hem de onlardan etkilenmişti."

Buluşçu

Faraday'ın biyografisini yazanlardan birçoğu, onu deneysel olguların eşsiz bir buluşçusu olarak nitelendirmiştir. Bu izlenim olabildiğince doğrudur ama onun dehasının aynı derecede önemli başka bir yanını gözardı eder: Teorisyen olarak ya da onun tercih ettiği üzere "filozof" olarak elde ettiği çarpıcı başarılar. Biz de önce onun deneyci yönüyle oynadığı bildik role bakalım.

Faraday'ın bir kurum olarak hâlâ Davy'nin damgasını taşıdığı dönemde Kraliyet Enstitüsü'nde üstlendiği ilk iş esas olarak kimyacılıktı. "Toscana'nın Yerli Yakıcı Kirecinin Analizi" başlıklı ilk bilimsel makalesi henüz yirmi beş yaşında olduğu 1816'da yayımlandı. Analitik kimyacı olarak hizmetlerine duyulan ihtiyaç nedeniyle 1820'de kalfa kimyacı konumuna yükseltildi. 1820'lerde yüzlerce kimyasal analiz yaparak, kurumun mali açıdan ayakta kalmasını sağladı. Yine bu dönemde asıl araştırma alanı olan elektrik ve elektromanyetizma konularına yöneldi. On dokuzuncu yüzyılın seçkin deneycisi olarak öne çıkışı işte bu noktada başlar.

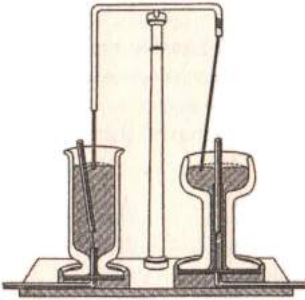
Faraday'da elektriğe ve manyetizmaya dönük ilgiyi uyandıran olay, Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Ørsted'in 1820'deki bir buluşuydu. Deney önce bir bilim adamları topluluğunun önünde gösteri olarak yapıldı. Ørsted daha sonraları bu deneyi (kendisinden üçüncü şahıs gibi söz ederek) şöyle aktarıyordu:

İlk deneyin planı, konferanslarda yaygın olarak kullandığı küçük galvanik olukta [bir bataryada] bulunan [elektiriksel] akımı, camla kaplı bir pusulanın üzerine yerleştirilmiş çok ince bir platin telin içinden geçirmekti. Deney için hazırlıklar yapıldı ama bazı aksilikler konferanstan önce deneyi yapmasını engelledi ve başka bir fırsat çıkıncaya kadar deneyi ertelemeye karar verdi. Derken konferans sırasında başarılı olma ihtimali güçlü görününce, deneyi izleyici topluluğunun önünde yaptı. Manyetik iğne [pusula] bir kutu içinde yer almasına rağmen oynadı, ancak bu etki çok zayıf olduğundan ... deney izleyiciler üzerinde güçlü bir izlenim bırakmadı.

Faraday ve başka bazı kişiler daha fazla etkilenmişti. Ørsted'in deneyi, şimdi hayatımızda çok yakından bildiğimiz teknolojilerden bazılarının yolunu açan elektromanyetizma biliminin başlangıcında önemli bir dönüm noktasıydı. Faraday aynı yıl içinde Ørsted'in yaptığı sonraki gösteriyi özel bir dikkatle izledi. Bu gösteride akım taşıyan tel, pusula iğnesini tele dik bir yönü işaret etmeye zorlayarak *dairesel* manyetik etkiyle çevriliydi.

Faraday akım taşıyan telin bir mıknatısı telin eksenini etrafında *sürekli* bir dairesel hareketle döndürebileceğini tahmin etti ve bu "elektromanyetik dönüşü" göstermek için Çizim 11.1'de çizimi yer alan deneyi tasarladı. Çizimin sol tarafında görüldüğü gibi, cıvayla dolu kaba durağan elektrik akımı taşıyan bir tel batırılmıştı. Telin yanına küçük, kuvvetli bir mıknatıs yerleştirilmiş ve bir iplikle kabın dibine bağlanmıştı. Telden (ve kaptaki cıvadan) bir elektrik akımı geçirildiğinde, mıknatısın üst kutbu telin etrafında dönüyordu. Çizimin sağ tarafında ise mıknatısın sabitlendiği ve akım taşıyan telin döndüğü benzer bir deney yer almaktadır.

Bu deneyler Ekim 1821'de bir makaleyle duyuruldu. "[Makale] Faraday'ı bir anda Avrupalı bilim adamları arasında ön saflara çıkardı" diye yazar Williams. "Avrupa'daki bütün laboratuvarlarda Faraday'ın dönen cihazının kopyaları yapıldı ve hareket ettirici kuvvetin garip niteliğine kafa yoruldu." Faraday'ın cihazı belirgin pratik olanaklar barındırmaktaydı. Aslında elektrik motorunu icat etmişti o. Bu uygulamaların ya da öteki icatlarının sağladığı olanakların peşinden gitmedi. Ama başkaları bunu yaptı. 1830'larla girildiğinde, James Joule'un da aralarında bulunduğu çok sayıda kişi pratik "elektromanyetik motorlar"ın performansını incelemeye başladı.



Çizim 11.1. Faraday'ın elektromanyetik dönüşü gösteren deneyleri. Kaynak: Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (Londra: Taylor and Francis, 1839), c. 2, levha IV.

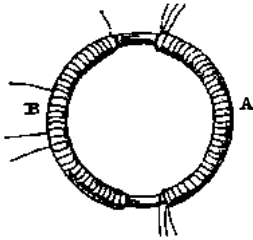
1821 tarihli makale ve bunun derhal kabul görmesi kutlamanın yanı sıra, Faraday'ı hedef alan bir aşırımcılık suçlamasına da vesile oldu. Tartışmanın konusu William Wollaston ile Davy'nin daha önceki başarısız ve yayımlanmamış girişimleriydi. Akım taşıyan bir teli mıknatıs etkisiyle kendi eksenini etrafında döndürmeye yönelik bu girişimler Faraday'ın deneyiyle tıpatıp aynı değildi ama Wollaston ile Davy'ye yakın birinin böyle bir çabanın hakkını teslim etmesini gerektirmeye yetecek bir benzerlik vardı. Faraday deneyini hemen yayımlama telaşı

içinde bu inceliği göstermemiştii ve şüpheler ortaya çıktı. Wollaston sonunda fırının dinmesine izin verdi ama Davy o kadar yüce gönüllü değildi. Faraday üç yıl sonra Kraliyet Bilim Derneği üyeliği için aday gösterildiğinde, Wollaston'ın verdiği desteğin aynını Davy'den alamadı. Davy'ye ait olduğu hiç kuşku götürmeyen tek karşı oyla üyeliğe seçildi. Usta besbelli ki bir ölçüde kıskançlığın ve kibrin etkisiyle öğrencisine kırılmıştı.

Ørsted'in deneyi elektromanyetik fenomeni gösteren ilk deney değildi. Daha önce François Arago ile André Marie Ampère, elektrik akımı taşıyan sarmal bir tel bobinin mıknatısa, bir "elektromıknatıs"a dönüştüğünü sergilemişlerdi. Faraday 1831'de sonuçlarını açıkladığı bir dizi deneyle, elektrik ve manyetizma arasında sarmal bobinin sağladığı bağlantıyı araştırdı. Böylece daha sonraları "elektromanyetik (ya da manyeto-elektrik) indüklemeye" adını verdiği etkiyi buldu. Bu indüklemeye bir demir halkanın etrafına sarılan iki tel bobinin arasında olmuştu. Bobinlerden biri elektrik akımı taşıyarak elektromıknatıs işlevini görürken, diğeri bir pusula iğnesinin üzerinden geçen bir bakır tele bağlanmıştı. Laboratuvar defterine kayd edildiği biçimiyle, Faraday'ın bu deneye ilişkin tipik titiz anlatımı şöyledir:

(Yumuşak demirden) bir demir halka yaptırdım. Yuvarlak olan demir çubuk 7/8 inç kalınlığındaydı ve halkanın dış çapı altı inçti. Etrafa birçok kangal sarıldı, bunların yarısı kınnap ve kalın bezle ayrıldı. Her biri yirmi dört fit uzunluğunda üç boy tel vardı ve bu teller tek bir boy halinde birbirine bağlanabileceği gibi, ayrı boylar halinde de kullanılabilirli. Bir olukta [volta bataryasında] yapılan denemelerle, bunlar birbirinden yalıtıldı. Halkanın bu tarafına A diyeceğiz [bak. Çizim 11.2]. Öbür tarafta bir aralıkla ayrılmış olarak, tel iki parça halinde sarıldı. Toplam uzunluğu altmış foot olan iki telin doğrultusu önceki kangallarla aynıydı. Bu tarafta B diyelim.

Dört inç karelik on çift levhadan oluşan bir batarya yüklendi. B tarafındaki bobinler tek bir bobin haline getirildi ve uzantıları (tel halkaya üç foot uzaklıkta-



Çizim 11.2. Faraday'ın ilk elektromanyetik indüksiyon deneyi. Kaynak: Henry Bence Jones, *The Life and Letters of Faraday* (Londra: Longmans, Green, 1870), 2:2.

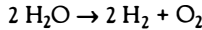
ki) bir mıknatıs iğnesinin hemen üstüne gelecek biçimde bir mesafeye doğru götürülen bir bakır telle birbirine bağlandı. Daha sonra A tarafındaki parçaların uçları bataryaya bağlandı: İğnede derhal hissedilir bir etki ortaya çıktı. İğne salınmaya başladı ve sonunda ilk konumuna gelerek durdu. A tarafının bataryayla bağlantısı kesildiğinde, iğne bir kez daha yerinden oynadı.

Bataryaya bağlandığında, A bobini bir elektromıknatıs haline gelir, bunun manyetik etkisi, mıknatıs iğnesinin (bir pusulanın) gösterdiği üzere, B bobininde bir elektrik akımını indükler. Bizzat Faraday'ın ve başka birçok kimsenin yıllarca gözden kaçırdığı kilit buluş, indüklenen elektrik akımının geçici olmasıydı: A bobini bağlandıktan sonra yalnızca kısa bir süre devam etmişti. Bir başka deyişle, indükleme yalnızca manyetik etki *değişirken* etkiliydi. A bobini bataryadan ayrıldığında, B bobininde bir başka geçici akım indüklenmekteydi.

Ørsted'in deneyi bir elektrik etkisinin yol açtığı manyetik etkiyi sergiliyordu. Faraday'ın ilk indükleme deneyi ise bunun tersini, bir elektromıknatıs içinde oluşan manyetik etkinin yol açtığı elektrik etkisini gösteriyordu. Bir başka indükleme deneyinde, Faraday elektromıknatısın yerine kalıcı bir mıknatıs koyarak aynı sonucu elde etti. İç boş bir mukavva silindirin etrafına sarmal bir tel bobin sardı, (elektrik akımını ölçmek için) bobini bir galvonometreye bağladı ve silindir biçimli kalıcı bir mıknatısı silindire hızla dokundurdu. Galvonometre bobinde elektrik akımının ancak mıknatıs hareket halindeyken meydana geldiğini gösterdi.

Tıpkı 1821'deki elektromanyetik dönüş deneyleri gibi, 1831'deki elektromanyetik indükleme deneyleri de belirgin pratik sonuçlar içermekteydi ve Faraday daha önce de olduğu gibi bunlardan yararlanamadı. İndükleme deneyi, elektrik üretmek için gerekli şeylerin yalnızca bir mıknatıs ve bir tel bobin olduğunu göstermişti. Günümüzde dinamo ya da elektrik jeneratörü dediğimiz makineler bu ilkeye dayanır.

1830'lar Faraday için verimli yıllardı. Elektromanyetik indükleme deneylerinden kısa bir süre sonra, çok önemli bir başka deneye girişti. Bu sefer Davy'den miras aldığı bir ilgi alanına, elektrokimyasal ayrışmaya odaklandı. Bu prototip deneyde, bir volta pilinden gelen elektrik akımı sudan geçirilir, hidrojen ve oksijen gazlarının iki telde toplanması sonucunda suyla elektrik bağlantısı sağlanır. Bu akımla ortaya çıkan kimyasal tepkime suyun (H_2O) hidrojen (H_2) ve oksijen (O_2) şeklinde ayrışmasıdır.



Bu etki ilk kez 1800'de saptanmıştı ve Faraday'ın elektrokimyaya yöneldiği 1830'larda gözlemlenmiş daha birçok elektrokimyasal ayrışma vardı.

Faraday önce bütün durumlarda üretilen kimyasal ayrışma miktarının, etkiyi üreten elektrik miktarıyla orantılı olduğu sonucuna vardı. Ayrıca belli miktarda elektrikle serbest bırakılan elementlerin kütlelerinin kimyasal eşdeğer ağırlıklarıyla orantılı olduğunu gözlemledi. (Bir elementin eşdeğer ağırlığı bir gram hidrojenle birleşen kütleye hemen hemen eşittir. Örneğin, H_2O 'da oksijenin eşdeğer ağırlığı sekiz gramdır.)

Faraday ikinci gözlemlinden yola çıkarak, "cisimlerin eşdeğer ağırlıklarının aynı ölçüde elektriği barındıran ya da doğal olarak aynı elektriksel gücü taşıyan

miktardan ibaret olduğu” sonucuna vardı. “Elektrik eşdeğer [ağırlığı] *belirler, çünkü* bileşik kuvveti belirleyen de odur.” 1834’te yapılan bu saptamalar şaşırtıcı ölçüde isabetliydi. Çözeltide birçok kimyasal maddenin ayrışarak her biri kendi eşdeğer ağırlığına sahip elektrik yüklü bileşenlere dönüşebileceği fikri temelinde fiziksel kimyacıların 19. yüzyıl sonunda geliştirdiği teoriler böylece 50 yılı aşkın bir süre önce öngörülmüş oluyordu.

Daha büyük bir önseziyle şöyle devam ediyordu Faraday: “Başka bir deyişle, atom teorisine göre ya da süslü cümlelerle belirtecek olursak, olağan kimyasal etkiler açısından birbirlerinin eşdeğeri olan cisimlerin atomları doğal olarak barındırdıkları eşit miktarda elektriği taşır.” Burada Faraday’ın yaptığı şey, sıvı çözeltilerdeki yüklü parçacıklar kavramını, yani günümüzün çözelti teorisine göre “iyon”ları formüle etmektir. Ama birçok çağdaşı gibi, Faraday’ın da atomculuk hakkında şüpheleri vardı: “İtiraf etmeliyim ki, *atom* terimini kısınıyorum. Her ne kadar atomlar hakkında konuşmak çok kolaysa da, doğaları hakkında berrak bir fikre varmak, özellikle de bileşik cisimler söz konusu olduğunda, epeyce zordur.” Bugünün bilgileriyle dönüp geriye bakıldığında, Faraday’ın yüklü atomlara, hatta bir elektrik atomuna (elektron) inanma cesaretini neden gösteremediği bizim için bir merak konusudur. Bu atamadığı bir adımdı, çünkü bir önermenin (birçok) deneysel olguyla desteklenmedikçe doğru sayılamayacağı yolundaki kendi bilgece sözüne aykırıydı. Faraday için hiçbir şey bundan daha önemli değildi.

Faraday’a elektromanyetik bilimini kurma payesini verebiliriz. Elektrokimyanın yukarıda belirtilen iki temel yasasını önermekle kalmadı, elektrokimya diline “elektrolit”, “elektrot”, “katot”, “anot”, “katyon”, “anyon” ve “iyon” gibi kavramları da kazandırdı. Faraday bu terimleri yaratırken, Cambridge Trinity College’da görevli William Whewell’den yardım almıştı. Crowther’ın işaret ettiği gibi, “[elektrokimyanın] ünlü terminolojisi Whewell’in mükemmel etimolojik zevkine çok şey borçluydu.”

Faraday 1837’de elektrokimyadan elektrostatığa geçti. Elektrokimya bulgularıyla doğrulanmış saydığı fikre göre, elektrik yüklenmiş iki cismin birbirine etkisi yalnızca yükün kendisine değil, iki cisim arasındaki ortama da bağlı olmalıydı. Bunun üzerine modern terminolojide “kondansatör” denen bir aygıt tasarladı. Bu aygıt gomalak yalıtımıyla elektriksel olarak birbirinden ayrılmış eşmerkezli iki pirinç küreden oluşuyordu. İçini açarak iki küre arasındaki boşluğu gaz, sıvı ya da katı haldeki yalıtıcı maddelerle doldurmak mümkündü.

Faraday bu tasarıma göre tıpatıp birbirine benzeyen iki kondansatör yaptırdı. Tipik bir deneyde, kondansatörlerden birini havayla, diğerini ise cam, kükürt ya da terebentin gibi maddelerle doldurdu. Daha sonra bir kondansatöre elektrik yükleyerek ve bunu diğerine bağlayarak, yükü iki kondansatör arasında bölmüş oldu. Son olarak bir elektrometreyle kondansatörlerin yüklerini ölçtü. Katı maddeyle dolu kondansatörün, havayla dolu kondansatöre göre her zaman daha fazla yük taşıdığını saptadı. Yüklü iki cisim arasındaki elektriksel etkileşimin yalnızca yüke ve aralarındaki mesafeye değil, aynı zamanda aralarındaki boşluğu dolduran

ortama, yani onun “dielektrik” dediği şeye dayandığının açık seçik kanıtıydı bu. Dielektrik, yani yalıtkan madde katı olduğunda, yükün bir kısmı yalıtkanın kendisine indükleniyordu. Faraday açısından, bu “elektrostatik indükleme” deneyleri elektrik kuvvetleri ile etkili oldukları ortam arasında sıkı bir karşılıklı bağlantı olduğunu ortaya koymaktaydı: Kuvvetler ortamı değiştiriyor ve ortam da kuvvetleri yayıyordu.

Faraday bedensel olarak her zaman güçlü kaldı. Dağlara çıkıp günde rahatlıkla 30 mil yürüyebilirdi ve Kraliyet Enstitüsü’nde devamlı meşguldü. Trajik zafarı ise, kendi ifadesine göre, “kafasıyla ilgili maraz”dı. Daha gençken bile, hafıza sorunları vardı ve yaşlandıkça bunalım nöbetlerinden ve başağrılarından muzdarip oldu. “Ne zaman durgun ve keyifsiz olursa, ki bazen aşırı boyuta varırdı bu” diye hatırlıyor yeğeni Constance Reid, “teyzem onu birkaç günlüğüne Brighton’a ya da başka bir yere götürürdü ve genellikle yeniden zindeliğe kavuşmuş ve canlanmış olarak dönerlerdi geriye.”

Bu semptomların şiddeti ve sıklığı gittikçe arttı ve sonunda 1840’ta, henüz kırk dokuz yaşındayken önemli bir sinir rahatsızlığı geçirdi. Brighton tatilleri de artık derman olmuyordu. Dört yıl boyunca araştırma faaliyetlerinden çoğunu bıraktı. Yaşadığı çaresizlik, arkadaşı Christian Schonbein’a 1843’te yazdığı mektupta görülebilir: “Sana bir mektup yazmaya başlamam gerekiyor ama genelde olduğu üzere, keyif kaçırıcı sinir nöbetlerimden birinin ortasında, hafızam bana ihanet ediyor ve cümlelerin sonuna geldiğimde cümlelerin başını hatırlayamıyorum. Elim irademi tanımaz hale geliyor, öyle ki harfleri bir araya getiremiyorum, bir tür tutukluk içinde kıvranıyorum, bu yüzden lafın sonunu tutarlılıkla getirebilir miyim acaba, pek bilemiyorum.”

Buna rağmen geri döndü. 1845’te, yeniden laboratuvarındaydı ve taçlandırıcı başarılarından birine doğru yaklaştı. Bu çalışmaya o sırada bir Cambridge öğrencisi olan William Thompson’ın mektubundaki bir öneri üzerine girişti. Thomson onun zaten aşına olduğu elektriğin yalıtkanlar üzerindeki etkilerinden söz etmiş ve ardından saydam bir yalıtkanın elektriksel gerilmesinin yalıtkindan geçen kutuplanmış ışığa bir etkide bulunabileceği fikrini ortaya atmıştı.

Işık kutuplanması fenomeni uzun yıllardan beri biliniyordu. Bu durum özellikle yansıtılmış ışıkta gözlemleniyordu ve ışık dalgalarını oluşturan titreşimleri belirli bir düzlemlerle kısıtlayıcı bir süreç olarak anlaşılıyordu. Thomson’ın mektubundan yaklaşık on yıl önce, Faraday elektrik yüküyle gerilmiş bir yalıtkindan geçen ışık demetinin kutuplanma düzleminde bir değişim olup olmadığını saptamaya çalışmıştı. O sırada elde ettiği sonuçlar olumsuzdu. Thompson’a cevabında şunu belirtti: “Bir ucundan öbür ucuna indükleme gerçekleşirken, dielektriğin kendine özgü bir duruma girdiğine hâlâ sıkı sıkıya inanıyorum.” Böylece bu kaçamaklı etkiyi araştırma heyecanına bir kez daha kapıldı ama kutuplanmış ışık üzerindeki elektriksel etkileri incelemeye dönük ilk araştırmasında yaptığı değişiklikler bir işe yaramadı. Derken güçlü bir miknatısın katı bir yalıtkanı gerebileceği ve böylece kutuplanmış bir ışık demetinin geçişini yeterince sağlayabileceği fikri aklına gelifverdi.

Faraday 1845'te bu tahminden yola çıkarak bir dizi deneye başladı. Kutuplanmış ışıktan geçen katılar için çakmaktaşı camını, kayaç kristalini ve kalkerli sparı denedi, elektromıknatısa beslenen akımda ve kutupları yerleştirmiş düzleminde değişiklikler yaptı. Yine sonuç sıfıra sıfırdı. Ardından on beş yıl önce hazırladığı bir kurşun cam parçasını denedi ve kıvılcımın çıktığı an geldi:

Kurşundaki silisli borakstan yapılmış, en kısa iki kenarı perdahlanmış 2 ile 1,8 inç boyutlarında ve 0,5 kalınlığında ... bir ağır cam parçasıyla ... deney yapıldı. Aynı manyetik kutuplar ya da ters kutuplar (kutuplanmış ışının izlediği yol açısından) karşıt taraflarda olduğunda, [cam parçası] hiçbir etki yaratmadı. Gerek sürekli, gerek aralıklı akımla aynı kutuplar aynı tarafa konduğunda da yine öyle oldu AMA ters manyetik kutuplar aynı tarafta olduğunda, kutuplanmış ışın üzerinde bir etki yaratıldı ve böylece manyetik kuvvet ile ışığın birbiriyle ilişkisi içinde olduğu kanıtlandı. Bu olgu çok büyük ihtimalle son derece verimli sonuçlar doğuracak ve doğal kuvvetlerin her iki durumuna ilişkin araştırmalarda büyük yarar sağlayacaktır.

Aynen öyle oldu. Faraday ışık ile manyetizma arasında bir bağlantı olduğunu ortaya koymuştu. Bu ilk adım 19. yüzyılın en büyük teorik başarılarından birine giden yolu açtı. Faraday'ın hazırladığı zemin üzerinde Maxwell'in yürüttüğü çalışmalarla elektromanyetik ışık teorisine ulaşıldı.

Faraday okurlarına, yazıttığı kişilere ve konferanslarını dinleyenlere somut deneysel olguların ağırsanamaz önemini anlatmaktan hiç bıkmıp usanmadı. "Kendim görmeden bir olguya sahip çıkmaya hiç kalkışmadım" diye yazmıştı bir arkadaşına, meslek yaşamının sonuna doğru. Meslektaş Auguste de la Rive'e yazdığı bir mektupta da şunları aktarıyordu: "Gençliğimde hayal gücü çok canlı bir kişiydim. *Ansiklopedi* kadar *Binbir Gece Masalları*'na da kolayca inanıverirdim. Ama olgular benim için önemliydi ve bu sayede kurtuldum. Ancak bir olguya güvenebilirdim." Olgular deneylerin armağanıydı. "Deney olmadan ben bir hiçbir" diyordu Faraday. Deneylerin sonu da gelmiyordu: "Hâlâ uğraşıyorum. Neyin mümkün olacağını kim bilebilir ki?" Bir konferansını dinleyenlere söylediği şeyse şuydu: "Ben bir şair değilim ama konuşmam ilerlerken, sizler kendi başınıza düşünceye dalarsanız, olgular zihninizde bir şiir halini alacaktır." Şiir sanatında Faraday'ın dehasının başka bir yanını görürüz.

Felsefeci

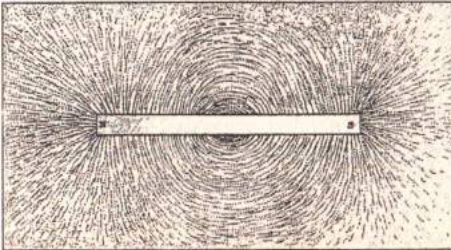
Yirminci yüzyıl felsefecisi ve tarihçisi Isaiah Berlin ünlü bir makalesinde düşünürleri "tilkiler" ve "kirpiler" diye ikiye ayırır: Tilkiler birçok şeyi, kirpiler ise tek bir önemli şeyi bilir. Faraday ise her ikisi birdendi. Bir deneyci olarak yukarıda belirtilenleri ve daha fazlasını öğrenmişti (Bence Jones onun yalnız elektrik araştırmalarında uğraştığı yirmi iki konuyu sayar). Ama bir teorisyen olarak, tek bir önemli şey öğrendi ve öğretti: Ona göre, doğanın bütün kuvvetleri birbiriyle bağlantılıydı. "Herhangi birinin diğerlerinin nedeni olduğunu söyleyemeyiz ama hepsinin birbiriyle bağlantılı olduğunu ve ortak bir nedene dayandığını söy-

leyebiliriz" demişti Kraliyet Enstitüsü'nde 1834'te verdiği bir konferansta. Manyetizmanın ışığın üzerindeki etkisiyle ilgili buluşunu bildiren 1845 tarihli makalesinde şöyle yazmıştı: "Uzun zamandır neredeyse bir inanca dönüşmüş bir görüşü savunuyorum; ... maddenin kuvvetlerinin tezahürünü sağlayan çeşitli biçimlerin ortak bir kökeni var. Ya da başka bir biçimde söyleyecek olursak, aralarında öylesine doğrudan bir ilişki ve karşılıklı bağımlılık var ki, bunlardan biri diğerine aynen dönüşebilir ve hepsi eşdeğer kuvveti taşır." 1849'da da şöyle demişti: "Son yıllarda fizik biliminin gayretleri yalnızca doğal kuvvetlerin varlığını değil, birbirleriyle bağlantılı oluşlarını, yarattıkları etki açısından her birinin evrenselliğini ve muhtemelen *teklikte birlik* özelliklerini ortaya çıkarma yönünde olmuştur."

Bunlar muğlak genellemeler değildi. Faraday'ın deneyleri, ona doğanın kuvvetlerine ilişkin berrak bir tablo sunmuştu. Manyetik kuvvetlerin bir mıknatıs çevresindeki boşlukta izlediği yolun haritasını çıkarmak mümkündü. Bu iş mıknatıs üzerine yerleştirilen bir kâğıt parçasına demir tozları serperek yapılabilirdi. Nitekim, tozlar manyetik "kuvvet çizgileri" boyunca uzanan bir hizada dizildiler (Çizim 11.3). Faraday manyetik kutuplar arasındaki kuvvetin bu çizgiler boyunca yayıldığını varsaydı. Thomson 1849'da Faraday'ın kuvvet çizgilerinden oluşan bütün şebeke için, günümüzün vazgeçilmez bir terimini, "kuvvet alanı" ya da kısaca "alan" terimini ortaya attı.

Demir tozlar manyetik kuvvet çizgilerinin kıvrımlı olabileceğini gösteriyordu. Ørsted'in deneyinde ise çizgiler, akım taşıyan telin merkezde olduğu daireleri izliyordu. Kuvvet çizgilerini belirleyen bir başka şey elektromanyetik indükleme yasalarıydı. Kural olarak, manyetik kuvvet çizgilerini kesen bir telde elektrik indükleniyordu ve akımın büyüklüğü kuvvetin çizgilerinin kesiş hızına bağlıydı. Bu tarz indükleme, Faraday'ın sarmal tel bobinle ve araya konan mıknatısla yaptığı deneyde özellikle belirgindi: Mıknatıs hareket ettikçe, bobindeki tel, mıknatısın taşıdığı kuvvet çizgilerini kesiyor ve bir akım indükleniyordu.

Faraday demir tozların manyetik alana tepkisinde gördüğü şeyleri genelleştirerek elektrik ve yerçekimi alanlarına uyguladı. Bu kuvvet çizgilerinin görünüşünü elde etmek için elinde demir tozlara benzer bir araç yoktu ama orada olduklarını, etkileşen cisimler arasındaki uzayda -hatta başka bakımlardan boş bir uzayda- yer kapladıklarını varsaydı.



Çizim 11.3. İnce demir tozlarının izlediği manyetik kuvvet çizgileri. Kaynak: Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (Londra: Taylor and Francis, 1855), c. 3, levha IV.

Bütün bunlar Faraday'ın 19. yüzyılda karşılaştığı ve büyük ölçüde Newton fiziğine dayalı teorik fizikten köklü bir kopuş anlamına geliyordu. Yüzyılın başında, Newtoncu anlayış tartışmasız doğru sayılıyordu. Dünya elektrik, manyetizma ve yerçekimi fenomenlerinde kendilerini dışı vuran kuvvetler uyarınca etkide bulunan bir parçacıklar sistemi olarak görülüyordu. Bu kuvvetlerin hepsi herhangi bir aracı etki olmaksızın dosdoğru bir cisimden ötekine aktarılıyordu ve matematiksel olarak Newton'un üç yasasıyla belirleniyordu. Işık teorileri farklı bir kategoride olmakla birlikte, aynı biçimde parçacık modellerine bağlıydı.

Geçerli Newtoncu görüşe indirilen ilk darbe, 1830'larda ışığa ilişkin parçacık teorisini yıkıp yerine dalga teorisini geçiren Thomas Young ile Augustin Fresnel'den gelmişti. Dalgalar başka bir problemi gündeme getirdi. Bunlar birer titreşim olarak tasarlanıyordu. Ama neyin titreşimiydiler? Bu soruya cevap vermek için, teorisyenler şaşırtıcı bazı özelliklere sahip, ağırlığı olmayan "esir" diye tuhaf bir madde icat ettiler: Esir, olağan maddenin içinden hiç sürtünme olmaksızın tamamen geçebiliyor ve ışık dalgalarındaki titreşimlerin son derece yüksek frekanslarına dayanabiliyordu.

Esir hipotezi dönemin ağırlıksız maddeye dayalı tek teorik aracı değildi. Isı teorilerinde "kalorik" denen ağırlıksız bir sıvı revaçtaydı, elektrik ve manyetizma da ağırlıksız sıvılar olarak ele alınıyordu.

Faraday bu teorik kurmacaların hiçbirine pek sempatiyle bakmıyordu. Esir kavramına ve ağırlıksız sıvılara karşı çıktı, Newton'un elektriksel, manyetik ya da kütleçekimine bağlı bir kuvvetin boş uzaydan geçerek bir cisimden diğerine ulaşabileceğini belirten "bir mesafede etkiye" ilkesini kabul etmeye yanaşmadı. Onun dünya görüşüne göre, uzay, kuvvet çizgilerinden oluşan alanlarla doluydu: bir elektrik yüküyle bir elektrik alanı, bir mıknatısın kutuplarıyla bir manyetik alan ve bir kütleli nesneyle bir kütleçekimi alanı yaratılıyordu. Bir başka cisim bu alanlardan birine tepki verebilirdi ama bir mesafede olamazdı bu. Tepki yereldi, ikinci cismin bulunduğu alanın durumuna göreymi. Dönemin teorik fizikçilerinden John Wheeler, kütleçekimi alanıyla ilgili olarak, muhtemelen Faraday'ın doğru bulacağı şöyle bir tablo sunuyor bize:

Sözelimi, Güneş'in uzay içinde dışı doğru yayılan bir kütleçekimi alanı yarattığı söylenebilir. Bu alanın şiddeti Güneş'ten uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır. Dünya bu kütleçekimi alanını yerel olarak, yani tam bulunduğu yerde "his-seder" ve Güneş'e doğru ivme göstererek buna tepki verir. Bu açıklamaya göre Güneş, boş uzay içinde yetişerek Dünya'yı etkilemekten çok, Dünya'ya çekim mesajını gönderir. Dünya ta ötelede, 93 milyon mil uzaklık bir güneş bulunduğunu "bilmez", kendi bulunduğu yerde bir kütleçekimi alanı olduğunu "bilir" yalnızca. Her ne kadar aşağı yukarı esir kadar hafif olsa da, bu alanın fiziksel bir gerçekliğe sahip olduğu söylenebilir. Yer kaplayan, enerji içeren ve varlığıyla gerçek bir boşluğu ortadan kaldıran bir şey bu. O halde günlük konuşmadaki boşluğu maddeden yoksun bir bölge olarak tanımlamakla yetinmeliyiz, alandan da yoksun saymamalıyız.

Faraday'ın teorileri sapkıncaydı ve çağdaşları arasında pek rağbet görmedi. "Kuvvet çizgisi kavramına tepki sırf kayıtsızlıktan ibaret değildi" diye yazar Williams, "dosdoğru düşmancaydı, özellikle de Faraday kütleçekimini de buna katmaya çalışınca. ... *Athenaeum* onun tekrar Kraliyet Enstitüsü'ne dönmesini ve Laplace fiziğinin derin sularına bir kez daha dalmadan önce altıncı sınıf matematiğini çalışmasını önerdi." Faraday altmış dört yaşında olduğu 1855'te, yeğeni Constance Reid'a şöyle demişti: "Fiziksel kuvvet çizgisini ne kadar az insan anladı! Bunları görmeye bir türlü yanaşmıyorlar, oysa konuya ilişkin bütün araştırmalar benim yıllar önce ortaya koyduğum görüşleri doğrular yönde. Glasgowlu Thomson sanki tek anlayabilmiş kişi gibi görünüyor. O belki de ne kastettiğimi anlamaya en fazla yaklaşan kişi. Görüşlerimin doğru olduğuna emin olduğum için, beklemeye razıyım ben."

Faraday'ın teorilerine karşı çıkılıyordu, çünkü bunlar devrimciydi ve de bu özellik direnişle karşılaşmak için zaman yeterli nedendir. Üstelik Faraday teorisyen meslektaşlarının iştmei beklediği sofistike matematiksel dille konuşan biri değildi. Temel aritmetik ötesinde bir matematik eğitimi yoktu, matematiksel metotları Galileo'nunkilerle neredeyse aynıydı. Faraday'ın döneminde bu alında yaratıcılık için bir avantaj sayılabilirdi. Yirminci yüzyılın büyük alan teorisye-ni Albert Einstein daha sonraları alan kavramının "son derce özgün bir zihnin, formüllere hiç takılıp kalmayan bir zihnin" ürünü olduğunu söyleyecekti. Ancak, Faraday'ı okuyan ve dinleyen kişilere göre teorik fizik matematiksel fizik olmaydı.

Faraday'ın en büyük talihi iki genç izleyicisinin -anlaşıldığı kadarıyla tek başlarına- kuvvet çizgileri ve alan kavramlarına inanmaları ve uygun matematiksel dilde alan teorilerini kurmak için gerekli bütün donanımına sahip olmalarıydı. Bu matematiksel fizikçilerden biri, yeğenine mektubunda bahsettiği William Thomson'dı. Faraday'ı büyük ölçüde memnun eden bir gelişmeyle, Thomson 1845'te, daha yirmi bir yaşındayken, elektriksel kuvvet çizgilerini matematiksel bir teoriyle formüle etti. Gözlerini alan teorisine diken diğer matematiksel fizikçi, Faraday'ın ölümünden kısa bir süre önce harika elektromanyetik ışık teorisini yaratan James Clerk Maxwell'di. *Treatise on Electricity and Magnetism* (Elektirik ve Manyetizma Üzerine İnceleme) adlı eserinin önsözünde, Maxwell kendi teorisinin ortaya çıkışını anlatarak, Faraday ile Thomson'a şükran borcunu şöyle teslim eder:

Faraday'ın ve matematikçilerin fenomeni kavrayış biçimleri arasında bir farklılığın beklenir bir şey olduğunun farkındaydım, öyle ki her iki taraf da birbirinin dilinden memnun değildi. Dahası, bu uyuşmazlığın iki taraftan birinin hatalı olmasından kaynaklanmadığı kanısındaydım. Beni buna inandıran ilk kişi, konuya ilişkin öğrendiğim şeylerin çoğunu öğütlerine ve desteğine, ayrıca yayımlanmış makalelerine borçlu olduğum Sir William Thomson'dı.

Faraday'ın çalışmalarını incelemekte yol alınca, matematiksel sembollere da-

yalı alışlagelmiş kalıpla ortaya konmamış olsa bile, onun fenomeni kavrayış metodunun da matematiksel olduğunu anladım. Ayrıca bu metodların sıradan matematiksel kalıplarla ifade edilmeye ve böylece meslekten matematikçilerin kalıplaıyla karşılaştırılmaya elverişli olduğunu anladım.

Maxwell “konuyla ilgili matematiksel şeyleri” okumadan önce, bilinçli olarak Faraday’ın *Experimental Researches in Electricity* eserini okuduğunu da ekliyordu.

Buradaki anlatımımız, Faraday’ın önce deneyci, sonra da teorisyen olduğu, yani tabir yerindeyse hayatında iki ayrı bilimsel evre bulunduğu izlenimini verebilir. Ancak, onun tek bir bilimsel hayatı vardı, bu hayatta deneyler ve teorik kestirimler arasında oldukça yaratıcı bir etkileşim söz konusuydu. Deneyler teorileri ortaya çıkardı ve teoriler de deneylere yol gösterdi. Biri olmadan, diğer uğraş başariya ulaşamazdı. Deneysel ve teorik alanlarda eşzamanlı ve yaratıcı biçimde çalışabilmek az görülen bir yetenektir. Bu kitapta ele alınan kişiler arasında, böyle bir özelliğe Faraday dışında yalnızca birkaç fizikçi, belki Newton ve Fermi sahipti. Einstein, Gibbs, Maxwell, Boltzmann ve Feynman teorisyenlerin en önde gelenleriydi ama yaratıcı deneyselci değillerdi.

Ev Hayatı

Faraday’ın eşi Sarah bazı yönlerden kocası kadar dikkate değerdi. Faraday’ın yanardağ enerjisini denetim altında tutmada, herkesten daha fazla yatıştırıcı etkiye sahipti. Williams bize onun Faraday’ın hayatındaki vazgeçilmez rolünü şöyle bir tabloyla aktarır: “Faraday için Sarah Barnard kusursuz bir eşt. Faraday’ın ve başkalarının anlatımlarından, sıcak ve etkileyici bir insan olarak karşımıza çıkar. Annelik duygularıyla yüklüydü, kendi çocuğu olmadığından, yeğenlerinin ve Faraday’ın üstüne düşüyordu. Bu tam olarak Faraday’ın ihtiyacı olan şeydi. Faraday çoğu zaman laboratuardaki işleriyle o kadar çok meşgul oluyordu ki, yemek saatlerini bile unutuyordu. Bayan Faraday sessizce ona hizmet ediyor ve sağlığının bozulmaması için dikkat ediyordu.”

Akıllica bir tavırla, kocasının çalışmalarını takip etmeye kalkışmadı. Bilim “zaten onu o kadar kendine çeken ve heyecanlandıran bir şey ki, çoğu kez onu uykusundan ediyor ve ben de onun zihninin yastığı olmaktan oldukça memnunum” diyordu yeğenine. Faraday kırk yedi yaşında olduğu 1838’de Sarah’a Liverpool’dan şöyle yazmıştı: “Hiçbir şey seninle birliktelik kadar beni dinlendirmiyor. Şimdi bile yazarken bunu hissediyorum ve yazdığım kelimeleri yüksek sesle söylerken yakalıyorum kendimi, sanki sen burada bunları dinliyorsun gibi.” Çok sonraları, 1863’te sağlığı kötüye giderken, Sarah’a yazdıkları ise şöyleydi: “Kafam dolu, kalbim de öyle, hatıralarım hızla dağılıp gidiyor, hatta burada, oda da bulunan arkadaşlarımla ilgili olanlar bile. Geçmişteki gibi zihnimin yastığı olma işlevine dönmen, rahatlatıcı ve mutluluk verici eş olmaya devam etmen gerekecek.”

Faraday çifti çocuksuzdu ama çocuklara olağanüstü düşküncü. İki yeğen Constance Reid ve Jane Barnard bu boşluğu sık sık dolduruyordu. Bu muhabbet-

ten Faraday kadar onlar da hoşlanıyordu. “Günün meşgul saatleri sona erince, laboratuvarı ziyaret bir zevkti bizim için” diye yazmıştı Constance Reid günlüğüne. “Onu genelde önlüğü deliklerle dolu, yoğun biçimde araştırmalarına dönük deneylerle uğraşırken bulurduk. Eğer çok meşgulse, yalnızca başıyla selam verirdi. Yazı tahtasına not düşüp bizimle konuşmak üzere dönene kadar, teyzem ile ben uzakta sessizce otururduk, bazen de deneyini bitirmek için yarım saatlik sakin bir çalışmaya izin vermemizi şart koşarak, daha sonra yukarıya çıkmaya ve akşamı bizimle bilardo oynayarak bitirmeye razı olurdu. Hüner gerektiren bütün oyunlara meraklıydı ve her zaman da bunların üstesinden gelirdi.” Bazı genç ziyaretçilerle enstitünün konferans salonunda saklambaç oynar ve daha sonra onları di-yapazon ve çınlayan camlarla eğlendirirdi. Biyografisini yazanlardan birinin gözlemlediği gibi, “ruhuyla hâlâ bir çocuktur.”

Konuşmalar

“Faraday ve Kraliyet Enstitüsü birbirlerine oldukça yakışıyordu. Doğrusu Britanya bilim dünyasında Faraday’ın serpilip gelişebileceği başka bir yer yoktu. Aynı binada hem özel hem de kamusal rollerini oynama olanağına sahipti” diye yazar yakın dönemdeki biyografılarından Geoffrey Cantor. Enstitüde Faraday üç mekânı işgal ediyordu: Üst kat, alt kat ve bodrum. Üst katta Faraday’ın 1862’de emekli olmasına kadar çiftin kaldığı daire vardı. Alt katta halka açık odalar, kütüphane ve konferans salonu, bodrum katında ise laboratuvar vardı. Şimdiye kadar Faraday’ı laboratuvarı ve üst kattaki dairesinde gördük. Şimdi onu alt katta, konferansçı ve öğretmen olarak göreceğiz.

Faraday 1826’dan emekliye ayrıldığı tarihe kadar, halktan izleyiciler için “Cuma Akşamı Konuşmaları” adını verdiği bir dizi konferans verdi. Bu konferansları ciddiye alırdı: Prova yapar, kılı kırk yarar ve zamanlamasını geliştirmek için kartlar hazırlardı. Çok rağbet gören konferansların sağladığı gelir, enstitünün köklü mali sorunlarının hafiflemesini sağladı. Bu ve başka konferanslar, Faraday’ın “gerçekten öğretici konferanslar asla popüler olamaz, popüler olanlar ise asla gerçekten öğretici olamaz” kuralını çürüten örneklerdi.

Enstitüye daha büyük bir iyilik, Faraday’ın çocuklar için verdiği “Noel Konferansları”ydı. Bu konferanslar kısa sürede Londra’nın üst tabakasının dikkatini çekti. Dinleyiciler arasında Galler Prensi Albert Edward da vardı. Noel Konferansları dizisinin en ünlüsü “Mumun Kimyasal Tarihi”, daha sonra kitap olarak yayımlandı ve birçok dilde sayısız baskısı yapıldı. Kitap Faraday’ın genç dinleyicileriyle ve doğayla hoş bir diyaloga girmiş olduğunu gösterir. “Doğa felsefesi alanına girmek için, bir mumun fiziksel fenomenleri üzerine düşünmekten daha iyi ve daha açık kapı yoktur” diye başlar. Araya çok sayıda heyecanlı fıkra katarak, mumların nasıl yapıldığını, nasıl yandığını gösterir, alevin ısı ve kimyasal yapısını açıklar, yanmanın kimyasal tepkimelerini tanımlar ve sonunda dinleyicilerini elektrokimyanın, solunumun ve atmosfer kimyasının gizemlerine götürür. Alelade bir mumdan yola çıkarak, genç dinleyicileri kadar kendisi için de bir bilim dünyasını ortaya koyar.

Sandemancı

Dinsel inancının doğa felsefesine etkisini soran birine cevaben yazdığı mektuptaşunu belirtmişti Faraday: “Benim dinimde felsefe yoktur. Ben çok küçük ve hor görülen bir Hristiyan tarikatının, herkesin bildiği üzere *Sandemancılar*’ın mensubuyum ve bizim umudumuz İsa’ya inançta yatar.”

Mensuplarının Glasitler diye anıldığı İskoçya’da ortaya çıkan bu tarikat, daha sonra Yorkshire yöresine ve İngiltere’nin başka kesimlerine yayılmıştı. Faraday’ın zamanında tarikatın üye sayısı Londra’da yüz, toplamda altı yüz civarındaydı. “Sandemancılık mensuplarından çok ağır isteklerde bulunur” diye yazar Cantor. “Yarı gönüllülere ya da Hristiyanlık’ı yalnızca Pazar günleri uygulamak isteyenlere göre değildir. Aslında bir hayat tarzıdır. Faraday 1821’de yirmi dokuz yaşındayken yaptığı iman ikrarıyla, *Kitabı Mukaddes*’te ortaya konmuş davranış kurallarına göre yaşamaya ve İsa’nın kusursuz örneğini izlemeye yemin etti. Sandemancılar *Kitabı Mukaddes*’te ortaya konmuş kurallara sıkı sıkıya uyarlar ve tarikatın katı disiplin anlayışı baştan çıkanları tekrar doğru yola döndürmeyi ya da dışlamayı, alışlagelmiş münasip dille belirtmek gerekirse, böyle kişilerle ‘birlik-teliğe son vermeyi’ sağlar.”

Sandemancılar’ın inançları ve uygulamaları genel İngiliz dinsel anlayışından oldukça uzaktır ve tahmin edileceği üzere, bu durum diğer mezheplere bağlı olanların düşmanca tavrına yol açmıştır. Faraday’ın muhatabına söylediği gibi, Sandemancılar kendilerini hor görülen bir tarikat sayar ve bu kadere rıza gösterirler, çünkü İsa’nın da kendi çağdaşlarıncı yalnız bırakıldığını ve hor görüldüğünü düşünürler.

Faraday 1840’ta kilise büyükleri arasına girdi. Hayatında büyük öneme sahip bir olaydı bu. Yaklaşık dört yıl sonra, hâlâ açıklığa kavuşmamış nedenlerden ötürü, kısa bir süre için kiliseden dışlandı. Biyografi yazarlarından J. H. Gladstone’a (7. Bölüm’de Thomson’la ilgili çarpıcı izlenimleri yer alan Margaret Gladstone’un babası) göre, Faraday 1844 yılının başlarında bir Pazar günü kraliçenin davetini kabul etmiş ve bu yüzden cemaatin o günkü toplantısında hazır bulunamamıştı. Yokluğunun gerekçesini açıklaması istenince, kendi anlayışına göre kraliçenin emrinin daha önce geldiğinde ısrar etmişti. Bu, beklenen nedamet ifadesi değildi.

Cantor bu anlatıma karşı çıkarak, Faraday’ın dışlandığı dönemde, erkek kardeşi, yengesi ve kayınpederi de dahil olmak üzere tarikat mensuplarının neredeyse yüzde 20’sinin dışlandığına işaret eder. Dahası, Faraday’ın söz konusu günde kraliçeyi gerçekten ziyaret ettiğine dair bir kanıt bulamadığını bildirir. Her ne olursa olsun, Faraday’ın dışlanmanın acısını çekti ve Schönbein’e bu kararın “sağlığını ve ruhsal durumunu bozduğunu” yazdı. Kısa bir süre sonra tekrar tari-kata alındıysa da, on altı yıl boyunca kilise büyüğü olarak seçilmedi.

Faraday’ın inancı besbelli ki derin köklere sahipti ve felsefesinde dine yer olmadığı itirazına rağmen, bu inanç onun metafiziğini, metafiziği de fizikini yönlendirmiş olmalıdır. Evrenin ilahi esinle doğmuş bir yapısı olduğuna inanıyordu. Ona göre, evrenin bütünlük ve simetri kalıplarını dışa vurmaması olacak şey de-

ğildi. Bazen tek bir konuya yıllarını harcayarak, doğal kuvvetlerdeki bu kalıpları aradı. Çoğu kez olduğu üzere, sonuca ulaştığı zaman, dinsel inancı güçlenip derinleşiyordu.

Son Yılları

Faraday 1841-1845 arasında hastalığını atlatmaya çalışırken bir ölüm kalım çizgisinden geçti. Bu aslında “zihnen” bir dinlenme dönemi idi, yoksa bakımlardan her zamanki gibi aktifti. 1841’de Sarah’la birlikte İsviçre’ye gitti. Orada bazen olağanüstü bir tempoyla dağ yollarında uzun yürüyüşler yaptı. Bir seferinde engebeli bir arazide, on buçuk saatte kırk beş mil yürüdü. “Kaslarım bir parça tutuldu ve yalnızca küçük bir su kabarcığının farkına vardım” diye not düştü günlüğüne bu gezintinin sonunda. Arkasından da şunu ekledi: “Aynı ölçüde hafıza için, böyle bir sağlamlığın yarısını seve seve verirdim. Peki ama, bununla ne yapacağım ben? Öpüp de başına koy.”

Gerçi laboratuvarın dışındaydı ama doğayla diyalogunu sürdürmekteydi. En gözde doğa olaylarından biri olan sağanak yağıştan duyduğu hazı günlüğüne şöyle aktarmıştı: “Sabah güneşli ve güzeldi, öğleden sonra fırtınalı ve yine aynı ölçüde güzeldi. Daha önce hiç görmediğim bir güzellikti bu. Bir fırtına koptu, dağların bir kısmını saran koyu karanlık, başka bir kısmındaki parlak güneş pırıltıları, uzaktaki ormanların zümrüt ışıltıları ve bulutların altındaki açıklık alanlar muhteşemdi. Derken şimşek çaktı ve Alp gök gürültüsü bütün güzelliğiyle gümürdüdü. Bütün bunlara son noktayı koyarcasına, parlak bir ışık biraz uzağımızdaki kiliseye çarparak yangına yol açtı. Neyse ki yangın çabuk söndürüldüğünden, ciddi bir hasara yol açmadı.” Jungfrau [Genç Kız] doruğundan kopup gelen bir çığın sesi ve hışımlı karşısında duyduğu hayranlığı anlatışı ise şöyle:

Arada bir gürleyen çığlar. Bu çığların çıkardığı ses son derece nazenin ve huşu dolu. ... Çığın görüntüsüne gelince, böyle bir uzaklıktan dehşet verici değil, enfes. Başlangıç aşaması nadiren görülebiliyor ama önce kulak size tuhaf bir şeyin meydana geldiğini anlatıyor. Ardından bakış o tarafa dönünce gözler yuvarlanan bir kar butlu görüyor. Bazen de az önce bir su ivintisi olan şey patırtılı ve dalgalı bir kar, buz ve sıvı furyası haline bürünüyor. Bu coşkun akıntı hava boşluğundan inerken katılmış bir suyu andırıyor ama aşağıdaki yığınların eğimli yüzeylerini hızla aşarken macun gibi hareket ediyor, arkasındaki kütlelerin birikmesine ya da dağılmasına bağlı olarak kâh duruyor, kâh ilerliyor.

Bir başka gözde doğa hazlarından biri olan gökyüzündeki renk oyunlarının Alp ortamına özgü bir sergisinden duyduğu keyif yine günlüğüne şöyle yansıyor: “Son derece hoş bulut etkileri art arda sahneye çıkıverdi. Masmavi gök bazı yerlerde karlı doruklarla ve bulutlarla çok tuhaf katışımlara giren bir görüntü aldı. O akşam gökyüzünde temaşa ettiğimiz hoş renk oyunlarının ihtişamıyla boy ölçüşebilecek başka bir sahne yok dağarcığımda. En üst kusursuzluğa varmış karlı zirvelerde kısa bir süre için gül pembesi tonu bile ilişti gözlerimize.”

Faraday 1845'te kısmen iyileşmiş halde laboratuvarına dönerek, ı ışık üzerindeki manyetik etkileri incelemeye koyuldu. Aşağı yukarı aynı sıralarda, başarısızlıkla sonuçlanan bir dizi deneye girişti ama bu başarısızlık başka insanların başarıları kadar ilginçti. Diğer doğal kuvvetler arasında bulunduğu bağlantılardan ilham alan Faraday, kütleçekimini de bu korelasyonlar arasına katabileceğini umuyordu. Laboratuvar defterine şöyle yazmıştı: "Kütleçekimi. Bu kuvvetin elektrik, manyetizma ve diğer kuvvetlerle bir deneysel ilişkiye kesinlikle elverişli olması lazım; böylece onları karşılıklı eylem ve eşit etki içinde birbirine bağlayabiliriz." Faraday bir dizi deney yapmayı tasarladı ve bazı şüphelere kapılmaya başladıysa da, bunları hemen kafasından kovdu: "BÜTÜN BUNLAR BİR RÜYA" diye not düştü laboratuvar defterine. "Hâlâ birkaç deneyle bunu inceliyorum. Eğer doğanın yasalarıyla tutarlıysa, hiçbir şey doğru olamayacak kadar hayret verici olamaz. Kaldı ki bu tür işlerde tutarlılığın en iyi sınaması deneydir."

Ancak, kütleçekimi kuvveti diğer kuvvetlerle "bir araya gelmeyi" reddetti. Faraday çalışmayı bildiren makalesinin sonuna "Sonuçlar olumsuz" diye yazdı ama ardından şunu ekledi: "Bu durum kütleçekimi ile elektrik arasında bir ilişkinin var olduğu yolundaki güçlü hissimi sarsmıyor." On yıl sonra tekrar denedi ve son makalesini hemen hemen aynı kelimelerle bitirdi.

Faraday kütleçekimini diğer kuvvetlerle birleştirecek bir teorenin peşine düşen seçkin bilim adamlarından oluşan uzun listenin en başındaydı. Einstein hem kütleçekimini hem de elektromanyetizmayı kapsayan birleşik bir alan teoreti oluşturmak için yıllarca uğraştı ve sonuçta başarısızlığa uğradı. Daha yakın dönemde, kütleçekimine ilişkin bir kuantum teoreti bulma amacına yöneldi çabalar. Bu girişim de şu ana kadar başarıya ulaşabilmiş değil ama Faraday böyle bir uğraşı onaylayarak teorisyenlerin hâlâ rüya gördüğünü belirtti herhalde.

İleri yaşlardaki Faraday yıllar önce Davy'nin yanına alarak iş verdiği genç adamdan çok farklı değildi. Artık Oxford profesörü, Kraliyet Bilim Derneği üyesi, akademilerin ve bilim derneklerinin madalyalarına ve sayısız şeref payelerine sahip Faraday'dı ama yine sade, samimi ve mütevazı bir hayatı yeterli gören bir insandı. Bence Jones'a göre katkısı "körü körüne itaat"ten ibaret olan asistanı Charles Anderson dışında kimseden yardım almaksızın hep kendi başına çalıştı. "Başkalarıyla birlikte çalışabileceğimi veya sesli düşünebileceğimi yahut düşüncelerimi açıklayabileceğimi sanmıyorum" demişti ömrünün sonuna doğru. "Bazı profesörlerin çok yaygın biçimde yaptığı gibi, asla öğrencilerle çalışmam. Bütün işler benim elimden çıkmalıdır."

Yaşının ilerlemesiyle birlikte, Faraday çevreyle kaynaşma yönündeki doğal eğilimini bastırdı ve gittikçe toplumdan koptu. "Kabul edeceği davetler konusunda gittikçe daha seçici olmaya başladı" diye yazar Williams. "1830'ların ortalarında artık neredeyse bütün davetleri reddediyordu. Kraliyet Bilim Derneği'nin yıldönümü yemeklerine ve başka birkaç buluşmaya katılıyordu. Kraliyet Enstitüsü'ndeki dairesi ve bodrumdaki laboratuvar kişisel mutluluğu için gerekli her şeyi sağlıyordu." Faraday kendisini "bir münzevi" olarak nitelendiriyordu. Kraliyet Enstitüsü'ndeki konferansları hâlâ meşhurdu ve kendisi de hâlâ bir şöhretti. Din-

sel inancı, saplantılı çalışma alışkanlıkları ve müzmin hastalığı yüzünden sosyal aktivitelerin çekiciliğine karşı koydu. Halk onunla ancak konferans salonunda ve mektuplaşmalar yoluyla görüşebiliyordu.

Faraday 1840'lardaki hastalığından hiçbir zaman tam olarak sıyrılamadı. Her ne kadar 1845'te araştırmalarına geri döndüyse de, onu aralıklarla yoklayan hafıza kaybı, başağrıları, baş dönmeleri ve depresyonlarla başı hâlâ dertteydi. Meslektaş ve yakın arkadaşı Christian Schönbein'a yazdığı mektuplarda, zihinsel zayıflığıyla mücadelesini anlatır. Onun çektiği ıstırapı açığa vuran tek kaynak da bu mektuplardır. İşte size, 1845-1862 arasında yazdığı mektuplardan kronolojik sırayla seçilmiş bazı alıntılar:

Başım o kadar çok dönüyor ki, doktorlarım çalışmanın ya da düşünmenin ayrıcalığını ve zevkini bir süre için kesinlikle yasakladı. Bu yüzden şehrin dışına çıkıp inzivaya çekilmeye ve mutlak dinlenmeye mecbur edildim. (...)

Sevgili dostum, sürekli unuttuğumu hatırlıyorsun değil mi? Sanki kevgirden akıp giden sular gibi, bir türlü bunu engelleyemiyorum. (...)

Bir-iki hafta biraz felsefe [manyetizma] üzerine düşünmeye çalıştım ve bu durum başıma ağırlar soktu, geceleri olduğu gibi gün ortasında da uyuşuk hale geldim, öyle ki düşünmek zevk vereceğinc, tiksindiriyor beni şimdilik. (...)

Genel sağlığım bir parça düzelsin diye uzaklara gitsem bile, sevgili karımın ve yeğenimin yanında huzur bulmak için eve dönmekten mutluyum. ... Zamanımı sakince ve etrafı seyretmekle geçirmek zorundayım, ki bunu da büyük bir hoşnutluk ve memnuniyet duyarak yapabiliyorum.

Schönbein'e 1862'deki son mektubunda şöyle veda ediyordu Faraday: "Saçma sapan şeyler yazdığımdan, mektuplarımı tekrar ve tekrar yırtıyorum. Bir satırı bile artık ara vermeksizin okuyamıyor, yazamıyorum. Bu kafa karışıklığından kurtulabilecek miyim, bilemiyorum. Artık daha fazla yazmayacağım, Sana sevgilerimi yolluyorum."

Sihirbaz Bilim Adamı James Clerk Maxwell



Yürek, Kafa ve Parmaklar

“Önrmeleri öğrenmenin üç yolu vardır: Yürek, kafa ve parmaklar. Bunlardan parmaklar yoklama işine yarar ama sürekli düşünmeyi gerektirir. Yine de metotları akılda tutmada parmaklar yüreğe göre her bakımdan daha iyidir. Kafa metodu hardal gibi keskin bir düşünce tohumunu gerektirir, haliyle pahalı bir tohumdur bu ama her türlü endişeyi alıp götürür. Yürek metodu endişeyle doludur ama düşünce gereğini ortadan kaldırır. Parmak metodu epeyce emeği ve sürekli alıştırmayı gerektirir ama düşünce ve endişe gereğini ortadan kaldırır.” Bu sözler James Clerk Maxwell’in kendine has kısa, özlü, şifrcmsi ve derin üslubuyla genç kuzeni Charles Cay’e verdiği öğüttür. Parmakları bellek ve teknik, kafayı akıl, yüreği de sezgi gücü olarak çevirmek mümkündür.

Maxwell her üç metodun da ustasıydı. Cambridge Üniversitesi’nde üstün bir öğrenci olarak parmaklarının yetkinliğini sergiledi, teorilerini fiziksel ve matematiksel modellerden yola çıkan karmaşık bir akıl yürütmeye kurdu. Ancak, dehasının başta gelen kaynağı yürek metodundaki ustalığıydı. Bilimsel sezgisinin ve içgörüsünün parlaklığı onu Newton’la ve Einstein’la aynı safa yerleştirir.

Bu bölümün ana konusu olan elektromanyetizma teorisini kurarken, Maxwell’in düşünsel aracı analogiydi. Elektromanyetizma üzerine ilk makalesinin girişinde şöyle yazar: “Bir fizik teorisini benimsemeden fizikle ilgili fikirlere varmak için, fizik analogilerinin varlığına aşinalık kazanmalıyız. Fizik analogisiyle kastettiğim şey, iki ayrı bilimin yasaları arasında birbirlerini açıklamalarına olanak veren kısmi benzerliktir.” Elektromanyetizma teorisine giden yolda, Maxwell birbi-

rini izleyen iki mekanik analogisi geliştirdi. Bunların ikisi de teori değildi. İlkiyle ilgili olarak, “Gerçek bir teorinin gölgesini bile taşıdığını sanmıyorum” diye yazmıştı Maxwell. Ama her ikisinde de varolan gerçeklik unsurlarını sezgisel olarak kavradı ve bunları gelişme sürecindeki teorisine oturttu. Sonuçta, bir yapı iskelesini söker gibi mekanik modelleri çekip çıkardı ve böylece geriye günümüzde “Maxwell denklemleri” olarak bilinen matematiksel ifadeler kaldı.

Maxwell’in yakın çevresine göre, bir dizi geçici sava dayanmak ve sonunda bunları bir tarafa atıp diferansiyel denklem soyutlamalarına varmak, sanki bir sihirbazın el çabukluğu numaraları gibiydi. Çalışma arkadaşlarından biri, Maxwell’in elektromanyetik teori dünyasının büyülerle dolu bir peri diyarına benzediğini belirtmişti. Sonraki köşede neyle karşılaşacağını bilmek asla mümkün değildi ve üstelik Maxwell’in yaşadığı dönemde teorisinin çok az deneysel dayanağı vardı. Maxwell’in yanında yer almak için, sınırlı sayıda doğrulayıcı deneyden dolayı kesinlikle acayip gelebilen içgörülerine aynen katılmak gerekirdi.

Maxwell biyografisi yazarlarından C. W. F. Everitt, onu iki akıl hocası Michael Faraday ve William Thomson’la karşılaştırarak, dehasının bir başka hayati yönüne işaret eder. Bu karşılaştırmada Faraday’ı “birikimci düşünür”, Thomson’ı “ilhamcı düşünür”, Maxwell’i ise “mimar düşünür” olarak nitelendirir. Faraday tasarladığı ve yürüttüğü deneylerle elektrik ve manyetizma olgularını biriktirmişti. Onun kuralı “çalışmak, bitirmek, yayımlamak” ve yola devam etmektir. Thomson işin virtüözüydü. Her türden probleme ilham yoluyla cevaplar bulurdu ama bunları nadiren dokuyarak bitmiş bir teori haline getirirdi. Maxwell’de ise Thomson’un yoksun olduğu sabır ve azim vardı. “Maxwell’in önemli makaleleri” diye yazar Everitt, “Thomson’un makaleleriyle tam tezat içindedir. Yetmiş-seksen sayfayı bulan (ve üstelik veciz bir anlatımla yazılmış olan) bu makaleler uzun süreli düşünmenin ürünüdür. Her biri kendi tarzında konusuna ilişkin eksiksiz bir tablo sunar.” Bir başka büyük mimar düşünür olan Newton gibi, Maxwell de önemli fikirlerini peyderpey geliştirirdi. Elektromanyetizma teorisine 1855’de başladı ve makaleler arasına giren uzun fasılalarla, bu çalışmayı yaklaşık yirmi yıl sonra, 1873’te bitirdi. Teorilerindeki bu yavaş evrimin bir ölçüde bilinçaltından geldiğı görüşündeydi. Bir dostuna yazdığı mektupta şunu belirtmişti: “Sanırım, zihnimin bir bölümü bilinçten bağımsız olarak işliyor; burada mayalanan ve kaynayan şeyler akıp dışarıya çıktığında bir duruluk taşıyor.”

Mimarın kurduğı şey 19. yüzyılın en görkemli düşünsel yapılarından biriydi. Bütün elektriksel ve manyetik fenomenleri birleştirdi, ışığın elektromanyetik dalga niteliğini açığa çıkardı ve 20. yüzyıl fiziğinin özüne ve biçimine varılan kapıyı açtı. Maxwell bunu kafa ve yürekle, düşünce ve endişeyle, pekâlâ sihirli de-nebilecek bir zihin unsuruyla başardı.

Beberuhi

James Clerk Maxwell 1831’de İskoçya’nın Edinburgh şehrinde doğdu. Babası John Clerk daha sonraları İskoçya’nın güneybatı kesiminde (Middlebie, Galloway) küçük bir kır malikânesini miras yoluyla alması için gerekli hukuki

şartları yerine getirmek için soyadına Maxwell'i ekmişti. Duyarlı, sakıngan ve aykırı mizaçlı John Clerk Maxwell, kendisi gibi pratik ama daha kararlı ve pervasız Frances Cay'le evlendi. Kişilikleri birbirini tamamlar nitelikteydi. Tek oğulları bir talih eseri ikisinin iyi özelliklerinden bazılarını devraldı.

Clerk Maxwell ailesi Middlebie arazisine sahip olduğunda, burası büyük ölçüde bakımsız ve üstünde bir ev bile yoktu. Bütün hünerini ve şevkini ortaya koyan John Clerk Maxwell, inşasında her ayrıntısıyla ilgilendiği eve "Glenlair" adını verdi. Oğul da bu malikâneye babası kadar tutkuyla bağlandı, çocukluk, ergenlik ve olgunluk dönemlerinde Glenlair hep sığınağı oldu.

Sekizine basan James'in buradaki mutlu kırsal aile yaşantısı, annesinin daha kırk sekiz yaşında acılarla kıvranarak mide kanserinden ölmesiyle trajik biçimde bozuldu. Yine, erken yaşta Maxwell'in canını alan hastalık da anlaşıldığı kadarıyla aynı kanserdi. Küçük çocuğun bu trajediye tepkisi kişisel kaybın acısından çarpıcı biçimde uzaktı: "Ah, öyle sevinçliyim ki! Şimdi daha fazla acı çekmeyecek." John Clerk Maxwell oğlu üzerinde titreyen bir babaydı ve karısının ölümünden sonra bu yönü daha da güçlendi ama oğlunun bazı acil ihtiyaçları karşısında körlükten kurtulamadı. James'in okul eğitimini en hafif ifadeyle yavan bir pedagoji anlayışına sahip bir özel hocaya emanet etti. Latince dilbilgisi alıştırmalarına dik başlı bir tavırla karşı çıkan öğrencisini dövmeekten kaçınmayan bir hoca. Maxwell'in başta gelen biyografi yazarı Lewis Campbell, bu sert muamelenin kalıcı psikolojik etkiler bıraktığı kanısındadır. "Kafaya cetvelle vurulmasının ve kulakların kanayınca kadar çekilmesinin ister istemez içe işlemiş olabileceği bir burukluktan çok" diye yazar, "belirli bir davranış ikircikliğine ve dolambaçlı cevap verme alışkanlığına yansıyan etkiler. Maxwell'in bunları aşması uzun bir zaman aldı, tabii tam üstesinden geldiği ne kadar söylenebilirse." Oğul cefakeş ve baba da kalender olunca, özel hocanın marifetleri Maxwell'in çocukluk hayatının bir başka önemli figürü olan teyzesi Jane Cay'in ziyaretine kadar sürdü. Teyze yaşanan durumu bir çırpıda kavradı ve babayı ikna ederek, oğlunu Edinburgh Akademisi'nde okumak üzere halası Isabella Wedderburn'un yanına göndermesini sağladı.

James'in akademide yaşadığı ilk olaylar özel hocanın çektiirdiği eziyete göre daha mutluluk verici olmadı. Okula ilk gün Glenlair'de hep giydiği, babasının görünüşe ya da modaya pek aldırmaksızın tasarladığı makul giysiler içinde gitti. Kırsal kılık kıyafet ve buna eşlik eden Galloway aksanı, haylaz bir öğrenci çetesine kolay hedef olmasına yol açtı. Elinden geldiği kadar dayandı ve o gün Wedderburn ailesinin evine kalıplı ve tertipli elbiseleri paçavraya çevrilmiş halde döndü. "Yaşadığı şeylerden aşırı keyif almış görünüyordu ve en ufak rahatsızlık belirtisi göstermiyordu" diye aktarır Campbell. "Ancak içinden ne evdekilerin ne de okul arkadaşlarının bilmesine asla olanak olmayan bir şeylerin geçip geçmediği sorgulanabilir." Başına bela kesilen çocuklar ona "Beberuhi" adını takmıştı. Everitt bize bunun "aptaldan çok, garip anlamına geldiğini, 'antika'nın bugünün diliyle en yakın deyiş olduğunu" söyler.

Akademi çocuğun ruhuna boyun eğdirmeyi ya da aykırı davranışlardan cay-

dırmayı pek başaramadı. James orada kalıcı dostluklar kurdu. Bu arkadaşları arasında sonradan biyografisini yazan Lewis Campbell ile sonradan Edinburgh Üniversitesi'nde doğa felsefesi profesörü ve emsalsiz bir polemikçi olarak nam salan Peter Guthrie Tait de vardı. Glenlair'deki "baba ocağı"na Edinburgh'dan haberler taşıyan neşeli mektuplar kelime oyunları, ayna aksinden okunabilen kelimelerle, yazım yanlışlarıyla, bilmecelerle ve muzipliklerle doluydu. İşte size bir örnek:

AZİZİM BAY MAXWELL-Bugün oğlunu gördüğümde, sana gönderdiği bilmecelerin içinden çıkamadığını söyledi bana. Şimdi, bunlar abuk sabuk fıkralar diyecek olursan, sana bir tane daha aktarayım. Yüzmeye kalkan bir alık neredeyse boğuluyormuş. Sudan çıkar çıkmaz, yüzmeyi öğrenene kadar bir daha suya dokunmayacağına yemin etmiş ama kastın son sayfadaki garip mektuplarsa, onlar Glenlair'de duruyor.

Sevgili Yeğenin JAMES CLERK MAXWELL

Mektuplarına çoğu zaman "Jas. Alex. M'Merkwell" (bir evirmece) imzasını atar ve adres yerine de "Orayı-postacı-bilir" diye yazardı.

Maxwell harika çocuk değildi; Thomson'ın tersine, matematiksel dehasının belirtilerini erken göstermedi. Oğlunun yeteneklerinin gelişmesinde, bütün bilim ve teknoloji konularına meraklı bir amatör olan duyarlı babanın önemli bir pay sahibi olduğuna hiç kuşku yoktur. Baba ve oğul Edinburgh Güzel Sanatlar Derneği ile Edinburgh Kraliyet Bilim Derneği'nin toplantılarına sıkça katılırdı. Meslek hayatı boyunca işine çok yarayan geometrik hayal gücünü daha on dört yaşında sergileyen Maxwell, oval eğrileri çizmeye yönelik bir metodu açıklayan bir makale yazdı. John Clerk Maxwell bir yolunu bularak Edinburgh'deki doğa felsefesi profesörü James Forbes'in bu çalışmayı okumasını sağladı. Forbes "[yazarının] yaşına göre çok dikkate değer" bulunduğu makaleyi Edinburgh Kraliyet Bilim Derneği'ne iletti.

Oval eğrilerle Maxwell'in bilimsel kariyeri başlamış oldu. Edinburgh Akademisi'ni bitirdikten sonra, Edinburgh Üniversitesi'nde Forbes ve William Hamilton'dan (İrlandalı büyük matematikçi ve fizikçi William Rowan Hamilton değil) ders aldı. Forbes ve Hamilton bütün üniversite meselelerinde karşıt kutuplarda yer alan yeminli düşmanlardı. Forbes usta bir deneyciydi ve Maxwell'e laboratuvarına serbestçe girme iznini verdi. Hamilton bilginin mutlak değil, göreceli olduğunu ve insan duyularının kısıtlılıklarıyla şekillendiğini hararetle savunan bir felsefeciydi. Hakikate varmak için modeller ve analogiler gibi kusursuz mantık araçlarına gerek olduğu görüşündeydi. İki hasmın üzerinde birleştiği tek noktaydı, o da genç Clerk Maxwell'in özel ihtimamı hak ettiğiydi. Forbes laboratuvarında, Hamilton da metafizik derslerinde bu ihtimamı gösterdi; ikisinin de etkisi kalıcı oldu.

Ancak, Maxwell'in matematik yeteneklerine sahip bir öğrenci için Edinburgh yeterli değildi. Sonraki basamak Cambridge, matematik ve fizik metotla-

rında “kafa ve parmakları” yetiştiren ünlü merkez oldu. Cambridge’in süs tacı Tripos Syllabus denen ve öğrencileri bir dizi yorucu sınava hazırlayan programdı. Sınav adaylarının yetiştirilmesi özel rehber hocaların elindeydi. Bu hocaların en şöhretlisi birçok Tripos “cengâver”ine yol göstermiş olan William Hopkins’ti. Sınavlarda derece elde edenler için her nedense bu sıfat kullanılırdı. Hopkins’in takımına katılan Maxwell, bir cengâver olarak zafere ulaştı ama bir başka cengâver Tait’in anılarında aktardığına göre, bunun için normalde gerekenden daha az sıkıntıya girdi:

[O] Cambridge’e 1850 sonbaharında kafası bir yığın bilgiyle dolu olarak getirildi ama öylesine genç bir adam için gerçekten olağanüstü olan bu birikim, metot hocasını dehşete düşürecek kadar düzensizdi. Bu hocanın William Hopkins olmasına karşın, öğrenci büyük ölçüde kendi bildiği yolda gitti. Son yıllarda Senato Binası’na [Tripos sınavlarının yapıldığı yer] Clerk Maxwell’e göre daha aksak bir eğitimle girip de “zahmete değer” iş çıkaran hiçbir üst düzey cengâvere rastlanmadığı rahatlıkla söylenebilir. Ama o sırf zekâsının gücüyle, üstelik sınav koşullarında bunu nasıl avantajına kullanacağına dair çok asgari bilgiyle donanmış olarak, İkinci Cengâver konumunu elde etti ve Smith Ödülleri [bir başka yarışma] gibi daha çetin bir azap yolunda Birinci Cengâver’le eşit seviyeyi tutturdu.

“İkinci Cengâver” yarışmada ikincilik demekti ama “zahmete değer” iş için hazırlanmamış biri açısından çarpıcı bir performanstı. Maxwell’den söz ederken, “hiç tartışmasız bütün tecrübe alanım içinde karşılaştığım en olağanüstü adam” demişti Hopkins. Göründüğü kadarıyla “Maxwell’in fizikle ilgili konularda yanlış düşünmesi olanaksızdı.”

Maxwell aykırı yaklaşımlarından hâlâ vazgeçmiş değildi ama Cambridge’in eksantrik ortamında böyle şeyler eğlenceli olmak koşuluyla bir avantajdı. “Çalışma ve uyku saatlerini düzenlerken bazı tuhaf deneylere girişirdi” diye yazar Campbell. “Gece yarısı iki ve iki buçuk arasında, egzersize çıkarak üst koridor boyunca, merdivenden aşağıya, alt koridor boyunca, merdivenden yukarı koşup dururdu, ta ki koşu yolu üzerindeki koşuşların sakinleri yataklarından çıkıp aralık kapıların ardında gizlice siper alarak üstüne çızmeler, taraklar vb fırlatana kadar.” Tait onun başka garip davranışlarını şöyle anlatır: “Yüzme havuzu barakasındaki direğin üstüne çıkarak yüzüstü suya atlar, dibe dalarak karşıya geçer, daha sonra öbür taraftaki direğe tırmanır, kendini sırtüstü suya bırakırdı. Bunun dolaşımı hızlandırıldığını söylerdi!”

Maxwell’in Tripos performansı ona Trinity College’da burs ve ardından öğretim üyeliği kazandırdı. Huzurlu geçen bu dönemde, elektromanyetizma araştırmalarına başladı ve gönlünü, henüz yirmisine varmamış kuzenine, Everitt’in “müthiş güzel ve zeki bir kız” diye nitelendirdiği Elizabeth Cay’e kaptırdı. Ne var ki, ailenin “zaten yakın akraba olan bir aile içindeki yeni bir kan bağının zararları”ndan duyduğu endişe nedeniyle, bu aşk pek uzun sürmedi.

Cambridge’de iki yıl hocalık yapmak Maxwell’in içinde daha az kapalı bir

yaşantı kıpırtısının uyanmasına yetti. “Düzenli bir işe ne kadar çabuk girsem, o kadar iyi olur” diye yazdı babasına. Forbes ona İskoçya’nın Aberdeen şehrindeki Marischal College’da boş bir doğa felsefesi profesörlüğü kadrosunun olduğunu bildirdi. Maxwell tavsiye mektupları sunma sürecinden yakınmakla birlikte, bu görev için başvurdu. Aberdeen’i düşünmesinin nedenlerinden biri, sağlığı bozulmakta olan babasına daha yakın olma isteğiydi. 1856 ilkbaharında baba Maxwell öldü ve oğul Maxwell birkaç hafta sonra Aberdeen’deki göreve atandığını Forbes’tan öğrendi.

Aberdeen, Londra, Glenlair

Birçok yaratıcı bilim adamı gibi, Maxwell de başarılı bir öğretmen değildi. Ders verirken düşünceleri öylesine karmaşık ve çabuk ilerlerdi ki, öğrencilerinin zihinsel temposuna göre yavaşlamayı bir türlü beceremezdi. Campbell onun öğrenci kitlesi karşısından bir tür paniğe kapılmasını şöyle anlatır:

Hayal gücünün enginliğinden ve zekâsının kıvraklığından gelen bir sakınca vardı. Zihninde kaynaşan fikirler hiç durmaksızın keşişirdi ve bu keşmekeş tıpkı ışık dalgası parazitlerinde olduğu gibi “karanlık bantlar” yaratırdı. ... Kafasında canlanan *ignotum per ignotius* [bilinenden bilinmeyi çıkarma] örnekleri ya da bildik bir şeyin gözlemlenmemiş bazı özelliklerine takılmanın getirdiği çapraşıklık baş döndürücü bir hızla çoğalırdı. Derken dolaşıklık ve paradoks havası, bunun tehlikelerinin farkında olsa bile, iradesini kırarak onu avucuna alırdı ve utangaçlıktan, anlık heyecandan ya da kendini anlatamama çaresizliğinden “kaotik açıklamalar” içinde saplanıp kalır, sonunda ironik mizaha özgü bir tuhaflıkla konuyu kestirip atardı.

Buna karşılık yazı üslubu -makaleleri, ders notları ve kitapları- berraklığın bir örneğiydi. Maxwell’in sözlü ve yazılı anlatımı arasındaki bu tuhaf çatışma, daha sonra başarılı bir astronom olan Aberdeen öğrencilerinden David Gill’de şöyle bir izlenim bırakmıştı:

Maxwell’in ders notları kural olarak büyük titizlikle düzenlenmiş ve -neredeyse basına uygun bir biçimde- yazıya dökülmüş olurdu. Metinlerden kopya çıkarmamıza da izin verilirdi. Dersi anlatmaya elindeki metni okuyarak başlardı ama beş dakika falan geçer geçmez okumayı keserek, “Size şunu açıklasam iyi olur galiba” diye söze başlar ve ardından az önce zihninde çakmış olan bir fikrin peşinde sürüklenip gider, karatahtayı şekiller ve sembollerle doldururken yüksek sesle düşünür, genellikle de içimizdeki en iyi öğrencilerin kavrayış sınırlarının dışına çıkardı. Daha sonra elindeki metne dönerdi ama o sırada ders saati bitmeye yaklaşırdı ve konunun geri kalan kısmı ya kaynayıp gider ya da başka bir güne bırakılırdı. Belki birkaç deneysel örnek açıklama olurdu ve bunlar da sıklıkla başarısızlığa uğrardı. Birçok öğrencinin gözünde Clerk Maxwell pek iyi bir profesör değildi. Ama derste tahta önünde yüksek sesle düşündüğü sırada ya da ders sonrası sohbette zekâ ve

telkin dolu bakışlarla göz kırptığı sırada çakan kıvılcımlardan birkaçını yakalayanlar için, Maxwell bir esin kaynağı olarak herkesten üstündü.

Maxwell elektromanyetizma üzerine ilk makalesini Aberdeen'deki ilk dört yılında tamamladı. Aynı dönemde Marischal College dekanının kızı Katherine Dewar'a kur yapmakla da meşguldü. İki sevgili 1858'de evlendi. Campbell bu evlilik konusunda son derece ağzı kapalıdır. Sanki bunu es geçmekle bir şeyler anlatıyor gibidir. Katherine, Maxwell'den yedi yaş büyüktü, sürekli hastalıklıydı ve en azından ömrünün sonlarında nevroiktı. Maxwell'in dostlarının dedikodularına bakılırsa, kocasının bilimsel uğraşlara boğulmasına içerlerdi. Belki öyleydi ama bir dizi deneyde ona ustalıkla yardımcı da olmuştu. Bu evliliğe ne kocanın ne de karının kattığı bir tutku vardı ama aralarındaki mektuplardan birbirlerine derinden bağlı oldukları açıktır.

Aberdeen'in Marischal ve King's okullarının tek bir üniversite çatısında birleştirildiği 1860'ta Maxwell boşta ve işsiz kaldı. Büyük ihtimalle buna pek üzülmeydi. Aberdeen ona uygun bir çevre değildi. Daha önce Campbell'e şöyle yazmıştı: "Bu civarda cemiyet hayatı oldukça muntazam. Çeşitli olmasına çeşitli ama övülecek ya da kınanacak pek fazla tarafı yok, insanlar genelde açık sözlü ve kaba değil. ... Hiçbir şaka anlaşılmıyor burada. İki aydır kimseye takılmadım ve eğer aklıma bir şaka gelirse, dilimi ısırarak zorundayım."

Maxwell sonraki durak olarak Londra'da doğa felsefesi profesörlüğüne getirildiği King's College'ı seçti. Londra'da geçirdiği beş yıl hayatının en yaratıcı dönemi oldu. Bu dönemde elektromanyetik alana ilişkin dinamik teorisini olgunlaştırdı. Ayrıca, gazların davranışına ve renk görüşüne ilişkin teorilerini ileriye götürdü, dünyanın ilk renkli fotoğrafını elde etti. Bu başarılar, özellikle de elektromanyetizma teorisi temel öneme sahipti ve o da bunun farkındaydı. Mektuplarından nadiren sözünü etmesine rağmen, bu çalışma ona herhalde büyük tatmin vermiş olmalıdır. Campbell'a bir mektubunda geniş çerçevede işaret ettiği gibi, ağır ders yükü artık eskisi gibi hoşuna gitmiyordu: "Öğrencilerden uzak kalmanın tadını çıkarıyorsunuzdur, umarım. Bana öyle geliyor ki onları daha küçük sınıflara ayırmak hem benim hem de onların yararına olacak: Fakat belirli aralıklarla onları unutup gitmek, onlara uygun zamanda gerekeni vermek için zorunlu bir şart."

Sonunda Maxwell araştırmalarını sürdürmesi için akademik bir makama, bunun beraberinde getirdiği ve pek de uygun olmadığı görevlere ihtiyacı kalmadığına karar verdi. Kendi başına rahatça geçinecek gelir kaynağı vardı ve bulgularını bilim dünyasına aktarmak için bütün gerekli profesyonel irtibatlarla sahipti. Gerçekten yapmak istediği şey Glenlair'de daha fazla zaman geçirmek, daha önceleri yaptığı gibi "tarlalar arasında dolanmak, körpe kurbağalarla ve yaşlı su sıçanlarıyla yarenlik etmekti." Böylece 1865'te King's College'dan ayrılarak, Glenlair'e yerleşti.

Campbell onun Glenlair'deki uğraşlarını ve eğlencelerini şöyle bir tabloyla yansıtıyor:

Gerek o dönemde gerek daha sonraları gözde egzersizi, karısının da çok kolayca paylaşabildiği bir uğraş olarak ata binmekti. Bu konuda büyük becerisi olduğunu sergiledi. [Bir komşusu] onun 1874'te, önceki sahiplerine elaman dedirten "Ava-re" adlı yeni siyah atı üstünde, sırf Kılquhanity çocuklarını eğlendirmek için "çember biçiminde tur attığını", kamçısını havaya fırlatıp tekrar yakaladığını, çitlerin üstünden atladığını vb hatırlıyor.

Akşam vaktinin önemli bir kısmı çoğu kez Bayan Maxwell'e yüksek sesle okuduğu Chaucer'a, Spenser'a, Milton'a ya da Shakespeare'in bir oyununa ayrılmıştı.

Pazar günleri, kiliseden döndükten sonra eski ilahiyatçıların eserleri arasına gömülürdü. Edebiyatta olduğu gibi, teolojide de daha çok geçmişe sempati duyuyordu.

Komşularıyla ve çocuklarla sevecen ilişkileri vardı. ... Ara sıra köydeki bir hastayı ziyarete gider, bu tür şifa hizmetlerinin hoş görüldüğü yerlerde kutsal metinler okur ve dualar ederdi.

Glenlair'i 1865-1869 arasında ziyaret eden bir kişiyi özellikle şaşırtan şey, malikâne efendisinin günlük ibadetleri yürütüş tarzıydı. Anlaşıldığı kadarıyla irticalen sıraladığı dualar etkileyici ve anlam yüklüydü.

Malikâne sahibi Maxwell: Besbelli ki hoşuna giden bir roldü bu.

Şimdi kişisel biyografiden bilimsel biyografiye geçiyoruz. Bu da, önce elektromanyetizmanın matematiksel dili üzerine bazı kolay dersler anlamına geliyor.

Vektör Dersleri

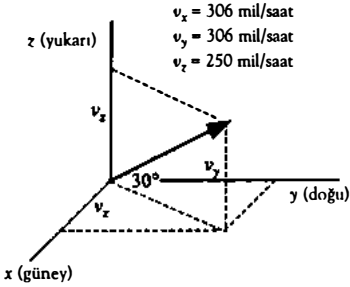
Maxwell'in elektromanyetik teorisi elektriksel ve manyetik kuvvet alanlarının bir hikâyesidir. Tıpkı diğerleri gibi, bu kuvvetlerin de yalnızca bir büyüklüğü değil, aynı zamanda bir doğrultusu vardır. Kuvvetin yanı sıra hız, momentum ve ivme de doğrultusaldır. Doğrultusal olmayan niceliklere "skaler" denir ve fizikte bunlar da aynı ölçüde önemlidir. Enerji, sıcaklık ve hacim skaler niceliklerin örnekleridir. Bütün doğrultusal fiziksel nicelikler matematiksel olarak "vektör" olarak gösterilir ve skaler niceliklerden kalın harfli sembollerle yazılmalarıyla ayırt edilir. Bir kuvvet vektörü $\mathbf{F}$, bir hız vektörü $\mathbf{v}$, bir momentum vektörü $\mathbf{p}$ ile gösterilebilir.

Vektörlerin doğrultuları dayandıkları bileşenlerin birbirine dik üç doğrultuya ayrılmasıyla kolayca belirlenir. Bunları gözünüzde doğu-batı, kuzey-güney ve yukarı-aşağı eksenleri olarak canlandırabilirsiniz. Soyut x , y ve z sembolleri genel kabule göre bu eksenleri nitelendirir ve eksenler boyunca ölçülen vektör bileşenlerine de bunlara denk düşen adlar verilir. Örneğin, $\mathbf{v}$ hız vektörünün x , y ve z eksenleri boyunca belirlenmiş v_x , v_y ve v_z bileşenleri vardır. Saatte 500 milik bir hızla, 30° 'lik açıyla ve güneydoğu doğrultusunda yükselen bir uçağın $v_x = v_y = 306$ mil/saat (güneydoğu) ve $v_z = 250$ mil/saat (yukarı) hız bileşenleri vardır. Bu vektörün görsel biçimi Çizim 12.1'de yer almaktadır. Bütün denklemler bu vektör diliyle ifade edilebilir. Örneğin, Newton'un ikinci hareket yasası $\mathbf{F}$

kuvvet vektörünü $\mathbf{p}$ momentum vektöründeki değişim hızıyla şöyle ilişkilendirir:

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt}$$

Maxwell zaman içinde bütün elektromanyetik alan denklemlerini vektör formata çevirmiştir ve bunlar hâlâ öyle görülmektedir. Elektriksel ve manyetik alanlar $\mathbf{E}$ ve $\mathbf{B}$ vektörleriyle gösterir. Maxwell denklemleri bu vektörleri her zaman bir elektromanyetik alanla bağlantılı olan elektrik yükleri ve akımlarıyla ilişkilendirir. Maxwell bir alanı

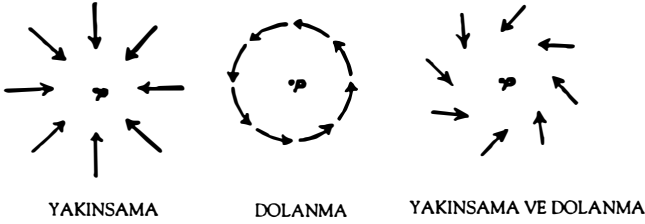


Çizim 12.1. Saatte 500 millik bir hızla, 30° 'lik açıyla ve güneydoğu doğrultusunda yükselen bir uçağın (oklarla gösterilen) $\mathbf{v}$ hız vektörünün çizimi.

analiz ederek yük ve akım yapısını ortaya koymak için iki kilit matematiksel işlemi esas aldı. Bu işlemlerin ikisi de bizi diferansiyel denklemlere götürür ve akışkan hareketin dinamiğinden alınmıştır. Alanın bir noktasında uygulanan bu işlemlerden biri, Maxwell'in "yakınsama" diye adlandırdığı şeyi, yani alanın bu noktaya yönelik derecesini ölçmeye yarar. İkinci işlem bu noktada alanın dönüş karakterini ölçmeyi sağlar. Maxwell bunun için öngördüğü "dönüş", "fırlıdak", "kıvrım" ve "büküm" terimlerinden vazgeçtikten sonra "dolanma" teriminde karar kıldı. Çizim 12.2'de Maxwell'in yakınsama ve dolanma işlemlerine ilişkin çizimler yer almaktadır. Daha sonraki kullanım biçiminde, Maxwell'in yakınsama işleminin işaretini ve doğrultusunu tersine çevirmenin, böylece işlemi "ıraksama" haline getirmenin daha kolaylık sağlayıcı olduğu saptandı.

Ağır Top

Maxwell'in henüz yirmi dört yaşındayken elektromanyetizma üzerine yazdığı ilk makalesi Aberdeen'de *On Faraday's Lines of Force* (Faraday'ın Kuvvet Çizgileri Üzerine) başlığıyla yayımlandı. Makalenin amacı Faraday'ın alan kavramına matematiksel bir biçim vermektir. Maxwell daha önce Faraday'ın elektriksel kuvvet çizgileri kavramına ilişkin bir matematiksel teori kurmuş olan Thomson'un yolunu izliyordu. Çalışmasına başladığında, Thomson'a bir mektup yazarak ondan biraz "aşırma" yapacağı uyarısında bulundu: "Bilimin Oyun Kurallarından & Patent Yasaları'ndan anlamam ben. Belki [Britanya'daki] Birlik bunla-



Çizim 12.2. Maxwell'in bir alandaki yakınsama ve dolanma işlemlerini gösteriş biçimi. Kaynak: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, ed.W. D. Niven (New York: Dover. 1952). 2:265.

rı tespit etmek için bir şeyler yapabilir ama imgeleriniz arasında kaçak bir gezinti yapmaya kesinlikle niyetliyim, 'yüksek' elektrik üzerinde sağa sola saçtığınız ipuçlarına gelince, bunları toplamak gibi bir niyetim var." Thomson "elektrik sahası"nın kapılarını sevinçle açarak, Maxwell'e iyi avlar diledi.

Sonunda Maxwell turnayı gözünden vurdu. Thomson'a oranla daha derine dalarak geliştirdiği teorisinde, elektrik alanlarının yanı sıra manyetik alanları ele aldı ve bunların karşılıklı bağlantısını matematiksel olarak gösterdi. Matematiksel fikirlerini Faraday'ın kuvvet çizgileri ile kurmaca, ağırlıksız ve sıkıştırılmaz bir sıvının akış çizgileri arasındaki bir analogide buldu. Maxwell'in başvurduğu bütün analogiler gibi, bu da eksiksiz bir fizik teorisi oluşturmuyordu. Analoginin sağladığı yarar elektriğin, manyetizmanın ve elektromanyetizmanın gözlemlenen fenomenlerinden birçoğunu açıklayan kısa bir denklemler listesi idi. Denklemlerin unsurları günümüzde **A**, **B**, **E**, **H** ve **J** olarak yazdığımız vektörlerdi. (Vektör gösteriminin tam gelişmiş biçimine ancak daha sonraları Oliver Heaviside ve Willard Gibbs'in çalışmalarıyla ulaşıldı ama birazdan karşınıza çıkacak anakronizm Maxwell denklemlerinin özüne değil, yalnızca sözüne aykırıdır.) Elektrik alanı **E** vektörüyle gösterilmekteydi. **J** elektrik akımını belirtmekteydi. Manyetik alan için **B** ve **H** diye iki vektöre gerek vardı. **H** vektörü, Øersted'in deneyinde gözlemlendiği gibi, **J** akımlarınca yaratılmaktaydı. İkinci manyetik vektör **B** bir boşlukta **H**'ye eşitti ama maddi bir ortamda farklıydı.

B, **E**, **H** ve **J** vektörleri ile bunlara ilişkin denklemler Faraday, Ampère ve Øersted'in gözlemlendiği fenomenleri özlü bir matematiksel formda birleştirdi. Beşinci vektör **A** tamamen Maxwell'e özgü bir kurguydu. Faraday'ın başlangıçta "elektrotonik durum" diye adlandırdığı ve bir mıknatısla bir telde yaratılan özel durumu ifade etmekteydi. Bu durumda tel hareket ettirildiği bir elektrik akımı indüklenmekteydi. Ne var ki, Faraday daha görüşünü değiştirmiş ve sonunda elektrotonik durum fikrinden vazgeçmişti. Maxwell **A** vektörünü ortaya atarak dirilttiği bu kavrama "elektrotonik şiddet" adını verdi ve denklemlerinin birinde **E** elektrik alan vektörünün **A**'nın değişim hızına eşit olduğunu gösterdi. Bu denklem Faraday'ın manyetik indükleme yasasının doğrudan bir ifadesiydi.

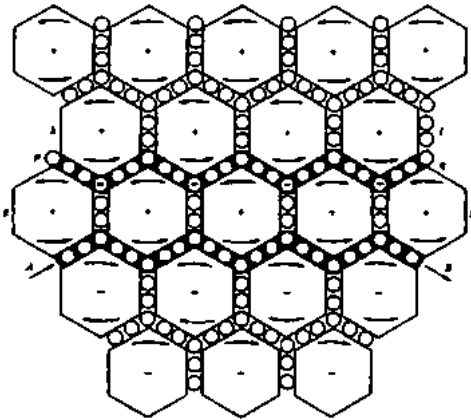
Maxwell'in görünüşte masum **A** vektörünün sonraki gelişim çizgisi ilginçtir. Maxwell ilk koyduğu "elektrotonik şiddet" daha sonra "elektromanyetik momentum" ve ardından "vektör potansiyeli" olarak değiştirdi. Maxwell'in yakın halefleri **A**'yı kusurlu bularak denklemlerden çıkardılar. Sonraki kuşak bu vektörü geri getirdi ve 1959'da David Bohm ile Yakir Aharanov, onsuz alanın tam belirlenemeyeceğini göstererek, ele avuca sığmaz **A**'ya elektromanyetik teorisinde sağlam bir yer kazandırdı.

Maxwell'in makalesinin yazardan izin alınarak gönderilen bir nüshasını okuduktan sonra, Faraday önemli bilimsel yazışma koleksiyonlarının hepsinde yer almayı hak eden bir mektupla cevap verdi. Önce şükranlarını bildirdi, kendi matematiksel saflığından dolayı özür diledi ve ardından hayret verici bir öneride bulundu:

SEVGİLİ BAYIM-Makalenizi aldım ve bunun için teşekkür ederim. "Kuvvet Çizgileri" hakkında söylediklerinizden dolayı teşekkür etmeye kalkmayacağım, çünkü bunu felsefi hakikat uğruna yaptığınızı biliyorum. Ancak, siz de tahmin edersiniz ki, bana minnet borcu olan bir çalışma bu ve üzerinde düşünmem için epey cesaret veriyor bana. Böyle bir matematiksel kuvvetin konuyla ilgili hale getirildiğini gördüğümde önce neredeyse irkildim ve daha sonra konunun buna gayet iyi oturduğunu görerek hayrete düştüm. Bu mektupla birlikte size başka bir makale gönderiyorum. Hakkında ne söyleyeceğinizi merak ediyorum. Bununla birlikte, ne kadar cüretkâr olursa olsun, düşünceleri kafa yormaya değer bulursunuz umarım. Bu yaz manyetik etkinin *süresi* [hız], daha doğrusu bir akım taşıyan telin etrafındaki duruma ilişkin varsayım için gerekli süre üzerine bazı deneyler yapma niyetindeyim. Süre herhalde ışık *süresi* gibi kısa olacaktır ama müspet çıkması halinde sonucun harikaliği beni umutsuzluğa düşmekten alıkoyuyor. Belki bu konuda hiçbir şey söylememem daha doğru olurdu, çünkü niyetlerimi gerçekleştirim çoğu kez uzun zaman alıyor ve aksayan hafızam beni zora düşürüyor.-En içten dostluk duygularıyla, M. Faraday.

Kariyerinin sonuna yaklaşmakta olan Faraday, henüz yirmi altı yaşında olan ve Aberdeen'de daha ikinci yılına giren Maxwell'e işte bunları yazmıştı. Maxwell'in makalesi epeyce uzundu ve denklemlerle doluydu, üstelik Faraday matematiksel dili çok az anlıyordu. Buna rağmen Maxwell'in mesajını sezmiş ve manyetik (ve belki de elektriksel) etkilerin anlık olarak değil, sonlu bir süre içinde iletildiğine ilişkin tahminini hatırlamıştı. Bu süre gerçekten de çok kısaydı ve Faraday'ın deneyleri başarıya ulaşamadı. Ama teorisyen Maxwell için, bu mektupta müthiş bir açılım vardı. "Manyetik etkinin süresi fikrinin ... Maxwell'in zihninde gökten inen bir şimşek gibi çıktığı anlaşıyor" diye belirtir Maxwell biyografisi yazarlarından Martin Goldman. "Elektromanyetik etkilerin anlık olmaması kuvvet çizgileri için elbette harika bir cephane olacaktı. Kaynağından ayrılan ama hedefine varmayan geçiş halindeki bir kuvvet eğer kuvvet çizgileri boyunca ilerleyen bir tür dalgalanma değilse, başka ne olabilirdi ki?"

Maxwell'in elektromanyetizma üzerine sonraki makalesi Faraday'ın tahminini bir başka tahminle eşleştirdi. Londra'dan 1861 ve 1862'den gelen bu makalenin başlığı *On Physical Lines of Force*'tu (Fiziksel Kuvvet Çizgileri Üzerine). Maxwell sihirbazlığı yeni bir analogiyle tekrar iş başındaydı. Bu analogi elektriksel ve manyetik kuvvetlerin iletiliği -Victoria dönemi bilim adamlarınca "esir" olarak adlandırılan- ortam ile çizim 12.3'te gösterilen bal peteğine benzer çapraşık girdap sistemi arasındaydı. Petekteki her hücre manyetik kuvvet çizgilerine paralel eksene sahip bir girdabı temsil ediyordu. Hücreler arasındaki daireler tıpkı bilyeler gibi girdaplar arasında yuvarlanan ve elektrik akımlarını taşıyan küçük elektrik parçalarını gösteriyordu. Maxwell bu mekanik esir modelinin, aynen daha önceki makalesinde kullandığı analogi gibi, dikkatle kullanılması gerektiği uyarısında bulundu: "Doğada varolan ve hatta bir elektrik hipotezi olarak gönül rahatlığıyla onay verebileceğim bir bağlantı biçimini ortaya atmıyorum. Ancak mekanik açıdan kavranabilir ve kolayca araştırılabilir bir bağlantı biçimi bu ve bilinen elektromanyetik fenomenler arasındaki gerçek mekanik bağlantıları ortaya koymaya yarıyor; dolayısıyla hiç çekinmeden diyebilirim ki, bu hipotezin koşula bağlı ve geçici karakterini anlayan biri, fenomenlerin doğru yorumunu bulma arayışında önünün kapatıldığını değil, açıldığını görecektir."



Çizim 12.3. Maxwell'in girdaplı esir modeli. Kaynak: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, ed. W. D. Niven (New York: Dover, 1952), c. 1, levha VIII, şek. 2.

Maxwell girdaplarını -ve de gerçek esiri- teorisinin daha sonraki evriminde çok önemli rol oynayan bir fiziksel özelliklerle donattı: Bu girdaplar esnekti. Maxwell her türden esnek ortamın çapraz (buradaki anlamıyla dalga yayılımının doğrultuna dik açılı) dalga hareketini desteklediğini ve dalga hızının ortamdaki belirli bir esneklik parametresine bağlı olduğunu biliyordu. Esir modelinden hareketle söz konusu parametre için bir değer ve buna dayanarak da esnek ortam içinde yayıldığını tasarladığı elektromanyetik dalgaların hızını bir biçimde hesaplamayı

başardı. Hesaplamayı yaptıktan sonra, büyük bir şaşkınlıkla sonucun daha önce Almanya'da Wilhelm Weber ile Rudolph Kohlrausch'un ışık hızıyla neredeyse tıpatıp aynı olduğunu gördü. Vargısını, pek alışkanlığı olamayan italik yazımla şöyle açıkladı: "Işığın elektriksel ve manyetik fenomenlerin nedeni olan aynı ortamdaki çapraz dalgalanmalardan oluştuğu vargısından kaçınmamız neredeyse kesinlikle olanaksızdır."

Dolaşan elektromanyetik dalgalar halindeki ışık: Bu basit bir fikirdi, yine de bilim ve teknoloji açısından doğurduğu sonuçlar ancak yüz yıl sonra ortaya çıkacaktı. Maxwell denklemlerinin geniş şemsiyesi altında, daha önce ilişkisiz olduğu sanılan iki büyük bilimi, elektromanyetizma ile optiği bir araya getirmişti. Artık bunların yakın akraba olduğunu ileri sürebilecek durumdaydı.

Bilimdeki çoğu devrimci gelişme gibi, Maxwell'in elektromanyetik dalgalar kavramı da yavaş bir süreçte benimsendi. Zamanla, Maxwell'in *Physical Lines of Force* makalesinden yirmi yıl kadar sonra, deneyciler elektromanyetik dalgaların nasıl yaratılacağına, belirleneceğine ve kullanılacağına kafa yormaya başladılar. Önce "elektromanyetik ışık" oluşturmaya çalıştılar ve bu girişim sonuçsuz kaldı. Ardından son derece farklı türden elektromanyetik dalgalar aramaya koyuldular ve çarpıcı bir başarıya ulaştılar. Bu çalışmanın kahramanı, olağanüstü yeteneğinden ve kısa ömründen dolayı fiziğin Mozart'ı olarak bilinen Heinrich Hertz'di. Onun hikâyesine daha sonra döneceğiz.

Hertz'in dalgalar bugün radyo dalgası ve mikrodalga dediğimiz şeylerdi. Radyo iletişimi ve onun yavrusu televizyon ilkel biçimleriyle Hertz'in laboratuvarında doğdu. Bugün kavradığımız üzere, radyo dalgaları, mikrodalgalar ve ışık dalgaları geniş, kesintisiz bir elektromanyetik tayftaki "renkler"dir. Dalga boylarına göre ayırt edilen radyo dalgaları ve mikrodalgalar uzun, ışık dalgaları ise kısadır. Aralarında kızılötesi ışınlam dediğimiz elektromanyetik "renkler" yer alır. Görünür ışığın kısa dalga boyu tarafında morötesi ışınlam, x ışınları ve gamma ışınları vardır. Radyo dalgalarının ve gamma ışınlarının dalga boyları arasında on üs büyüklüğünde astronomik bir fark vardır. Bu buluşlar, ne yazık ki Maxwell ve Hertz'in tanık olamadığı 19. yüzyılın son on ve 20. yüzyılın ilk yirmi yılında gün ışığına çıktı.

Maxwell esir modelinin esneklik özelliğinden daha incelikli bir başka sonuç çıkardı. Değişen bir elektrik alanında girdaplar gerildiğinde ya da sıkıştırıldığında, girdaplar arasındaki elektrik parçacıkları yer değiştiriyor ve bunların hareketleri Maxwell'in "yer değiştirme akımı" dediği şeye yol açıyordu. Diğer her akım gibi, bu da Ørsted tarzında bir manyetik alan yaratabiliyordu. Maxwell bu ihtimali denklemleri arasına aldı. Bu eklemeye birlikte Maxwell'in denklemler listesi, biçim bakımından farklı olmakla birlikte, günümüzün ders kitaplarındaki "Maxwell denklemleri"yle aynı matematiksel hikâyeyi anlatan bir yapıya kavuştu.

1865 başlarında Maxwell (sonraki aylarda "yürek, kafa ve parmaklar" öğüdünü vereceği) kuzeni Charles Cay'e şunu yazdı: "Elektromanyetik ışık teorisi üzerine bir başka makalem ortaya çıkmak üzere. Aksine inandırılmadığım süre-

ce, bunun bir ağır top gibi müthiş gürültü koparacağını sanıyorum.” Elektromanyetizma üzerine üçüncü armağanı olan *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (Elektromanyetik Alanla İlişkin Dinamik Bir Teori) başlıklı bu makale, çoğu yorumcu tarafından Maxwell’in en başta gelen başarısı sayılır. Başlığa ilişkin açıklaması şöyleydi: “Önerdiğim teoriye ... bir *Elektromanyetik Alan* teorisi denebilir, çünkü elektriksel ya da manyetik cisimlerin çevresindeki uzayla ilgisi var. Bir *Dinamik* teorisi de denebilir, çünkü bu uzayda hareket halinde madde bulunduğunu ve bu maddenin gözlemlenen elektromanyetik fenomenlerin ortaya çıkmasını sağladığını varsayıyor.”

“Hareket halindeki madde”, daha önceki *Lines of Force* makalelerinde olduğu gibi, esirdi ama bunu artık mekanik tuzaklara düşmeden ele alıyordu. Sıvılar, girdaplar ve elektrik parçacıkları ortalıktan kaybolmuştu. Bunların yerinde, Newton’un mekanik sisteminin bir genelleştirmesi olarak 18. yüzyılda Joseph Lagrange tarafından ortaya atılan soyut bir analitik metot vardı. Lagrange yaklaşımının büyük avantajı, gizli mekanizmalara özgü dünyanın yukarısında ve ötesinde bir işlerlik taşımasıydı. Bu mekanizmalar gerçekte de orada (sözgelimi esirin içinde) olabiliirdi ama Lagrange’in yolundan giden teorisyenin bunları dert edinme mecburiyeti yoktu.

Thomson ve P. G. Tait kapsamlı eserleri *Treatise on Natural Philosophy*’de (Doğa Felsefesi Üzerine İnceleme) Lagrange’in analitik mekaniğinden geniş çapta yararlanmışlardı. Maxwell bu esere ilişkin bir değerlendirme yazısında Lagrange’in metodunun “her karmaşık nesneyi incelerken dikkatimizi gözlemlenebilir ve değiştirilebilir unsurlar üzerinde toplamamız, gözlemlenemeyen ve değiştirilemeyen unsurları ise gözardı etmemiz gerektiği yolundaki bilimsel ilkenin matematiksel bir ifade biçimi” olduğunu açıkladı. Kafası karışanlar için de şöyle bir metafor sundu: “Sıradan bir çan kulesinde, her çanın döşemedeki bir delikten geçerek aşağıdaki zangoç odasına inen bir halatı vardır. Ama varsayalım ki her halat tek bir çanı etkilemek yerine mekanizmanın birçok parçasının hareketine katkıda bulunuyor ve her parçanın hareketi yalnızca tek bir halatın değil, birkaç halatın hareketiyle belirleniyor olsun. Dahası varsayalım ki bu mekanizma sessiz ve halatların başındaki adamlar için tamamen meçhul olsun.” Zangoç halatlarının her biri kendisiyle ilgili bilgileri sağlar ve halatlar karmaşık çan sisteminin potansiyel enerjisini ve kinetik enerjisini elde edecek biçimde idare edilebilir. Lagrange’in metotlarını uygularsak, “halatlardan her birine ve bütün diğerlerine verili kuvvetlerle etkide bulunduğu zaman, bu veriler o belirli halatın hareketini belirlemek için yeterlidir. Halatların başındaki adamların bütün bilebileceği şey budur. Eğer yukarıdaki mekanizmanın halatlara oranla daha geniş özgürlük dereceleri varsa, bu özgürlük derecelerini ifade eden koordinatların gözardı edilmesi gerekir. Bu konuda yapılabilecek bir şey yoktur.”

İleride 19. Bölüm’de bu ince felsefenin farklı bir versiyonunu irdeleyeceğiz; bu versiyon kuantum teorisinin başka bakımlardan tuhaf bazı öngörülerinden kaçış yolunu sağlar. Kuantum teorisyenleri Lagrange mekaniğini uygulamazlar ama farklı nedenlerden dolayı kendilerini Maxwell’in sözünü ettiği zangoçlar gi-

bi görürler. Esasen istatistiksel açıklamalarının altında gizli bir dünya varsa, düşünce alışverişlerinde bunu es geçmeye mecburdurlar ve “bu konuda yapılabilecek bir şey yoktur.”

Maxwell daha önce *Lines of Force* makalelerinde elde ettiği bütün matematiksel donanımı türetmek için Lagrange metodunu kullandı ve ardından daha ileri giderek “elektromanyetik momentum”unun bir ölçüsü olarak **A** vektörünü belirlemeye, böylece elektromanyetik alan enerjisini hesaplamaya girişti. Bu ek unsurlarla elektromanyetizma teorisi tamamlanmış oldu. Yaklaşık on yıl sonra, 1873'te Maxwell teorisini ve elektromanyetizmanın başka birçok yönünü okuması zor iki ciltlik *A Treatise on Electromagnetism* (Elektromanyetizma Üzerine İnceleme) adlı eserinde özetledi. Yalnızca iltifat içermeyen bir nitelendirmeyle elektromanyetizmanın *Principia*'sı olarak anılan bu eserde Maxwell denklemleri aşağı yukarı modern vektör formatıyla yer alır.

Maxwell araştırmalarında elektromanyetizmanın yanı sıra gaz teori, termodinamik, Satürn halkaları ve renk görüşü gibi birçok konuyla uğraştı. Bir başka “dinamik” teori olan moleküler gaz teorisi, önem bakımından elektromanyetik alan teorisinin hemen ardından ikinci sırayı alır. Fiziğe makroskobik molekül sistemlerini açıklamaya yönelik istatistiksel metotları ilk kez kullanma gibi başka bir devrimci gelişme getirdi. Önce Boltzmann'ın ve daha sonra Gibbs'in ellerinde, Maxwell'in istatistiksel yaklaşımı günümüzde “istatistiksel mekanik” denen zarif teorik araca dönüştü.

Nesneler İçin Semboller

Maxwell'in hikâyesinde sonraki evre 1870 yılının sonlarında, Glenlair'de kalırken Cambridge'in yeni bir fizik profesörlük kadrosu açacağını işitmesiyle başladı. Üniversite fen eğitiminde İskoç ve Alman üniversitelerinin, hatta Oxford'un gerisine düştüğünü geç kalsa bile kavramıştı. Özellikle acil ihtiyaçlardan biri öğrenciler ve araştırmalar için laboratuvar tesisleriydi. Alışlagelmiş yöntemle atanan komisyon hatırı sayılır bir harcama gerektiğini bildirdi ve bu karar fen dalları dışındaki öğretim üyelerinin muhalefetiyle karşılaştı. Tam konunun kapatılacağı sırada, üniversitenin rektörü Devonshire Yedinci Dükü, büyük bir cömertlik göstererek, yeni bir laboratuvarın faturasını ödemeyi önerdi. Dükün soyadı Cavendish'ti ve 18. yüzyılda elektrik alanında öncü deneyler yürütmüş olan Henry Cavendish adlı içine kapanık aristokrat fizikçi ve kimyacının akrabasıydı. Ayrıca Maxwell gibi Cambridge'de okurken İkinci Cengâver olmuş ve Smith Ödülü kazanmış biriydi.

Dükün önerisi kabul edildi ve Cavendish Laboratuvarı adı verilen yeni tesisi yönetmek üzere bir deneysel fizik kürsüsü oluşturuldu. Görev önce Thomson'a teklif edildi ama onun Glasgow'da oturmuş bir hayatı vardı ve oradan ayrılmayı aklından geçirmiyordu. Bunun üzerine ondan Helmholtz'un ağızını araması istendi ve bu girişim de boşa çıktı. Helmholtz daha kısa bir süre önce Berlin'de fizik profesörlüğüne ve yeni bir fizik enstitüsünün müdürlüğüne atanmıştı. Üçüncü seçenek Glenlair'de mutlu ve hâlâ yaratıcı bir hayat sürdüğü için razı edileme-

yen Maxwell'di. Ancak görev duygusundan kaçmasına olanak yoktu ve ilk yılın sonunda fikrini değiştirmesine izin verilmesi koşuluyla göreve aday olmayı önerdi. Karşı çıkan olmadı, göreve o seçildi ve böylece Cambridge farkında olmadan üç adayın en büyüğünü kazanmış oldu.

Maxwell görevde kaldı ve onun titiz ve uzmanca gözetimi altında yeni laboratuvarın kuruluşu ilerledi. Dehası teorik çalışmaya dönmüştü ama aynı zamanda işinin ehli bir deneyciydi. Pratik ve zekice bir tasarıma dayanan Cavendish Laboratuvarı, bir yüzyılı aşkın bir süre Cambridge'de fizik dersinin ihtiyaçlarına cevap verdi. Ama planlama, danışma ve inşaat işlerinin yavaş yürümesi nedeniyle, Maxwell iki yıl boyunca mesleki bir barınaktan mahrum kaldı. "Kürsümü dikecek bir yerim yok" diyordu Campbell'a yazdığı bir mektupta, "ufak tefek eşyayı birinci sınıfın kimya dersliğinde saklayarak, guguk kuşu gibi ortalıkta dolanıyorum. Büyük Perhiz'de meskenim Botanik, Paskalya'da ise Karşılaştırmalı Anatomi."

Göreve yeni atanmış bir profesör olduğu için, Maxwell bir açılış dersi vermek durumundaydı ve tantana koparmadan gereğini yaptı. Aslında bu öylesine alelusul bir işti ki, Cambridge öğretim üyelerinin çoğu dersi savıp geçerd. Derken, pek de masumane denemeyecek bir girişimle, Maxwell ilk akademik dersiy-le ilgili resmi bir duyuru astı. Derste hazır bulunan koskoca bilim adamlarına ve matematikçilere, Celsius ve Fahrenheit sıcaklık ölçeklerine ilişkin ayrıntılı açıklamalar ikram edildi.

Ancak açılış dersi varlığını sürdürdü. Maxwell'in bastırdığı metin, ona has bilgeliği ortaya koyan birinci sınıf bir kaynaktır. Deneyssel ve teorik bilim arasındaki etkileşime ilişkin hâlâ kulaklara küpe edilen öğütler sunar. "Her deneyde" diye anlatıyordu (muhtemelen pek kalabalık olmayan) dinleyici kitlesine, "önce duyularımızın fenomene aşına olmasını sağlamalıyız ama o noktada kalmamalıyız, fenomenin eksiksiz bir belirlemesini yapmak açısından hangi özelliklerinin ölçüme elverişli olduğunu ve ne tür ölçümlerin gerektiğini araştırıp öğrenmeliyiz. Bu ölçümleri yapmalıyız ve onlardan bulmamız gereken sonucu çıkarmalıyız."

Maxwell ölçme ve süzme süreçlerinin zorlu ve karmaşık olduğunu vurguluyordu. Ne esef vericidir ki, diyordu, "önümüzdeki birkaç yıl içinde fiziğin bütün önemli sabit değerlerinin yaklaşık olarak hesaplanacağı ve bu durumda bilim adamlarına kalan tek uğraşın ölçümleri bir başka ondalık basamağa taşımak olacağı kanaati herkesin ağzına pelesenk olmuş gibi görünüyor."

Oysa büyük bilimsel buluşçular böyle iç karartıcı çıkmazlarla karşılaşmazlar: "Yaratımın araştırmaya geçit vermeyen zenginlikleri ve bu zenginliklerin serpileceği o körpe dimağların sınanmamış bereketi hakkında böyle düşünmeye hakkımız yok." Tam tersine:

Bilim tarihi şunu gösteriyor ki, bütün çabaların uzun süredir aşına olunan niceliklere ilişkin sayısal ölçümlerin kesinliğini geliştirmeye hasredildiği ilerleme evresinde bile, bilim ilk öncülerin kaba metotlarıyla yetinme durumunda meçhul kal-

miş olabilecek yeni bölgeleri fethetmeye yönelik malzemeleri hazırlar. Titiz ölçüme harcanan emeğin yeni araştırma alanlarının keşfedilmesiyle ve yeni bilimsel fikirlerin gelişmesiyle nasıl ödüllendirildiğini göstermek üzere, her bilim dalından derlenmiş örnekler sunabilirim size.

(25. Bölüm'de kuantum elektrodinamiğiyle ilgili değerlendirmeye baktığınızda, en büyük başarılarının çok incelikle arıtılmış bazı ölçümlere dayandığını göreceksiniz.)

Maxwell'in öngördüğü deneysel fizik programıyla Cambridge'in teorik akıl yürütmeye dönük yoğun eğitime dayalı Tripos geleneği arasında dünyalar kadar fark vardı. Ama uzlaşmaz bir çatışmaya gerek olmadığını şöyle belirtiyordu Maxwell: "Bilgiyi zihne işlemede bunu olabildiğince farklı yollarla sunmaktan daha güçlü bir yordam yoktur. Farklı geçitlerden içeriye süzülen fikirler zihnin hisarında bir kavaşı ele geçirdiği zaman, yerleştikleri mevzi artık zapt edilemez hale gelir."

Gerek öğretmenin gerek öğrencinin sorunu "eğitimin teorik kısmını pratik kısmıyla irtibatlı hale getirmek ... ve Faraday'ın 'zihinsel eylemsizlik' dediği şeyin tam etkisini [alt etmek], sadece önümüzde somut nesneler arasında daha önce kitaplarda okumuş olduğumuz soyut ilişkiyi kavrama gücünün değil, zihni sembollerden nesnelere ve tekrar nesnelerden sembolere çekeştirmenin yol açtığı dikkat dağıtıcı buruntunun [üstesinden gelmektir]. Ama bu güçlükleri aştığımızda ve soyut ile somut arasında bir köprü kurduğumuzda, elde ettiğimiz şey sırf bir bilgi parçası değildir: Kalıcı bir zihinsel cevherin temelini kazanmış oluruz."

1870'lerin Cavendish kürsüsü profesörü Maxwell 1850'lerin öğrenci Maxwell'le çarpıcı bir benzerlik taşıyordu. Onu her iki aşamada da tanımış olan Cambridge dostlarından biri Campbell'a şöyle bir kişilik taslağı çizmişti:

Cambridge'den ayrıldığımızda Maxwell'le ilişkilerim koptu. On beş yıllık bir aradan sonra 1872'de döndüğüm zaman, bir süre önce yeni Cavendish Laboratuvarı'nın başına geçmişti ve onunla dostluğumu tazeleme fırsatını yakalama mutluluğunu duydum. Haliyle yaşı getirdiği daha bir ağırbaşlılık vardı üzerinde ama yüreği eskisi kadar sıcak ve zihni de eskisi kadar diri. ... Konuşma tarzındaki kendine has eski tuhafıklar neredeyse hiç değişmemişti. İç içe geçerek ördükleri mi-zahi örtünün altında kalan düşüncelerinin akışını okumak hâlâ kolay bir iş değildi; yine de bu bulanıklık eskiden olduğu gibi ısıtılı bir patlamayla aydınlanıyordu ara sıra.

Maxwell'in araştırma öğrencileri vardı ama onları kalıba dökerek ortak bir amaçla yönelik bir ekip haline getirmek onun üslubu değildi. İlk Cavendish öğrencileri arasında yer alan Arthur Schuster'in aktardığına göre, Maxwell'in bakış açısıyla "gerek bilimin ilerlemesi gerek öğrencinin zihinsel eğitimi açısından en doğrusu herkesin kendi yolunda gitmesiydi. İster temel öneme sahip hususlara,

ister ufak tefek ayrıntılara dokunsun, her türden bilimsel sorgulamaya [Maxwell'in beslediği] sempati sanki tükenmez gibiydi. Öğrencinin yanlış yolda olduğunu düşündüğü durumlarda bile her zaman özendirici davranırdı. 'Bir adamı bir deneye girişmekten asla caydırmam, istediği şeyi bulamasa bile, belki başka bir şeyi öğrenebilir' demişti bir keresinde bana."

Maxwell'in ders verdiği kitle ufacıktı. Hırslı öğrenciler Tripos sınavları için özel rehber hocalardan eğitim alırdı. Diğer üniversite profesörleri gibi Maxwell'in dersleri de cengâver adayları için pek "zahmete değer" değildi. Yine ilk Cavendish öğrencilerinden John Fleming şunu belirtir: "Maxwell'in derslerine giren öğrencilerin sayısı nadiren bir elin parmaklarını geçerdii ama onun doğruları sunmadaki orijinal ve çoğu kez paradoksal tarzını izleyebilenler için, öğretmenliği ender bulunur bir düşünsel ikramdı." Cambridge'deki Lucas kürsüsü profesörlüğü sırasında Newton'un da çoğu zaman "duvarlara ders anlattığı" söylenir.

Başlangıçta biraz gönülsüz olmakla birlikte, Cavendish kürsüsü profesörü 18. yüzyılda dikkate değer bazı elektrik araştırmaları yürütmüş olan Henry Cavendish'in makalelerini yayıma hazırlama gibi devasa bir görevi üstlendi. Çok geçmeden projeye daha büyük coşkuyla sarıldı, çalışmaları kadar kişi olarak Cavendish'i de sevdi. "Cavendish yayından çok araştırmaya önem verirdi" diye yazar Maxwell, *The Electrical Researches of the Honorable Henry Cavendish*'in (Muhterem Henry Cavendish'in Elektrik Araştırmaları) giriş bölümünde. "Kendisi dışında kimsenin uğraşmaya değer bulmadığı ve hatta farkında olmadığı bir güçlüğü ayıklamak için en zahmetli araştırmalara girişirdi." Burada Maxwell'in takdir ettiği şey amaç saflığı ve şöhreti umursamazlıktı.

Cavendish makalelerinin editörlüğünü yapmak, Maxwell'in bilim tarihine duyduğu derin hayranlığın tadını doyasıya çıkarmasını sağladı. Daha açılış dersinde şunları söylemişti:

Bilim tarihinin tarih biliminden çok farklı olduğu doğrudur. Bizler silik insanlardan oluşmuş kalabalıkları harekete geçirdiği, hükümdarlıkları ve iktidarlara sarstığı ve akli başında insanları felsefecilerce ortaya konmuş bir düzen içinde olaylara yön vermeye zorladığı söylenen kör kuvvetleri incelemiyoruz ya da incelemeye çalışmıyoruz.

Bilim tarihinde adlarına rastlanan kişiler, bir kalabalığın sırf faraziyeyle dayalı ve ancak kitle halinde bir şeyi yapmaya razı edilebilecek unsurları değildir. Onları tıpkı bize benzeyen kişiler olarak tanırız. Tutkunun etkisinden daha fazla sıyrılmış ve diğerlerine göre daha doğru kayda geçirilmiş düşünceleri de insan mizacının daha serinkanlı yönlerini incelemek için daha uygun bir malzemedir.

Ama bilim tarihi başarılı sorgulamaların sıralanmasıyla sınırlı değildir. Bizce başarısız irdelemelerde anlatması ve en mahir insanlardan bazılarının bilginin anahtarını bulmada niçin aciz kaldığını, başka bazıları için şöhretin içine düşükleri hatalara nasıl daha sağlam bir zemin hazırladığını açıklaması gerekir.

Heinrich Hertz

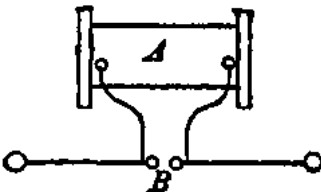
Maxwell 1879'da öldüğünde, elektromanyetik alan teorisi ve bunun hayret verici dölü olan elektromanyetik dalgalar pek az deneysel dayanağa sahipti. Maxwell tarafından hesaplanan elektromanyetik dalga hızının ışık hızıyla uyduğu yolundaki dolaylı kanıt vardı elde yalnızca.

Maxwell'in hemen peşinden gelen halefleri elektromanyetik dalgalara kafa yordular ama başlangıçta bunları laboratuarda incelemek için elverişli bir yol bulamadılar. Hem elektromanyetik dalgaların incelenmesi hem de Maxwell'in teorisinin akıbeti açısından dönüm noktası, Heinrich Hertz'in büyük bir ustalıkla yürüttüğü bir dizi deneyden kaynaklanan düşünsel depremin gücüyle geldi.

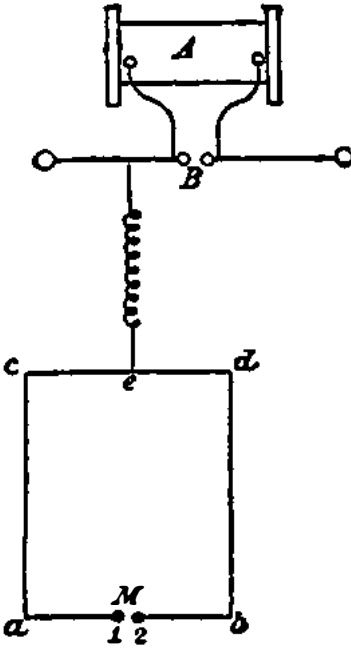
Yıl 1887'ydi ve Hertz kısa bir süre önce Almanya'nın Baden şehrindeki Karlsruhe Politeknik Okulu'nun öğretim kadrosuna katılmıştı. Henüz otuz üç yaşında olmakla birlikte tanınan biriydi ve akademik dünyada hızla yükselmekteydi. Berlin'de Helmholtz'un en parlak araştırma öğrencisi olmuş, ardından kısa bir süre Kiel Üniversitesi'nde *Privatdozent* (okutman) olarak çalışmıştı. Karlsruhe'de tam bir profesördü artık.

Karlsruhe'de göreve başladığında Maxwell'in teorisinden haberdardı ama kendini bu teoriye hasretmiş değildi. Daha önce Maxwell'in varsayımlarını test edecek deneyler hazırlama sorununa (saygın bir ödülün eşliğinde) ilgisini çekmeye çalışan Helmholtz'un girişimini nazikçe geri çevirmişti. Hedefi gazlarda elektriksel boşalmaları incelemeyi sağlayacak bir aygıt oluşturmaktı. Karlsruhe laboratuvarındaki donanımın parçalarından biri Rühmkorff bobini denen (ve benzinli bir motorda kıvılcım çakmaya yarayan ateşleme bobiniyle uzaktan benzerliği olan) kıvılcım çakmağıydı. Hertz bu bobini kurcalarken, Çizim 12.4'te çizimi verilen konfigürasyondaki işleyiş ilgisini çekti. A bobini 0,75 santimetre aralıkla ayrılmış iki küçük pirinç küreye, ayrıca uçlarında 30 santimetre çaplı metal küreler bulunan üç metre boyundaki iki düz ve kalın bakır tele bağlıydı. Bobin çalır hale getirildiğinde, B boşluğunda üst üste kıvılcımlar çakıyordu.

Hertz bu bobin devresini, Çizim 12.5'te görüldüğü gibi, elektriksel olarak bir tel ilmeğe bağlayabileceğini ve ilmek büyüklüğünü dikkatlice ayarlayarak, M boşluğu boyunca gözlemlenebilir kıvılcımlar elde edebileceğini saptadı. Ardından bağlantıyı sağlayan teli kaldırıncı da tel ilmekte kıvılcımlar elde edilebileceğini keşfetti (Çizim 12.6).



Çizim 12.4. Hertz'in bobin devresi. Bu ve izleyen iki çizimin uyarılanarak alındığı kaynak: Heinrich Hertz, "Çok Hızlı Elektrik Titreşimleri Üzerine", Wiedemann, *Annalen der Physik und Chemie*, 31 (1887): 431.



Çizim 12.5. Hertz'in kıvılcım aralığı olan bir tel ilmeğe bağlanmış bobin devresi.

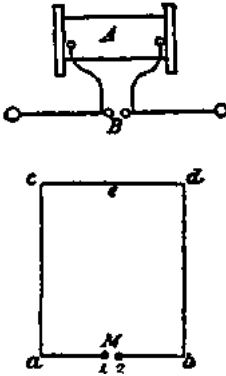
İki devreyi elektriksel olarak bağlayan hiçbir tel olmadığına göre, bunlar birbirleriyle nasıl iletişime giriyordu? Bu noktada Hertz, aygıtın elektromanyetik dalgalar ürettiğini ve ortaya çıkardığını kavramaya başladı. Dalgaların kaynağı bobin devresindeki her kıvılcımın başlattığı bir dizi elektriksel titreşimdi. Dalgalar bir tel boyunca -ve hatta boş uzay içinde- yayılarak tel ilmeğe ulaşıyordu ve bunların varlığı ilmek aralığında gözlemlenen kıvılcımlarla açığa çıkıyordu.

Her türden dalganın üç temel ayırıcı özelliği vardır: Bir dalganın iki tepesi arasındaki uzaklık olan dalga boyu, bir zaman birimi içinde belirli bir noktadan geçen dalga çevrimlerinin sayısı olan frekans, bir zaman birimi içinde bir dalga tepesinin aldığı mesafe olan yayılma hızı. Hertz her şeyden önce dalgaların hızıyla ilgileniyordu. Acaba bu hız sonlu muydu? Öyle olması halinde, Maxwell'in teorisi bir mesafede etkime ve sonsuz yayılma hızı kavramı üzerine kurulu rakip teoriler karşısında güçlü bir dayanağa sahip olacaktı. Hertz bu kilit belirlemeye varmayı sağlayacak bir yolu çok geçmeden buldu. Her türden dalga için geçerli olan, s hızı, ν frekansı ve λ dalga boyu arasında bağlantı kuran şu basit denklemi esas aldı:

$$s = \lambda \nu$$

(1)

Bu denklemde ν frekansı, daha önce Thomson'ın geliştirdiği bir formülü kullanarak, bobin devresindeki telin uzunluğunda ve metal kürelerin çaplarından hesaplanabilirdi. Hertz hesaplanan frekansların olağanüstü yüksek olduğunu, saniyede yüz milyon çevrime kadar ulaştığını gördü. λ dalga boyunu ölçmek için, dahice bir yaklaşımla, aygıtın düz bir tel boyunca ya da boş uzay içinde (bir keman teline benzer) "sürekli dalgalar" üretmesini sağlayacak bir konfigürasyon oluşturdu. Tel ilmek detektörlerinden birini kullanarak dalgaların tepe ve çukur noktalarını saptadı, böylece bir tepeden diğerine ölçülen uzaklığın dalga boyu olduğunu belirledi.



Çizim 12.6. Hertz'in bobin devresinin ve tel ilmeğinin birbirinden ayrılmış hali. İlmekteki boşlukta hâlâ kıvılcımlar çıkıyor.

Bu arada çetin sorunlar ortaya çıktı. Hertz can sıkıcı bir hesaplama hatası yaptı. Dalgalar laboratuardaki bir demir ocak ve diğer nesneler yüzünden çarpıldı. Ama sonunda denklem (1) Hertz'in beklediği hikâyeyi anlattı: Elektromanyetik dalgaların sonlu bir hızı vardı. Daha doğrusu saniyede üç yüz milyon metre olduğu bilinen ışık hızının ta kendisiydi bu.

Maxwell'in teorisini destekleyici güçlü bir gerekçe bulmakla yetinmeyen Hertz, daha da ileri giderek, Faraday'ı hayran bırakacak bir titizlik ve yaratıcılık sergiledi. Bulduğu elektromanyetik dalgaların yansıtılma, odaklanma, kırılma, saptırılma ve kutuplanma özellikleri gösterebildiğini, bir başka deyişle frekans ve dalga boyu dışında ışık dalgalarıyla her bakımdan aynı olduğunu ortaya koydu.

Deneylerle geçen yaklaşık bir "mucize yıl"ın sonunda, Maxwell yanlıları ile bir mesafede etkiye savunucuları arasındaki büyük tartışmayı sona erdirmişti Hertz. Şaşırtıcı olmayan bir gelişmeyle, Hertz'in çalışmaları Britanya'da çarçabuk kabul görünürken, bir mesafede etkiye anlayışının en güçlü olduğu Almanya'da benimsenme süreci çok daha yavaş oldu. Şaka yollu Almanlar'ın ancak İngilizler sayesinde Hertz'i tanıdığı söylenmeye başladı. Ama 1889 yazında Hertz'in zaferi artık kesin tescil edildi, Heidelberg'deki bir toplantıda Almanya'nın en büyük bilim adamlarınca kutlandı. Aynı yıl Bonn'da Clausius'tan boşalan kürsüye atandı.

İşin trajik tarafı, Hertz yetenekten yana ne kadar nasipliye, sağlıktan yana o ölçüde nasipsizdi. Bu marazın ilk belirtisi 1888'de bir dizi diş ağrısı oldu ve ertesi yıl bütün dişleri çekildi. 1892'ye doğru burun ve boğaz ağrıları çekmeye başladı, sıkça moral bozukluğuna düştü. Doktorları bir türlü tatmin edici bir teşhis koyamıyordu. Çeşitli ameliyatlar kalıcı bir rahatlama getiremedi. Aralık 1893'te artık iyileşmeyeceğini anladı ve anne babasına yazdığı bir mektupta şunu belirtti: "Yas tutmak yerine ... benim kaderine çok kısa ama yeterince dolu bir hayat yazılmış sevgili kullardan biri olduğumu düşünerek bir parça gurur duymalısınız. Ben bu yazgıyı seçmedim ama başıma geldiğine göre, memnun olmalıyım. Eğer seçme şansını bana verilseydi, belki kendim de bunu seçerdim."

Hertz 1894 yılbaşında kan zehirlenmesinden öldüğünde daha otuz altı yaşındaydı.

"Maxwell Denklemleri"

Bir bilimsel teori yaratıldıktan sonra kamunun malı haline gelir. Teorinin (ve de teorisyenin) dostları ve düşmanları hem içerik hem de biçim açısından uygun gördükleri değişiklikleri ileri sürme hakkını bulurlar kendilerinde. Eğer teori başarıya ulaşmışsa, büyük olasılıkla içerik az çok kalıcılığını korur. Ama biçim -bir fizik teorisinin matematiksel kalıbı- o kadar dayanıklı olmayabilir. Newton'un *Principia*'daki geometrik matematiksel dili pek uzun ömürlü olmadı, Clausius'un matematiksel açıdan özenle işlenmiş entropi teorisi versiyonu da aynı akıbetten kurtulamadı. Yine de Newton'un hareket yasalarının ve entropi kavramının fiziksel içeriği hâlâ capcanlı duruyor.

Maxwell'in teorisi benzer bir yazgıyla karşılaştı. *Treatise On Electricity and Magnetism*'de ortaya attığı fizik savlarının çoğu birer demirbaşdır. Buna karşılık denklemlerine başka ellerle yeniden biçim verilmiştir. *Treatise*'de gördüğümüz haliyle bu denklemler sayıca bir düzinedir. Maxwell'in halefleri, özellikle Hertz ve İngiliz Maxwell yandaşlarının en yeteneklisi Oliver Heaviside, denklemleri daha da "arıtmak" istediler. Yardımcı denklemleri çıkardılar, **A** vektör potansiyelini ve buna eşlik eden Ψ skaler potansiyelini bertaraf ettiler, böylece orijinal bir düzineyi yalnızca dört diferansiyel denkleme indirgediler.

Bu "Maxwell denklemleri"nin matematiksel unsurları **E** elektrik alan vektörü, **B** manyetik alan vektörü, **J** elektrik akım vektörü ve ρ elektrik yükü yoğunluğudur. **E** ve **B** için birer tane olmak üzere, iki ıraksama denklemi ve iki dolanma denklemi vardır:

$$\text{ıra } \mathbf{E} = \rho \quad (2)$$

$$\text{dol } \mathbf{E} = - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\text{ıra } \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

$$\text{dol } \mathbf{B} = \frac{\mathbf{J}}{c} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (5)$$

Burada “ıra” ve “dol” kısaltmaları ıraksama ve dolanmanın karşılıklarıdır, c ise ışık hızıdır; “ ∂ ” gösterimiyle yazılan türevler sadece t zamanı için hesaplanır ve diğer bütün değişkenler sabit tutulur. (Matematikçiler bunları “kısmi” türevler ve denklemleri de “kısmi diferansiyel denklemler” olarak adlandırır.) Denklemlere en simetrik -ve de matematiksel açıdan en az azap verici- biçimi vermek için, elektromanyetik alanın bir boşlukta yayıldığını varsaydım.

Modern yorumuyla ıraksama denklemi (2), E elektrik alanının (ρ elektrik yükü yoğunluğu içinde yer alan) elektrik yüklerince yaratıldığını belirtir. Buna eşlik eden dolanma denklemi (3), E açısından bize Faraday’ın gözlemlemiş olduğu şeyi anlatır: Değişen B manyetik alanında dolanmalı elektrik alanı oluşur.

Manyetik alanına ilişkin ıraksama denklemi (4), ρ elektrik yükü yoğunluğunun bir manyetik karşılığının olmaması dışında, elektrik alanına ilişkin denklem (2)’ye paraleldir. Burada elektrik ve manyetizma arasındaki temel bir farklılığı görmekteyiz. Pozitif ya da negatif elektrik türlerinden biri ağır basarak, net ρ yük yoğunluğunun pozitif ya da negatif olmasını sağlayabilir. Ama bir manyetik bu şekilde ayrılamaz: Alandaki her kuzey kutbu bir güney kutbuyla tam olarak dengelenir, gözlemlenebilir bir “manyetik yük yoğunluğu” yoktur ve ıraksama denklemi (4)’un sağ tarafında sıfır bulunması zorunludur.

İkinci dolanma denklemi (5), ilk iki teriminde ($\text{dol } \mathbf{B} = \frac{\mathbf{J}}{c}$) Ørsted’in gözlemlemiş olduğu şeyi ortaya koyar: $\mathbf{J}$ elektrik akımıyla dolanmalı $\mathbf{B}$ manyetik alanı oluşur. Denklem (5)’teki üçüncü terimin $\left(\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\right)$ özel anlamı vardır. Maxwell bu terim olmadan denklemin temel elektrik yasasına, yani enerji gibi elektrik yükünün de korunduğu savına aykırı düşeceğini kanıtlamıştı: Elektrik yükü yoktan var edilemez ve vardan yok edilemez. Denklem (5)’teki üçüncü terim, yük korunumu ilkesini kurtarır ve boş uzayda bile bulunan her yerde hazır ve nazır bir elektrik akımı türünü (Maxwell’in “yer değiştirme akım”ını) ifade eder.

Maxwell’in denklemlerinde somutlaşan alan teorisi, 19. yüzyıl, yani “klasik” elektromanyetizma teorisinin defterini dürdü. Ayrıca 20. yüzyıla da sarkan uzun bir erimi oldu. Einstein özel görelilik teorisinde (Bölüm 14) uzay ve zaman kavramlarını köklü bir yeni yapıya kavuşturmak için gerek duyduğu ipucunu önce Maxwell denklemlerinde buldu ve ardından kendi kütleçekimi alanı teorisinde Maxwell’in elektromanyetik alan teorisini izledi. Daha yakın dönemde, kuantum alan teorisi parçacık fiziğinin dayanağı oldu.

Maxwell’e şükran borcunu anlatan bir yazısında, Einstein şunu belirtir: “İnsanlar Maxwell’den önce fiziksel gerçekliği -doğadaki olayları temsil ettiği ölçü-

de- yalnızca tam [yani kısmi türevlerin yer almadığı] diferansiyel denklemlere bağlı hareketlerle değişime uğrayan maddi noktalar gibi düşünürlerdi. Maxwell'den sonra ise fiziksel gerçekliği mekanik yaklaşımla açıklanamayan, kısmi [yani kısmi türevlerin yer aldığı] diferansiyel denklemlere bağlı kesintisiz alanlarda ifade bulacak biçimde düşünmeye başladılar. Gerçekliği kavrayıştaki bu değişim, Newton'dan bu yana fiziğin yaşadığı en köklü ve en verimli gelişmedir."

Sonsuzluğa Paydaş

Maxwell'in çağdaşları onu anlamakta belki güçlük çektiler ama tuhafıklarının altında her zaman yüce gönüllülüğü, bencillikten tamamen yoksunluğu ve derin bir görev duygusunu gördüler. Bu kitabın sayfalarını dolduran bütün bilim adamları arasında Maxwell ve Gibbs, herhalde en az bencil ve en az benmerkezci olanlardı.

Maxwell'in, karısı Katherine'e özgecil bağlılığı özellikle güçlüydü. Hep marazlı olan karısının sağlığını büyük ihtimamla kollardı, hatta kendi sağlığının bozulduğu durumlarda da bunu aksatmazdı. Campbell onun bir ara üç hafta boyunca geceleri Katherine'in başucundan ayrılmadığını ve gündüzleri de Cavendish Laboratuvarı'ndaki işleri kovaladığını aktarır. Meslektaşlarına, özellikle de yeterli ilgi görmemiş olanlara daima anlayışlı davranırdı. Gibbs'in termodinamik üzerine çalışmalarının önemini ilk kavrayan (ve tanınmasını sağlayan) ilk kişi oydu. Genç Hollandalı fizikçi Johannes van der Waals'ın doktora tezi üzerine şefkatli yorumları tipik bir örnektir: "Leyden mezunlarından Bay Johannes Diderick van der Waals'ın son derece yaratıcı tezinin konusunu sıvı ve gaz durumlarının sürekliliğine ilişkin molekül teorisi oluşturuyor. ... Bu zorlu sorunun üzerine öylesine becerikli ve cesur bir yaklaşımla gidiyor ki, tezinin molekül bilimine dikkate değer bir itici güç vermemesi olanaksızdır. Çalışmasıyla birden fazla araştırmacının dikkatini, tezin yazıldığı Aşağı Felemenk dilini öğrenmeye yöneltmiş olmalıdır kesinlikle."

Maxwell'in genç meslektaşlarının makalelerine ilişkin bilirkişi raporları kimi zaman bizzat makalelerin içerdiğinden daha geniş kavrayışlar sunardı. Gazlarda elektriksel boşalmalar üzerine araştırmaya ilişkin olarak William 'Crookes'a gönderdiği raporda, elektronunun bulunmasının yolunu açmış olabilecek (ama gözden kaçırılan) bazı ipuçları vardı. Bruce Hunt'ın belirttiği gibi, Maxwell'in 1879'da George Fitzgerald için yazdığı bilirkişi raporu "Maxwell'in teorisinin kendi elinden çıkıp yeni kuşağın ellerine geçmesinde varılan noktanın belki de en açık seçik göstergesidir." Daha sonraları önde gelen Maxwell yanlıları arasına giren Fitzgerald, o sırada elektromanyetizma alanında bir yeniyetmeydi ve Maxwell'in yararlı önerilerini şükranla benimsedi.

Maxwell 1850'lerde henüz Aberdeen'deyken bir mektupta şöyle yazmıştı: "Şunu söylemek isterim ki, şeylerin dışı dönük veçhesine insan gözleriyle kafa yormanın beraberinde getirdiği umutsuzluktan sıyrılmak için sarıldığım şey dostlarımla kişisel birlikteliktir. Ya bir makine olacak ve 'fenomenler' dışında bir şey görmeyeceksin ya da bir insan olmaya çalışarak, yaşamının başka birçok yaşam-

la iç içe örüldüğünü ve ister sağ, ister ölü olsun onlardan güç aldığını hissedeceksin.”

Çok sonraları bir dostuna “çok tuttuğu bir düşünce”yi ifade ederek, “parçaların bütünü ilişkisinin görünür dünyadan aşağı kalmayacak biçimde görünmez dünyaya da sindiği ve kişisel yaşamımıza eşlik eden bireyselliğin altında duygu ve davranışın yanı sıra varoluşa özgü daha derin bir ortaklığın saklı olduğu” yolundaki mistik inancı aktardı. Campbell onun bir yandan “insanların önde gelen fizik yasalarına ilişkin kavrayışlarını daha büyük kesinliğe erdirmek için sürekli dinirirken, alışkın bir tavır içinde sonsuzlukla bir tür mistik hasbıhal içinde yaşıyor gibi görünmesine” hayret ediyordu.

Maxwell 1850’li ve 1860’lı yıllarda önce Cambridge’de, ardından Aberdeen ve Londra’da işçilere dönük gece dersleri verdi. Onun zanaatçılara ve Glenla-ir’deki uşaklara, kiracı çiftçilere babaca bir yaklaşımla “feodal” bir davranış sergilediğini belirten çeşitli biyografi yazarları vardır. J. G. Crowther’a göre, bu biyografi yazarları “onun 19. yüzyıl ortalarında beyzade-çiftçi ya da malikâne sahibi rolüne bürünmesini bir türlü içlerine sindirmezler. Maxwell’in bilim anlayışının modernliği ile sosyoloji ve din anlayışının antikılığı bağdaşmaz gibi görünür. Ama sosyolojiye ilişkin görüşlerinin, her ne kadar antika olsa da, bilim alanındaki çağdaşlarının hemen hepsine oranla ileride olduğu belirtilebilir. En azından bu sorunlara kafa yoruyordu o.”

Maxwell’in dinsel görüşleri en azından bir noktaya kadar görenekçiydi. Annesi Presbiteryen, babası ise Anglikan mezhebine mensuptu. Çocukluğunda Edinburgh’da her iki kilisenin de ayinlerine katılırdı. *Kitabı Mukaddes*’ten uzun pasajları ezbere bilirdi, Katherine’e yazdığı mektuplar sofuca dinsel gönderme ve alıntılarla doluydu. Şahsi itikadı muhtemelen çok daha derindi ama bunu uluorta konuşmamayı yeğ tutardı. Bilimi dinle bağdaştırma amacına yönelik bir kuruluşla katılması yönündeki daveti geri çevirirken şöyle bir açıklama yapmıştı: “Bana göre her insanın bilim anlayışını Hristiyanlık anlayışıyla uyumlulaştırma çabasında vardığı sonuçlar kendisi dışındaki kişiler için bir öneme sahipmiş gibi sayılmamalı ve toplumun damgasını taşımamalıdır.”

Bununla birlikte Maxwell yazılarında dinle ve bilim anlayışının temelinde yatan diğer metafizik görüşlerle ilgili bir şeyleri ara sıra açığa vururdu. Aberdeen’deki açılış dersinde şöyle demişti:

Oysa fizik bilimi ilerlerken, şunu gittikçe daha iyi görmekteyiz ki, doğa yasaları Kadir-i Mutlak’ın gelişigüzel ve bağlantısız kararları değil, sonsuz Kudret’in yalnızca uçsuz bucaksız bilgeliği ve ezeli hakikati açığa vurmasına yarayan tek bir evrensel sistemin temel parçalarıdır. Bilimin hakikatlerini incelediğimizde ve “Bu böyledir” deyip işin içinden çıkmak yerine “Bu böyle olmalıdır, çünkü aksi halde ilk hakikat ilkesiyle tutarlı olmayacaktır” -ve hatta bazen ancak “Doğadaki analogi uyarınca bu böyle olmalıdır”- diyebileceğimizi anladığımızda, yaratılışın yasaları üzerine bir hüküm açıklarken ve aklın ilkelerine göre bir değerlendirmeye bunların gerekçek ya da doğru olduğunu söylerken, ne kadar harika bir şey söylemekte olduğ-

muza düşünmeliyiz. İnsan aklının Tanrı marifeti işler konusunda bir yargıç konumuna girmesi, ölçmesi, tartması ve hesaplaması, en sonunda da çıkıp "Anladım ve fark ettim ki bu doğru ve gerçektir" demesi harikulade değil midir?

Cambridge'de henüz bir öğrenciyken, bir denemede şöyle yazmıştı Maxwell: "Mutlu insan bugünün uğraşısına baktığında hayat uğraşısının bağlantılı bir kısmını ve ebediyet uğraşısının somutlaşmış bir tezahürünü kavrayabilen kişidir. Bu güvenin temelleri hiç sarsılmaz, çünkü o insan sonsuzluğa paydaş kılınmıştır." Uzun yıllar sonra, ölüm döşeğinde bir dostuna söyledikleri ise şöyleydi: "Merakımı çeken daima kişilerden çok şeylerdir. Bir şeyi meydana getiren dolaysız koşulları düşünmekten kendimi alıkoyamıyorum; bunların hangi iradeyle harekete geçirilmiş olduğuna o kadar takmıyorum kafamı. Ben denen şeyin yaptığı şey, kırımca, içimdeki benden daha yüce bir şey tarafından yapılıyor. Şeylere duyduğum merak beni antropolojiden çok, teolojiyi çok daha fazla umursamaya yöneltmiştir hep. İradenin halleri beni yalnızca şaşırtıyor."

İSTATİSTİKSEL MEKANİK

Tarihsel Sinopsis

Kitabın ilk üç kısmının temaları mekanik, termodinamik ve elektromanyetizmaydı. Bunlar olağan ve daha büyük boyutta nesnelerin fiziği anlamında “makrofizik” denen daha geniş bir başlık altında toplanabilir. Dördüncü kısımda son derece farklı “mikrofizik” alanına ilk kez gireceğiz. Burada kullanılan anlamıyla, bu terim moleküllerin, atomların ve atomaltı parçacıkların fiziği anlamına gelir. Mikrofizik sonraki sayfalarda, özellikle de bu kısımda ve ardından altıncı (kuantum mekaniği), yedinci (nükleer fizik) ve sekizinci (parçacık fiziği) kısımlarda önemli bir tema olacak.

Moleküller (ve içerdikleri atomlar) çok küçük, sayıca inanılmaz ölçüde çok, hareket açısından kaotik, tekil düzeyde ayrılıp incelenmesi zor yapılardır. Ama molekül *toplulukları*, tıpkı insan toplulukları gibi, istatistiksel metotlarla tarif edilebilir. İzlenecek strateji tekil davranış yerine ortalama davranışa odaklanmaktır. Sigorta şirketleri işlerini bu biçimde yürütürler ve moleküler fizikçiler de aynı yola başvurur. Sigorta şirketi istatistikçisi belirli bir gelir dilimi içinde yer alan bir şehirli erkek topluluğu için ortalama hayat süresini hesaplayabilir. Fizikçi de belirli bir sıcaklıktaki belirli bir hacmi dolduran gaz molekülleri topluluğu için bir ortalama enerji saptamaya çalışabilir. Bu yöntem sigorta şirketinin kâr etmesine yetecek ölçüde iyi işler. Fizikçi açısından yöntemin işleyişi daha da iyidir, çünkü insanlara göre moleküllerin sayısı daha yüksektir ve davranışları daha kestirilebilirdir. Moleküllerin enerjisini ya da başka bir mekanik özelliğe ilişkin ortalama değerini saptayan bir fizikçi, Gibbs'in “istatistiksel mekanik” dediği şeyi uygulamış olur.

Bu kısımdaki tek bölüm, istatistiksel mekaniği tanımlamak, geliştirmek ve savunmak için en fazla gayreti göstermiş olan adamı tanıtmaktadır. Ludwig

Boltzmann adlı bu kişi 1870'lerde istatistiksel mekanik üzerine en önemli makaleleri yazdı. Ona göre, istatistiksel mekanik entropi kavramına ilişkin tartışmalarda son derece verimliydi. Bu görüşten hareketle termodinamiğin ikinci yasası için bir moleküler temel oluşturdu ve entropiyle düzensizlik arasında bağ kurarak entropi kavramını anlaşılır hale getirdi.

Boltzmann'ın çalışmaları Maxwell'in attığı temellere dayanıyordu, Maxwell'in ilham kaynağı ise Clausius'tu. Konuya 1850'lerin sonlarında eğilen Clausius, moleküllerin hızlarına ve başka moleküllerle çarpışmalar arasında moleküllerce alınan mesafelere ilişkin ortalama değerlerin nasıl hesaplanacağını gösterdi. Bir topluluktaki moleküllerin ortalama değerin üstünde ve altında farklı hızlara sahip olduğunu kavradı ama geliştirdiği istatistiksel mekanik bu dağılımı saptama yolunu sağlayamadı. Maxwell 1858'de ve 1866'da yazdığı iki makalede, eksik olan moleküler dağılım yasasını tanımladı ve bunu gaz davranışı teorisine birçok farklı yoldan uyguladı. İstatistiksel mekaniğin Clausius'la başlayıp Maxwell üzerinden Boltzmann'a uzanan gelişim çizgisi Gibbs'le sürdü. Gibbs'in 1901'de yayımladığı yetkin inceleme, istatistiksel mekaniğe bugün de geçerliliğini koruyan formel yapıyı kazandırdı. Bu yapı kuantum teorisinin beraberinde getirdiği altüst oluştan sonra bile ayakta kaldı.

İstatistiksel mekaniğe inanmak için, önce moleküllerin varlığına inanmak gerekir. Yirmi birinci yüzyılın başında böyle bir ikna çabasına hiç ihtiyacımız yok. Ama 19. yüzyıl sonlarında Boltzmann'ın karşısında molekül gerçekliğini bir türlü kabul etmeyen etkili ve direngen muhalifler vardı. Boltzmann dostça ve düşmanca tartışmalarda hasımlarına karşı canla başla boğuştu ama yenik düştü. Daha sonra Albert Einstein tartışmayı devralarak, moleküllerin nasıl gerçek ve görünür hale getirileceğini gösterdi.

Moleküller ve Entropi

Ludwig Boltzmann



Gezinmeler

Hayatının ve çalışmalarının hikâyesi, yerinde duramamaktı. Ludwig Boltzmann fiziksel dünyayı hiç durmaksızın çalkalanan bir moleküler kaos şeklinde görüyordu. Tıpkı moleküller gibi, o da hiç rahat yüzü görmedi. Yaklaşık kırk yılı bulan kariyeri boyunca yedi kez bir akademik görevden ötekine geçti. Kronoloji şöyle: Viyana Üniversitesi'nde iki yıl (1867-69) asistan profesörlük, Graz Üniversitesi'nde dört yıl (1869-73) matematiksel fizik asistan profesörlüğü, tekrar Viyana'da üç yıl (1873-76) matematik profesörlüğü, tekrar Graz'da on dört yıl (1876-90) deneysel fizik profesörlüğü, Münih Üniversitesi'nde dört yıl (1890-94) teorik fizik profesörlüğü, Viyana'ya bu kez teorik fizik profesörü olarak dört yıllık (1894-1900) ikinci dönüş, Leipzig'de iki yıl (1900-1902) teorik fizik profesörlüğü, iki yıl önce ayrılmasından beri boş olan kürsüye tekrar geçmek üzere Viyana'ya üçüncü ve son dönüş.

Bunlar mecburi ayrılışlar değildi. Boltzmann 1870'lerin başlarından itibaren bilim dünyasında tanınıyor ve epey de ilgi görüyordu. Onu Münih'ten Viyana'ya dönmeye razı etmek için, Avusturya Kültür Bakanı, o sırada Avusturyalı bir üniversite profesörüne verilen en yüksek maaşı önermek zorunda kalmıştı. Onu kapmaya çalışan öğretim makamlarının gözünde, "bütün ülkelerce kabul edildiği üzere" teorik fiziğin "rakipsiz ilk temsilcisi", "Almanya ve ötesinin en önemli fizikçisi"ydi. Böyle bir iş piyasasında, Boltzmann'ın ilgili bakanlıklarla sıkı pazarlıklara girmekten geri kalmadı. Ömrünün sonlarında bile daha yeni görevine oturur oturmaz sonraki görevi için müzakerelere girişmişti. Viyanalı yetkililer niha-

yet buna artık dur demek gerektiğine karar verdiler: Onu ancak Avusturya dışında asla başka bir görev almayacağına söz vermesi koşuluyla tekrar (üçüncü sefer) kabul edeceklerdi.

Gelgelelim, Boltzmann'ın yerinde duramayışının ardında maaşın ötesinde etkenler ve mektuplarında yakındığı öğrencilerin ve Alman mutfağının kalitesi gibi başka şeyler yatıyordu. Ardi arkası kesilmeden dolaşıyordu, çünkü kişiliğinin zıt kutupları ona huzur vermiyordu. Ruhundaki bu zıt kutupluluğa Karnaval ve Büyük Perhiz arasındaki gecede doğmasının yol açtığını belirterek işi şakaya vuruyordu. Günümüzde konacak teşhis çift kutuplu bozukluk ya da manik depresyon olurdu herhalde. Başka açılardan da sağlığıyla başı dertteydi, astımı, migreni, görme bozukluğu, anjin ağrıları vardı ama depresyon dönemleri hepsinden çok daha berbattı ve son kerteye vardığında dayanılmazdı. Dolaşmak ve yer değiştirmek onu bir depresyondan kurtarırdı ama sonrakinin önüne geçemezdi. Örneğin, Leipzig'e taşınmak onu rahatlatmıştı ama pek uzun sürmedi bu. Bir yıl geçmeden bir kez daha depresyonun pençesine düştü ve başarısız bir intihar girişimine sürüklendi.

Depresyonun yol açtığı derin melankoliye düşmediği zamanlarda, Boltzmann tek kelimeyle harikaydı. "Tepeden tırnağa bir teorisyenim ben" diyordu. "Düşüncelerimi ve uğraşlarımı dolduran şey teorinin gelişmesidir. Onu yüceltecek hiçbir fedakârlık bana çok ağır gelmez. Çünkü teori benim bütün hayatımın içeriğidir." On dokuzuncu yüzyıl kuramcıları arasında Gibbs'le aynı ayardaydı, bir tek Maxwell daha üst mertebede idi.

Boltzmann yalnızca teorileriyle değil, belki daha da önde gelen üstün öğretmenlik ve konuşmacılık maharetiyle de meşhurdur. Yeni yüzyıla geçişten hemen sonra Viyana'da onun teorik fizik dersleri çevrimine katılan (ve daha sonraları uranyum fizyonunun buluşçuları arasında yer alan) Lise Meitner'in takdir dolu izlenimi şöyle:

Dört saat süren bir ders verdi. Dersmekanik, hidrodinamik, esneklik teorisi, elektrodinamik ve [moleküler] gaz teorisi konularını kapsıyordu. Ana denklemleri çok büyük bir karatahtanın üstüne yazardı. Bunun iki tarafındaki daha küçük karatahtaları ise ara basamakları yazmakta kullanırdı. Her şey açık seçik ve iyi düzenlenmiş bir biçimde yazılırdı. Karatahtada yazılı şeylerle bütün dersin yeniden kurgulanabileceği izlenimine sıklıkla kapılırdım. Her dersten sonra yeni ve harika bir dünyayla tanışmışız gibi gelirdi bize. Öğrettiği şeylere işte böyle bir coşku katardı.

Birçok psikolojik gerginlik yaşamasına rağmen, Boltzmann öğrencilerine karşı açık ve teklifsizdi, ihtiyaçlarına karşı duyarlıydı. Viyana Üniversitesi'nde ondan boşalan yere geçen Fritz Hasenorhl, "Üstünlüğünü sergilemeye asla kalkışmazdı" diye yazar. "Herkes sorular yöneltmekte ve hatta onu eleştirmekte serbestti. Konuşmalar sakın geçerdi ve öğrenci bir akran gibi muamele görürdü. İnsan ondan ne kadar çok şey öğrenmiş olduğunu ancak daha sonra kavrarı. Başkalarını kendi büyüklüğünün mihenk taşına vurarak ölçmezdi. Ayrıca daha mütevazı başarı-

lara iyi niyetli yaklaşırdı; bunların ciddi ve dürüst çabanın belirtilerini taşıması onun için yeterliydi.”

Boltzmann'ın atomculuk üzerine tartışmalardaki müzmin muarızı Ernst Mach, böylesine bir senlibenlilikten rahatsız gibiydi. “Boltzmann kötü niyetli değil” diye yazmıştı bir mektubunda, “ama inanılmaz derecede toy ve hafif, ... sınıır çizgisini nerede çekeceğini düpedüz bilmiyor.” Graz'daki ikinci görev döneminde Boltzmann, Berlin Üniversitesi'nden gelen Gustav Kirchhoff'un yerine geçme önerisini kabul ettikten kısa bir süre sonra vazgeçti. Söylendiğine göre bu kararına yol açan etkenlerden biri Bayan Helmholtz'un ona ilettiği şu kibirli dokundurmaya: “Profesör Boltzmann, korkarım ki, Berlin'de kendinizi pek rahat hissetmeyeceksiniz.”

Boltzmann gür sarı saçlı ve mavi gözlü, endamı yerinde genç bir kadın olan Henriette von Aigentler'le evlendi. Karısı, o dönemde oldukça yakışıklı bir davranış sayılmasına rağmen, kocasının çalışmalarına güçlü bir ilgi gösterdi ve ondan da özendirici bir yaklaşım gördü. Evlilik teklifinde bulunduğu mektupta, “Bana öyle geliyor ki” diye yazmıştı Boltzmann, “bir kadın kocasının uğraşlarına anlayışlı, hevesli bir tavırla yaklaşmazsa ve mücadelelerine omuz veren bir yoldaştan çok bir ev hanımı gibi davranırsa, sürekli bir aşkın ayakta kalması olanaksızdır.” Çiftin, taparcasına sevdikleri beş çocukları oldu, bunların üçü kız, ikisi oğlandı. Boltzmann'ın bir keresinde karısının itirazlarına aldırmayarak en küçük kızı Elsa için eve iki yavru tavşan getirdiği söylenir. Hayvanlar Boltzmann'ın çalışma mekânında, Henriette'nin sürekli bulunduğu yerlerin dışında yaşıyordu. Boltzmann'ın biyografi yazarları Henriette hakkında pek fazla şey söylemez. Ama onun güçlü ve marifetli bir kadın olduğunu güvenle söyleyebiliriz. Kocasının nevrozlarıyla birlikte yaşamayı ve buna katlanmayı başarmış olması bile böyle düşünmek için yeterli bir sebeptir.

Boltzmann fizikçilikte dikiş tutturamasa da, rahatlıkla bir mizah yazarı olabilirdi. Mark Twain'in tersyüz edilmiş hali, Amerika'da seyahat eden bir Avrupalıydı sanki. 1905 yazında Berkeley Üniversitesi'nde bir dizi ders verdi ve Viyana'ya dönüşünde “Altın Diyarında Yolculuk Eden Bir Alman Profesörü” başlıklı nefis bir yazıda Kaliforniya ahalisinin inanılmaz davranışlarını aktardı. “Berkeley Üniversitesi hayal edilebilecek en güzel yer” diye belirtiyordu bu yazıda. “Herhalde yüzlerce, kimbilir belki de binlerce yıllık ulu ağaçlarla dolu bir kilometrekarelik bir park. Öyle bir bakışta insan nasıl anlasın ki ağaçların yaşını? Parkın içinde muhteşem modern binalar var, henüz küçük yer tuttukları besbelli. Yenilerinin yapımı sürüyor, ne de olsa ellerindeki alan ve para bol.”

Gelin görün ki bozulmuş bir cennetti burası: “Berkeley yeşilaycı: Bira ve şarap içmek ya da satmak sıkı sıkıya yasak.” Berkeley suyu hiç de iyi bir alternatif değildi. Yazarın “midesi isyan etmişti” ve daha köklü tedbirlere başvurmak gerekmişti:

Bütün cesaretimi topladıktan sonra, bir şarap satıcısını nerede bulabileceğimi sordum bir meslektaş. Sorunun onda uyandırdığı etki, Sacramento ve Oakland ara-

sında bir trenin sigara içilen vagonunda şahit olduğum bir sahneyi hatırlattı bana. Ara durakta bize katılmış olan bir Kızılderili gayet saf bir tavırla San Francisco'daki şeyin..., nasıl desem, hadi bir Kızılderili için uygun düşecek biçimde diyeyim, defne tacı takmış işveli kızların bulunduğu evin adresini sordu. Vagondaki insanların çoğu San Francisco'dandı ve orada "Bastır parayı, yatır melihayı" düsturuna göre hareket eden kızlar kesinlikle vardı. Ama herkes afallayarak mosmor kesildi. Şarap satıcısının yerini sorduğum meslektaşımın tepkisi de aynen öyle oldu. Kulak misafiri olan biri var mı diye etrafı tedirgin gözlerle kolaçan etti, gerçekten güvenilir biri olup olmadığını anlamak için beni tepeden tırnağa şöyle bir süzdü ve sonunda Oakland şehrinde California şarapları satan esaslı bir dükkânın adını çıkarttı. İçeri tam bir kasa şarap şişesini gizlice sokmayı başardım ve ondan sonra Oakland'a giden yol benim için çok aşına hale geldi.

California ahalisinin garip mutfak alışkanlıklarından biri yulaf ezmesi idi. Büyük gazete patronu William Randolph Hearst'ün annesi Bayan Hearst'ün Boltzmann'a da bir parça ikram ettiği bu "tarifi imkânsız pelte Viyana'da insanların ancak kazları semirtmesine yarayabilirdi, kaldı ki öyle de olmayabilirdi, Viyanalı kazların böyle bir şeyi yemeye razı olabilecekleri bir şüphe götürürdü." Her neyse, yemek sonrası eğlence bu tür aksaklıkları telafi etmişti. Hearst ailesinin müzik odası aşağı yukarı "nispeten küçük Viyana konser salonları" kadardı. Becerikli bir piyanist olan Boltzmann, bir Schubert sonatı çalmış ve "en pahalı etiketli cinsinden bir Steinway" olan piyanoya hayran kalmıştı. Böyle piyanoları duymuş ama daha önce hiç dokunmamıştı birine. "Önce mekânı biraz garibi-me gitti ama insan güzel şeylere ne kadar çabuk alışıyor. Birinci bölümün ikinci kısmı iyi gitti ve bir andante olan ikinci bölümde tamamen kendimden geçtim: Ben melodiyi çalmıyordum, melodi parmaklarıma yön veriyordu. Allegro bölümünü çalmamak için kendimi tutmam bir hayli zor oldu, ki böyleleri benim için hayırlı oldu, çünkü zayıf tekniğim yüzünden bocalardım herhalde." Bayan Hearst'ün ihtişamlı müzik odasında Boltzmann aradığı Altın Diyarı'nı bulmuştu: "Daha önce California ziyaretime musallat olan sıkıntılar beni pişman etmiş olsa bile, o andan itibaren bütün pişmanlığım gidiverdi."

Logaritma Dersleri

İstatistiksel mekanik üzerine Boltzmann ve büyük çağdaşları Clausius, Maxwell ve Gibbs'in yürüttüğü çalışmalara dönmeden önce, logaritmalar ve üslü fonksiyonlar konularının matematiksel diyarında kısa bir gezintiye çıkmamız gerekir.

10^2 (= 100) sayısındaki 2 bir üs ya da kuvvettir. Bu gösterim biçimi çok büyük sayıları ifade etmede son derece yararlıdır, 1 rakamını izleyen 23 sıfır yazmaktansa 10^{23} diye yazmak çok daha kolaydır. Üssün belirli bir sayı olması gerekmez, 10^x sayısındaki x gibi herhangi değere sahip bir değişken de olabilir.

Üslerin çarpma işleminde toplanması ve bölme işleminde çıkarılması kolaylık sağlar. Örneğin:

$$10^3 \times 10^2 = 10^{3+2} = 100000$$

ve

$$\frac{10^3}{10^2} = 10^{3-2} = 10$$

Üsler birer değişken olduğunda, denk düşen ifadeler şöyle olur:

$$10^x \times 10^y = 10^{x+y}$$

ve

$$\frac{10^x}{10^y} = 10^{x-y}$$

Bu cebirsel özellikler bir çarpmayı toplama işlemine ve bir bölmeyi çıkarma işlemine çevirmeyi mümkün kılar. İki sayıyı bu biçimde çarpmak için, önce bunları onun kuvvetlerine çeviririz, yani yukarıdaki denklemlerde x ve y üslerinin değerlerini buluruz, ardından x ve y 'yi toplayarak $x + y$ elde ederiz, böylece çarpım 10^{x+y} olur. Bölme işlemi için ise $x - y$ elde ederiz, böylece bölüm 10^{x-y} olur.

Bu tariflerde onun kuvvetlerine (x ve y) “10 tabanının logaritmaları” denir. Herhangi bir sayıyı onun kuvvetine çevirmeyi ya da tersini yapmayı kolaylaştırmak için bunlar tablo haline getirilir. Küçük hesap makinelerinin devreye girmesine kadar, “logaritma tabloları” vazgeçilmez bir hesaplama aracıydı. Logaritmik fonksiyonlar hâlâ cebirde standart donanımdır. Kısaca “log” gösterimi, şu örnekte olduğu gibi, onun bir kuvvetini belirtir:

$$\log 10^x = x, \log 10^y = y \text{ ve } \log 10^{x+y} = x + y$$

Genel logaritma kavramını 17. yüzyıl başlarında birbirlerinden habersiz çalışan İskoçyalı John Napier ile İsviçreli Joost Burgi ortaya attı. Napier ve Henry Briggs, onun kuvvetleriyle ilgili olarak az önce tarif ettiğim hesaplama sistemini geliştirdiler.

On sayısı logaritmik hesaplamalarda bir “taban” olarak kolaylık sağlar ama başka herhangi bir sayı da aynı amaca hizmet edebilir. Newton henüz Cambridge’de bir lisans öğrencisiyken, günümüzde e sembolüyle belirtilen özel bir tabana göre “doğal” logaritmaların, toplanan terimleri bir dizide biriktirerek hesaplanabileceğini bulmuştu. Newton’un e tabanının göre doğal logaritmayı “ln” terimiyle belirterek $\ln(1 + x)$ için geliştirdiği formül şöyledir:

$$\ln(1 + x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$$

Burada “...” dizinin sonsuza kadar sürdüğü anlamına gelir (sonraki iki terim $+\frac{x^5}{5}$ ve $-\frac{x^6}{6}$ olur). Eğer x bir sayısından küçük olursa, yalnızca ilk birkaç terim yeterli olabilir, çünkü sonraki terimler ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Tabanın 10, e ya da başka bir sayı olmasına bağlı olmaksızın, logaritmalar pozitif, negatif ya da sıfıra eşit olabilir. Bu kuralları belirtmekte (ve kanıtlamakta) yarar vardır. Örneğin, $\ln x$ logaritmik fonksiyonunda,

$$x > 1 \text{ durumunda } \ln x > 0$$

$$x = 1 \text{ durumunda } \ln x = 0$$

$$x < 1 \text{ durumunda } \ln x < 0$$

Hikâyenin Adı e

Fizik denklemlerinde e terimini içeren fonksiyonlar her yerde karşımıza çıkar. Prototipler e^x ve e^{-x} “üslü fonksiyonları”dır. Bunların Çizim 13.1’deki grafik çizimi, x ’in artmasıyla birlikte e^x ’in hızla arttığını (“üslü artış” yaygın bir deyimdir) ve e^{-x} ’in hızla azaldığını göstermektedir. İlk bakışta e sabiti kafa karıştırıcı gelebilir. Nereden geliyor? Niçin bu kadar önemli?

Matematikçiler temel sayılar panteonunda 0, 1, π ve i ’nin yanı sıra e ’ye de yer verirler. Doğal logaritmalar için bir taban olarak e ’yi kullanmanın geçmişi 17. yüzyıla kadar iner. Eli Maor, e tanımının daha da önce tefecilerin binlik devreler için kullandıkları formüllerden çıktığını ileri sürer. Bu formüllerden biri t yıllık bir dönem için yılda n sefer katlanan r faiz oranı üzerinden P anaparasına göre B bilançosunu hesaplamaya yarar:

$$B = P \left(1 + \frac{r}{100n} \right)^{nt} \quad (1)$$

Örneğin, üçer aylık ($n = 4$) bileşik faizle $r = \% 5$ faiz oranı üzerinden $P = 1000$ \$ tutarında bir yatırım yaparsak, $t = 20$ yılın sonunda bilançomuz şöyle olur:

$$B = (\$1000) \left(1 + \frac{5}{(100)(4)} \right)^{(4)(20)} = 2701,48\$$$

Denklem (1)'in 17. yüzyıl başlarındaki bir matematikçinin pekâlâ farkına varmış olabileceği bazı şaşırtıcı özellikleri vardır. Anaparayı $P = 1$ \$, dönemi $t = 1$ yıl ve faiz oranını (gerçeklikten biraz uzaklaşma pahasına) $r = \% 100$ kabul ederek formülü basitleştirdiğimizi varsayalım. Bu durumda formülün sağ tarafında $\left(1 + \frac{1}{(n)}\right)^n$ gibi yalın bir sonuç çıkar. On yedinci yüzyıl matematikçimiz n 'ye gittikçe büyük değerlerin verildiği bu formüle göre zahmetli hesaplamalara girişerek kendince eğlenmiş olabilir (aynı işlem bir hesap makinesinde kuvvetleri hesaplamaya yönelik y^x düğmesini kullanarak kolayca yapılır). Tablo 13.1 bazı sonuçları sıralamaktadır. Trend açıktır: Bu işlemden n büyüdükçe ve $\left(1 - \frac{1}{(n)}\right)^n$ 2,71828 gibi (altı hanenin yeterli sayılabileceği) belirli bir değere yaklaştıkça, n 'yi artırmanın etkisi iyice ufalır. (Daha kesin sonuca varmak için, n 'yi daha da büyütebilirsiniz.) İşte n 'ye bir sonsuz değer verildiğinde yaklaşılan "limit", e sayısının matematiksel tanımıdır. Matematikçiler bu tanımı şöyle yazar:

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{(n)}\right)^n \quad (2)$$

Fizikçiler, kimyacılar, mühendisler ve iktisatçılar e^x ve e^{-x} biçimindeki üslü fonksiyonlardan birçok alanda yararlanırlar. İşte size birkaç örnek:

1. Bir radyoaktif madde bozunduğunda, kütlesi şu formüle göre üslü olarak artar:

$$m = m_0 e^{-at}$$

Burada m sembolü t zamanındaki kütleyi, m_0 ise $t = 0$ zamanındaki ilk kütleyi belirtir, a radyoaktif maddenin bozunum hızına bağlı olan bir sabit değerdir. Formüldeki e^{-at} üslü faktörü kısa ömürlü bir radyoaktif madde için (a 'nın büyük olması nedeniyle) hızla azalır, uzun ömürlü bir radyoaktif madde için ise (a 'nın küçük olması nedeniyle) yavaşça azalır.

2. Daha düşük ve sabit T_1 sıcaklığında tutulan bir ortamda, başlangıçta T_0 sıcaklığına sahip sıcak bir nesne şu formülünden çıkan bir hıza göre soğur:

Tablo 13.1

N	$(1 + 1/n)^n$
1	2
2	2,25
5	2,48832
10	2,59374
100	2,70481
10000	2,71815
1000000	2,71828
10000000	2,71828

$$T = T_1 + (T_0 - T_1) e^{-at}$$

3. Bir ışık demeti maddi bir ortamdan geçtiğinde, şiddeti şu formüle göre üslü olarak artar:

$$I = I_0 e^{-ax}$$

Burada I demetin x kalınlığındaki ortamdan geçtikten sonraki şiddeti, I_0 ortama giren demetin şiddeti, a ise ortamın saydamlığına bağlı bir sabit değerdir.

4. Patlamalar çoğunlukla üslü olarak artan ve e^{-at} biçimindeki bir faktörle ifade edilen hızlarda gerçekleşir. Bu faktördeki a patlamanın fiziksel ve kimyasal mekanizmasına bağlı olan pozitif bir sabit değerdir.

5. Eğer bir banka yıllık, altı aylık ya da üç aylık değil, *anlık* bir bileşik faiz uygulamaya ikna edilebilseydi, kişinin B bilançosu şu formüle göre üslü olarak artardı:

$$B = P e^{rt/100}$$

Burada P anapara, r yıllık faiz oranı, t ise yıl olarak ifade edilen zamandır.

Dönen Taşlar ve Moleküller

İstatistiksel mekanik hikâyesinin Galileo döneminden beri bilim adamlarını büyülemiş bir konuya dayanan pek akla gelmeyecek bir başlangıç noktası vardır: Satürn halkaları. On sekizinci yüzyılda Pierre-Simon Laplace halkalara ilişkin bir mekanik teorisi geliştirdi ve bu halkaların kararlı yapısının kütle dağılımındaki düzensizliklerden kaynaklandığı tahmininde bulundu. Cambridge tarafından iki yılda bir verilen Adams Matematik Ödülü'nün 1855'teki konusu "Satürn Halkalarının Hareketleri"ydi. Ödül jürisi adaylardan Laplace'ın çalışmasını değerlendirmelerini ve katı, sıvı ya da "karşılıklı tutarlılıktan yoksun madde kütleleri" modeline göre halkaların dinamik kararlılığını saptamalarını istedi. Maxwell bu yarışmaya girdi ve Aberdeen'de zamanının büyük bir bölümünü buna ayırdı.

Maxwell önce gözlemlere uygun olarak kararlı ya da yassı olmadıklarını göstererek, katı ve sıvı modelleri devre dışı bıraktı. Ardından elde kalan tek model dönerek, bunu gezegen çevresinde yörüngeye girmiş "taşların uçuşu" olarak tasarlardı. Thomson'a yazdığı bir mektupta, tasarımını şöyle anlattı: "Satürn etrafında durma ya da kendi içinde uyuşma umudu olmaksızın itişip kakışan ve karman çorman olan bir çerçöp katmanı bu. Öyle ki küçük parçalara ayrılıp ufalanarak Satürn'ün ekvatoru çevresinde alevli bir halka gibi dönen bu çerçöp yığını, her iki tarafa ve kızgın kayalarla kaplı bütün tepelerin batı yamacına geniş bir lav, toz ve moloz bırakıyor. ... Satürn'de insanlar varsa, bu 'hat'tan geçerken tünelde yolculuk etmelerini tavsiye ederim." Bu "itiş kakış ve karman çorman çerçöp" kaosunda, Maxwell probleme bir çözüm bularak ödül kazandı.

Satürn'ün yörüngede dolaşan ve çarpışan kayalar kaosuna ilişkin bu başarısı, Maxwell'e gazlarda hızla dönen ve çarpışan moleküllerin kaosuna kafa yorma

ilhamını verdi. Başlangıçta bu problem teorik analize elvermeyecek kadar karmaşık gibiydi. Ama 1859'da, halkalar üzerine makalesini tamamlamak üzere olduğu sırada, Clausius'un iki makalesini okuyunca umutlandı. Clausius hesaplamalarını bir ortalama dinamik özelliğe, spesifik olarak v^2 'nin, yani moleküler hızın karesinin ortalama değerine göre yaparak moleküler kaosa düzen getirmişti.

Clausius $\overline{v^2}$ olarak yazdığı bu ortalama niceliği

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2} \quad (3)$$

denkleminde kullanarak, hacmi V olan bir kabın duvarlarını rasgele bombalayan m kütesine ait N molekülleriyle yaratılan P basıncını hesapladı.

Clausius'un yaklaşımında, moleküller yüksek hızlarda hareket eder ama başka moleküllerle sürekli çarpışmalardan dolayı son derece dolambaçlı yollar izlemek durumunda kalır. Bütün bu sapmalar sonucunda, bir gazdaki moleküllerin birkaç metre ilerlemesi bile uzun bir zamanı alır. Maxwell bunu şöyle ifade ediyordu: "Eğer dakikada 17 mil hızla giderseniz ve [her çarpışmadan sonra] bir saniyede 1.700.000.000 sefer tamamen yeni bir rota tuttursanız, bir saat içinde nerede olursunuz?"

Maxwell gazlardaki moleküllerin dinamiği üzerine 1860'ta yayımladığı ilk makalede Clausius'un metodunun ötesine önemli bir adım attı. Clausius'un farkına vardığı ama teorisine almadığı bir hususu gösterdi: Belirli bir sıcaklığa sahip bir gazdaki moleküller, ortalama değer üstünde ve altında geniş bir yelpazeyi kapsayan çok farklı hızlarda hareket eder. Maxwell'in akıl yürütme biçimi, daha mekanik ayrıntıların peşinde olan çağdaşları için epeyce soyut ve kafa karıştırıcıydı. Daha sonra farklı bir bağlamda belirttiği gibi, "[moleküller konusunda] başına iş açmaktan başka bir şey yapamayacak kişisel irdelemelere" girişmedi.

Maxwell'in okurlarından düşünmelerini istediği şey v_x ile $v_x + dv_x$, v_y ile $v_y + dv_y$, v_z ile $v_z + dv_z$ gibi spesifik dar yelpazeler arasında kalan hız bileşenlerine sahip dN moleküllerinin sayısıydı. Böyle bir tutar moleküllerin toplam sayısı olan N 'ye, dv_x , dv_y ve dv_z 'ye, v_x , v_y ve v_z 'nin $f(v_x)$, $f(v_y)$ ve $f(v_z)$ olarak adlandırabileceğimiz üç fonksiyonuna bağlıdır. Bu fonksiyonlar hız bileşenlerinden hangilerinin önemli, hangilerinin önemsiz olduğunu ifade eder. Örneğin, $v_x = 10$ metre/saniye pek mümkün değilken, $v_x = 500$ metre/saniye olası olursa, v 'nin ikinci değerine ilişkin $f(v)$ birinci değere ilişkin $f(v)$ 'den daha büyüktür. Maxwell'in dN için kurduğu denklem şöyledir:

$$dN = Nf(v_x)f(v_y)f(v_z)dv_xdv_ydv_z \quad (4)$$

Maxwell ideal bir gazda v_x , v_y ve v_z hız bileşenlerini oluşturmak için kullanılan x , y ve z doğrultularının ortalama olarak aynı ağırlığı taşıması gerektiğini ileri sürdü. Buna göre de bir doğrultuyu öbürlerine yeğ tutmak için bir sebep yoktur.

Dolayısıyla her üç $f(v_x)$, $f(v_y)$ ve $f(v_z)$ fonksiyonlarının aynı matematiksel forma sahip olması gerekir. Maxwell bu sonuçtan ve N moleküllerinin toplam sayısının sonlu olması şartından hareketle, şu denklemi türetti:

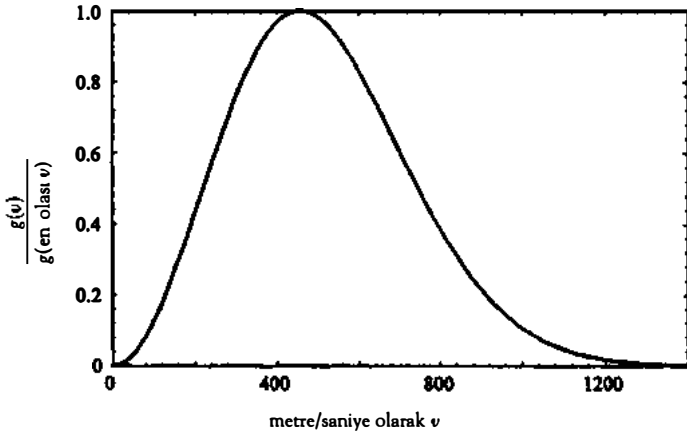
$$f(v_x) = \frac{N}{\alpha \sqrt{\pi}} e^{-v_x^2/\alpha^2} \quad (5)$$

Buradaki α parametresi moleküllerin sıcaklığına ve kütlesine bağlıdır. Bu denklem Maxwell'in "dağılım fonksiyonu"nun versiyonlarından biridir.

Doğrultuya bağlı olmaksızın v hızlarının dağılımını ifade eden daha yararlı bir sonuç şu versiyondan çıkar:

$$g(v) = \frac{4N}{\alpha^3 \sqrt{\pi}} v^2 e^{-v^2/\alpha^2} \quad (6)$$

Bir başka dağılım fonksiyonu olan $g(v)$ fonksiyonu, v hızının görece önemini saptamaya yarar. Fizik açısından taşıdığı anlam Çizim 13.2'de verilmektedir. Burada $g(v)$ hızları saniyede 0 ile 1.400 metre arasında değişen karbon dioksit molekülleri için çizilmiştir. Sıcaklığın mutlak ölçeğe göre 500 (227° C) olduğu varsayılmıştır. Çizimden çok yüksek ve çok düşük hızların pek mümkün olmadığını ve



Çizim 13.2. Maxwell'in $g(v)$ dağılım fonksiyonu. Çizim $g(v)$ 'nin her değerini v 'ye en muhtemel değeri vererek elde edilmiş değere bölerek "normal hal"e getirilmiştir.

eğrideki maksimum noktada en olası hızın yaklaşık 430 metre/saniye (= 16 mil/dakika) olduğunu anlayabilmekteyiz.

Maxwell 1860 tarihli makalesinde “Çok sayıda eşit parçacık [molekül] arasındaki çok sayıda çarpışmadan sonra hızları verili limitler arasında kalan parçacıkların ortalama sayısını bulma” şeklindeki önermeye çözümler olarak temel denklem (5) ve denklem (6)’yı türetmek için tek sayfa yetmişti. Burada kullanılan dil -”çok sayıda” molekül ve çarpışma için bir “ortalama” hesaplama- katışık-sız bir *istatistiksel* açıklamayı öngörmektedir ve Maxwell’in dağılım fonksiyonlarıyla sağladığı şey de budur.

Böylece Maxwell, başlı başına moleküllerin gelişim çizgilerine ilişkin “kişisel irdelemeler”e girişmeksiniz, yalnızca istatistiksel davranış biçimlerini tanımladı ve 1860’taki makalesinde ortaya koyduğu bu sonuçla birçok yarar sağladı. İstatistiksel açıdan belirtmek gerekirse, bir gazın ağırlıklılığını, ısı iletme yeteneğini, moleküler çarpışma hızını ve dağılım hızını hesaplayabilecek durumdaydı. C. W. F. Everitt bunun “fizikte yeni bir çağın” başlangıcı olduğunu belirtir. “İstatistiksel metotlar gerek fizikte gerek sosyal bilimlerde gözlemleri analiz etmek için uzun süreden beri kullanılmıştı ama Maxwell’in bir istatistiksel fonksiyonla [örneğin denklem (6)’daki $g(v)$] fiili fiziksel süreçleri tarif etmeye yönelik fikirleri olağanüstü bir yenilikti.”

Maxwell’in teorisi, şaşırtıcı bir sonuçla, gazlar için ağırlıklılık parametresinin gaz basıncından bağımsız olacağını öngörmekteydi. “Bir matematiksel teorenin böyle bir sonuç vermesi hayret vericidir” diye yazmıştı Maxwell, “üstelik konuya ilişkin olarak rastladığım tek deney bunu doğruluyor gibi değildir.” Ne var ki, teoriye inancı sağlamdı ve birkaç yıl sonra karısı Katherine’in de marifetli yardımıyla basıncın bağımsız olduğunu deneysel olarak gösterdi. Bilim camiası bir kez daha Maxwell’e has sihirbazlığa hayran kalmıştı.

Ama teori özgül ısılarla ilişkin aynı ölçüde kafa karıştırıcı bazı verileri açıklayamıyordu. Özgül ısı bir birim, sözelimi bir kilogram ağırlığında bir maddenin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli olan ısı girdisini ölçerek bulunur. Özgül ısı ölçümleri sabit basınç ve sabit hacim koşulları için yapılabilir. Bu sabit değerlerin ilki her zaman ikincisinden daha büyük olur.

Birçok çağdaşı gibi, Maxwell de moleküler harekette ısının yer aldığına ve dolayısıyla özgül ısının bir madde ısıtıldığında aktifleşen moleküler hareket biçimlerinin sayısını yansıttığı kanısındaydı. Maxwell’in teorisi “eşbölüşüm teoremi” denen ve bir maddenin ısı bir enerjisinin moleküllere özgü bütün hareket biçimleri arasında eşit dağıldığını öngören ilkeyi desteklemekteydi. Molekül başına hareket biçimi sayısı verili olduğunda, teoriye dayanarak sabit basınç ve sabit hacim özgül ısılarını ve bunlar arasındaki oranı hesaplamak mümkündü. Küresel bir yapıya sahip olmaları halinde, moleküller düz hatlarda ilerlediklerken aynı zamanda dönebilirlerdi. Hem dönüşlü hem de düz hatlı hareket için üç bileşen (x , y ve z) bulunduğu varsayıldığında, eşbölüşüm teoremi için çetele altıydı ve özgül ısı oranı için kestirim $1,333$ ’tü. Çeşitli gazlar için gözlemlenen ortalama $1,408$ ’di.

Maxwell bu problemi hiç gideremedi ve konu 1870'ler boyunca kafasını kurcaladı. Sonunda önerisi, problemi "tamamen bilinçli bir bilmezlik" saymak ve "bilgide gerçek [bir] ilerlemeye girizgâh" olmasını beklemek oldu. Gerçekten de öyleydi. Özgül ısı teorisi yirmi yıl daha bir muamma olarak kaldı, ta ki kuantum teorisi eşbölüşüm teoremindeki esrarengiz aksaklıklara bir açıklama getirene kadar.

Maxwell Şeytan(lar)ı

İstatistiksel metot Maxwell'e bir başka kapıyı açarak, termodinamiğin ikinci yasası alanına girmesini sağladı. Isının her zaman sıcaktan soğuğa geçtiği yolundaki ikinci yasa aksiyomunu geçersiz kılacak tuhaf bir düzeni kendine has anlatım biçimiyle tasarlayarak eğlenmeye çalıştı. P. G. Tait'e yazdığı bir mektupta, "Diyelim ki A & B diye iki kap bir diyaframla ayrılmış olsun" diye anlattı "ve bunların içinde çalkantı halinde birbirlerine ve kap kenarlarına çarpan esnek moleküller bulunsun. A ve B'deki parçacıkların sayısı eşit olsun ama A'da bulunan parçacıklar en yüksek hareket enerjisine sahip olsun [yani B'ye göre A daha yüksek bir sıcaklıkta olsun]." Diyaframda küçük bir delik yer alırsa, moleküller bunun içinden geçerek bir kaptaki enerjiyi diğerine aktaracaktır.

Şimdi basit yoklama yöntemiyle bütün moleküllerin yollarını ve hızlarını bilen ama kütesiz bir sürgüyle deliği açıp kapatma dışında başka bir iş yapamayan fani bir varlığı gözünde canlandır." Bu "varlık" için belirlenen görev deliği açmak ve A'daki ortalama hızdan daha büyük hıza sahip moleküllerin B'den A'ya, B'deki ortalama hızdan daha düşük hıza sahip moleküllerin ise A'dan B'ye geçmesine izin vermektir. "Varlık" iki yönlü molekül trafiğini dengeli tuttuğu için, A ve B'deki moleküllerin sayısı değişmez. Bu manevraların sonucu, başlangıçtaki duruma göre A'deki moleküllerin daha enerjik, B'deki moleküllerin ise daha az enerjik hale gelmesidir. Böyle bir şey ikinci yasaya aykırı olarak yanlış yönde bir ısı akışı anlamına gelir: "Sıcak sistem daha sıcak, soğuk sistem daha soğuk hale gelmiştir, bununla birlikte hiçbir iş yapılmamış, yalnızca çok cingöz ve acar bir varlık işin içine girmiştir." Maxwell'in marifetli "varlığı"nı Tait'ten öğrenen Thomson, onu derhal bir "ayıklayıcı şeytan" rütbesine yükseltti.

Maxwell gerçekten ikinci yasayı alt etmiş miydi? Zafer çalımı satmaya kalkmadı: Onun "acar" şeytanı bir düzenbazdı. Eğer hiçbir iş yapmadan molekül trafiğini kontrol eden bir şeytan tasarlayabilirsek, diye ileri sürüyordu Maxwell, ikinci yasayı fiilen geçersiz kılabiliriz. "Ancak yeterince zeki olmadığımızdan yapamayız bunu" diye bağlıyordu sözünü. Şeytan kendisine verilen görevi tam yerine getiremez. Ortalama olarak, yani istatistiksel açıdan belirtirsek, deliği aşarak (sıcaklığın daha yüksek olduğu) A'dan B'ye geçen sıcak moleküller, B'den A'ya geçenlerden daha çok olur. İkinci yasanın olanak verdiği normal ısı akışı doğrultusu budur. Maxwell'in verdiği mesaj şudur: İkinci yasaya temel oluşturan şey çok büyük sayıda molekülün istatistiksel davranışdır ve hiçbir teknik yaratıcılık bu istatistiksel kalıpları tersine çeviremez. 1870'te John Strutt'a (sonradan Lord

Rayleigh) yazdığı bir mektupta bunu şöyle ifade eder: “Denize dökülen bir bardak suyun aynen denizden alınamayacağı ifadesi ne kadar doğruysa, termodinamiğin ikinci yasası da o ölçüde doğrudur.”

Maxwell şeytanını yorumlamak fizikçiler arasında küçük çaplı bir sektöre dönüşmüş durumdadır. Şeytanı konu alan sayısız makale ve hatta birkaç kitap vardır. Görünüşe bakılırsa bu yazarlardan bazıları Maxwell’in dirayetine güvenmeyen ve daha iyi bir şeytan yaratmaya çalışan kişilerdir. Onlara zeki denebilir ama yeterince zeki değildirler: Maxwell ve ikinci yasa doğrulanmış oluyor böylece.

Entropi ve Düzensizlik

Clausius ve Maxwell’in daha önceki çalışmalarını destekleyerek daha da ileri götüren Boltzmann’ın istatistiksel mekaniğin gelişmesinde oynadığı role gelebiliriz artık. Boltzmann’ın ilk önemli katkısı 1860’ların sonlarında Maxwell’in moleküler dağılım fonksiyonu kavramını genişletmesiydi. Bir molekül sisteminin belirli bir toplam (kinetik + potansiyel) E enerjisini taşıma olasılığını belirlemeye yönelik faktörün e^{-hE} ile orantılı olduğunu ve h ’nin yalnızca sıcaklığa bağlı bir parametre olduğunu saptadı. Bu “Boltzmann faktörü” moleküler dağılımlara dayanan her türlü hesaplamada bir demirbaş haline gelmiştir. Üstelik yalnızca fizikçiler değil, kimyacılar, biyologlar, jeologlar ve meteorologlar için de.

Boltzmann kendi istatistiksel faktörünün sistemdeki bütün koordinatları ve bütün hız bileşenlerini kucaklayan geniş bir “evre uzayı”nda işlerlik taşıdığını varsaydı. Evre uzayındaki her nokta, moleküllerin konumları ve hızları açısından sistemdeki muhtemel bir durumu ifade eder. Sistem evrimden geçerken, bu noktaların birinden diğerine doğru giden bir yol izler.

Boltzmann istatistiksel teorisini kurarken, evre uzayındaki bir noktayı merkez alan $d\omega$ diye küçük bir unsuru tasarladı ve ardından sistemin bir unsur içindeki noktalarla ifade edilen bir durumda olmasına ilişkin dP olasılığının e^{-hE} istatistiksel faktörünün $d\omega$ unsuruyla çarpımına orantılı olduğunu varsaydı:

$$dP \propto e^{-hE} d\omega$$

ya da

$$dP = A e^{-hE} d\omega \quad (7)$$

Burada A bir orantılılık sabitidir. Olasılıklar her zaman bütün olası olaylar için toplandıklarında bir toplamını verecek şekilde tanımlanır. Yukarıdaki dP terimlerinin toplamını bir entegral alma işlemiyle yaptığımızda, şu sonuca varırız:

$$\int dP = 1$$

Böylece denklem (7)’nin her iki tarafının entegralini alarak elde ettiğimiz

$$\int dP = \int A e^{-hE} d\omega = A \int e^{-hE} d\omega$$

sonucu bizi

$$1 = A \int e^{-hE} d\omega$$

denkleminde götürür ve denklemden A orantılılık sabitinin değeri çıkar:

$$A = \frac{1}{\int e^{-hE} d\omega} \quad (8)$$

Bunu denklem (7)'ye yerleştirdiğimizde, şu sonuca varırız:

$$dP = \frac{e^{-hE} d\omega}{\int e^{-hE} d\omega} \quad (9)$$

Bu soyut bir açıklamadır ama aynı zamanda yararlıdır. Herhangi bir fiziksel niceliği, sözelimi S entropisini moleküler koordinatların ve hızların bir fonksiyonu olarak ifade edebilirsek, bu durumda ortalama $\bar{S}$ entropisini istatistiksel olarak hesaplayabiliriz. Bunun için yalnızca S'nin her olası değerini ona denk düşen dP olasılığıyla çarpmamız ve bunları bir entegral alma yoluyla toplamamız gerekir:

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \int S dP \\ &= \frac{\int S e^{-hE} d\omega}{\int e^{-hE} d\omega} \end{aligned} \quad (10)$$

Şimdiye kadar anlatılanlar çerçevesinde, Boltzmann'ın istatistiksel yaklaşımı yalnız tersinir süreçlerle ilgili olması bakımından sınırlıydı. Boltzmann 1872'de yayımlanan uzun ve zor anlaşılır bir makalede, tersinmez süreçlere ilişkin bir moleküler teori kurarak daha da ileriye gitti. Bu işe bir f moleküler hız dağılım fonksiyonunu ortaya atmakla başladı. Önerdiği fonksiyon aynı adı ve sembolü taşıyan Maxwell fonksiyonunu andırıyordu ama Boltzmann'ın f versiyonunun evrimine olanak veren önemli bir açıdan farklılık gösteriyordu: Zamana göre değişebiliyordu.

Boltzmann gaz sistemlerinde tersinmez değişikliklerin moleküller arasında-

ki kaotik çarpışmalardan kaynaklandığı konusunda sağlam bir kanıya sahipti. Daha önce Maxwell'in geliştirdiği bir matematiksel teknikten yararlanarak, f fonksiyonunda moleküler çarpışmalara bağlı değişim hızını ifade eden çapraşık bir denklem türetti. Günümüzde bilinen adıyla bu Boltzmann denklemi, iki önemli önermeyi gerekçelendirir. Birincisi, denklem (5)'teki Maxwell'e özgü biçimi aldığı anda, f 'nin değişim hızının sifıra eşit olduğunu gösterir. Bu anlamda, Maxwell fonksiyonu statik ya da *dengede* bir dağılımı ifade eder.

İkincisi, Boltzmann denklemi Maxwell dağılım fonksiyonunun dengede mümkün tek fonksiyon olduğu saptamasını geçerli kılar. Boltzmann bu noktayı açıklamak için, daha sonraları H adını verdiği zamana bağlı bir fonksiyon ortaya attı.

$$H = \int (f \ln f) d\sigma \quad (11)$$

Burada $d\sigma = dv_x dv_y dv_z$ demektir. Boltzmann denklemiyle birlikte ele alındığında H fonksiyonu bizi Boltzmann'ın " H teoremi"ne götürür. Bu teoreme göre H hiçbir zaman bir artış yönünde gelişemez: H fonksiyonundaki değişim hızı, yani

$\frac{dH}{dt}$ türevi ya negatif (H azalış içinde) ya da sıfır (*dengede*) olur.

$$\frac{dH}{dt} \leq 0 \quad (12)$$

Böylece H fonksiyonu bir gaz sisteminin tersinmez evrimini izler ve sistemin denge durumuna ulaşarak artık değişmemesine kadar hep azalır. İşte bu durma noktasında Boltzmann f fonksiyonu zorunlu olarak Maxwell'e özgü biçimi alması gerektiğini kanıtlayabildi.

Boltzmann'ın H fonksiyonu gibi, izole bir sistemin entropisi de ikinci yasa-ya göre işler; aradaki tek fark H 'nin hep artması, S entropisinin ise hep azalmasıdır. Bu farklılığı H 'nin önüne bir eksi işareti koyarak ifade ederiz ve şu sonuca varırız:

$$S \propto -H \quad (13)$$

Böylece Boltzmann'ın ayrıntılı savı hem entropi kavramının hem de ikinci yasanın bir moleküler analogunu sağlamış oldu.

Ancak ortada açık bir problem vardı. Mahiyeti itibarıyla Boltzmann'ın savı tamamen mekanik ve sonuçta Newtoncu mekanik denklemlere veya bunların eşdeğerlerine sıkı sıkıya bağlı gibiydi. Boltzmann'ın Viyanalı meslektaşlarından Joseph Loschmidt (dostça bir eleştiriyle) mekanik denklemlerin zaman tersine çevrildiğinde değişmeme gibi bir özelliği olduğuna işaret etti. Yani, t zaman değişkeninin yerine $-t$ konduğunda denklemler değişmez. Loschmidt'e göre, bunun anlamı şuydu: Boltzmann'ın çarpışan moleküller kümesi de dahil her türlü me-

kanik sistemde fiziksel süreçler eşit olasılıkla geriye ya da ileri gidebilir. Örneğin, bir parfümdeki moleküllerin şişeden çıkarak odaya yayılması nasıl sağlanabilirse, bütün moleküllerin geri dönüp kendiliğinden şişeye dolması da beklenebilir. Oysa böyle bir durum tecrübeye ve ikinci yasaya tamamen aykırıdır. Loschmidt bu nedenle Boltzmann'ın ikinci yasaya ilişkin moleküler yorumunun dayandığı mekanik temellerle şüphe götürür olduğu sonucuna vardı.

Boltzmann 1877'de verdiği cevapta savının tamamen mekaniğe dayanmadığını belirtti: Olasılık yasaları da aynı ölçüde önemliydi. Parfüm moleküllerinin şişeye dönmesi *mümkündü* ama olağanüstü ölçüde elverişsiz bir durumu aşmak koşuluyla. Boltzmann bu noktayı bir savla, hem de somutlaştırma fırsatını bulmasından daha da zekice olduğu anlaşılabilecek bir savla ortaya koydu. Bir sistemdeki belirli bir fiziksel duruma ilişkin olasılığın, Richard Feynman'ın ifadesiyle "[sistemin] içerisini dışarıdan aynı görünecek biçimde düzenleme yolları"nın toplam sayısı ile orantılı olduğunu ileri sürdü. Bunun ne anlama geldiğini görebilmek için, Maxwell şeytanının bekçilik ettiğine benzer iki kabı canlandırın gözünüzde. Her iki kap da dahil bütün sistem A ve B diye iki tür gaz molekülünü barındırıyor olsun. Moleküllerin toplam sayısının değişmediği ve her iki kaptaki molekül sayısının hep aynı olduğu kısıtlamaları çerçevesinde, kaplar arasında moleküllerin olası düzenlemelerinin sayısını sistematik biçimde sıralayarak Boltzmann toplamını elde ederiz.

Bu hesaplamaya önce gülünç denecek kadar az sayıda molekülle başlar ve daha sonra bunu "kombinasyonlu" matematik kurallarına dayalı kestirimlerle gerçekçi boyutta sistemlere taşırsanız, izlenen yolu anlamamız kolaylaşır. Diyelim ki elimizde etkileşime girmeyen yalnızca sekiz molekül var. Bunların dördü A, dördü B molekülü olsun ve her iki kapta dörder molekül (A ya da B) bulunsun. Olasılıklardan biri bütün A'ların birinci kapta ve bütün B'lerin ikinci kapta yer almasıdır. Bu dağılım ters yönde de olabilir: İkinci kapta dört A, birinci kapta dört B. Diğer iki olasılık birinci kapta üç A ve bir B, ikinci kapta bir A ve üç B ile bu dağılım tam tersidir. Beşinci ve son dağılım her iki kapta da iki A ve iki B bulunmasıdır; bu dağılımı tersine çevirmek yeni bir durum yaratmaz. Belirttiğim bu beş dağılım Tablo 13.2'nin ilk iki sütununda yer almaktadır.

Tablo 13.2

Kap 1	Kap 2	Düzenleme sayısı
4A	4B	1
4B	4A	1
3A + B	A + 3B	16
A + 3B	3A + B	16
2A + 2B	2A + 2B	36
		70

Boltzmann bizden bu dağılımların elverdiği moleküler düzenleme sayısını hesaplamamızı ister. Kaplar içindeki yenedeki düzenlemeleri gözardı edersek, ilk iki dağılımın her biri tek bir düzenleme olarak sayılır. Üçüncü dağılımın daha fazla düzenlemesi vardır, çünkü birinci kaptaki tek B molekülü dört B molekülünden, ikinci kaptaki yek A molekülü de dört A molekülünden herhangi biri olabilir. Bu dağılım için toplam düzenleme sayısı $4 \times 4 = 16$ olarak çıkar. Dördüncü dağılımın düzenlemeleri benzer biçimde sayılır. Beşinci dağılıma ilişkin toplam sayı (ayrıntıları atlayarak belirtirsek) 36'dır. Böylece dört küçük sistemimiz için "içerisini dışarıdan aynı görünecek biçimde düzenleme yolları"nın toplam sayısı, yani W olarak adlandıracağımız nicelik şu olur:

$$W = 1 + 1 + 16 + 16 + 36 = 70$$

Aynı sonuç kombinasyonlu matematikten alınma formülünden yararlanarak daha soyut ama daha az zahmetli bir yoldan elde edilebilir:

$$W = \frac{N!}{N_A! N_B!} \quad (14)$$

Burada $N = N_A + N_B$ durumu söz konusudur ve ! "faktoriyel" gösterimi $4! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4$ gibi bir çarpım ardışıklığını belirtir. Örneğimiz açısından $N_A = 4$, $N_B = 4$, $N = N_A + N_B = 8$ olduğuna göre, sonuç şöyle olur.

$$W = \frac{8!}{4!4!} = \frac{(1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8)}{(1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4)(1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4)} = 70$$

Boltzmann'ın istatistiksel tablosunda, çok küçük sistemimiz her biri eşit ölçüde olası yetmiş düzenlemenin birinden öbürüne dolaşıp durur. Yarıya yakın bir olasılıkla sistem, A ve B moleküllerinin tamamen karışık olduğu beşinci dağılımı seçer. Buna karşılık sistemin birinci ya da ikinci dağılımı seçerek tamamen ayrışma olasılığı yalnızca yetmişte ikidir.

Sistemimizin boyutunu büyütürsek şaşırtıcı bir durum ortaya çıkar. Diyelim ki boyutu iki katını çıkardığımızda, böylece $N_A = 8$, $N_B = 8$, $N = N_A + N_B = 16$ olduğunda şöyle bir sonuç elde ederiz:

$$W = \frac{16!}{8!8!} = 12870$$

Şimdi daha çok sayıda düzenleme mümkündür. Sistemin çok daha "düzensiz" bir yapı kazandığını söyleyebiliriz. Günümüzde benimsenen uygulamayla, Boltzmann'ın W niceliği için bundan sonra "düzensizlik" terimini kullanacağız.

Kombinasyonlu formül (14)'ün hoş tarafı mikroskobik boyuttan makroskobik boyuta kadar her büyüklükte sistem için geçerli olmasıdır. Abes ölçüde küçük

N 'den geçecekçi ölçüde büyük N 'ye olağanüstü sıçramayı yapabilir ve basit kombinasyon hesaplamasına güvenmeye devam edebiliriz. Bir mol tutarında bir gazın söz konusu olduğunu varsayarsak, $N = 6 \times 10^{23}$, $N_A = 3 \times 10^{23}$, $N_B = 3 \times 10^{23}$ olduğuna göre, şöyle bir sonuç çıkar:

$$W = \frac{(6 \times 10^{23})!}{(3 \times 10^{23})!(3 \times 10^{23})!}$$

Faktoriyeller artık devasa sayılardır ve doğrudan hesaplanmaları olanaksızdır. Ama 18. yüzyılda James Stirling'in geliştirdiği olağanüstü yararlı bir yaklaşık hesaplama imdadımıza yetişir: N (işlemimizde besbelli görünen bir şekilde) çok büyük olduğuna göre, şu formüle başvurabiliriz:

$$\ln N! = N \ln N - N$$

Bu kestirme yolu yukarıdaki W düzensizliği hesaplamasına uyguladığımızda, şu sonuca varırız:

$$\ln W = 4 \times 10^{23}$$

ya da

$$W = e^{4 \times 10^{23}}$$

Bu *müthiş* büyük bir sayıdır. Üssü 4×10^{23} düzeyindedir. Astronomik nitelendirmesi bile değerini belirtmeye yetmez. Bir gazın $1/2$ mol tutarının başka bir gazın $1/2$ mol tutarıyla adamakıllı karışmasından oluşan bir sistemin düzensizliği, yani toplam düzenleme sayısıdır bu. Bu içinden çıkılmaz büyük sayının tek bir düzenlemesinde, gazlar tamamen ayrışır. Bir başka deyişle, $e^4 \times 10^{23}$ toplamında ayrışmayı gözlemlemek için tek şansımız vardır. Bunun meydana gelmesini beklemekte bir anlam yoktur. O halde, Boltzmann'a göre, parfüm moleküllerinin havadan ayrışıp şişenin içine girmeye yatkın olmayışının nedeni açıktır artık.

Boltzmann istatistiksel sayım metodunu gaz moleküllerinin enerji dağılımına uygulamanın bir yolunu buldu. Burada özel bir sorunla karşı karşıya kaldı: Moleküllerin sayısal dökümünü çıkarması az çok kolaydı ama enerjinin "molekül"lerini saymayı sağlayacak doğal bir yol yok gibiydi. Bulduğu çözüm işe yarar bir kurmaca olarak enerjinin ayrı demetler halinde paketlendiğini ve daha sonraları "kuantum" adı verilen bütün bu demetlerin çok küçük miktardaki aynı enerjiyi taşıdığını varsaymak oldu. Ardından bir kez daha kombinasyon yolunu izleyerek, belirli sayıda enerji kuantumu için yarışan belirli sayıda moleküllerin istatistiğini analiz etti. Belli bir enerji dağılımının, e^{-hE} üslü faktörünün dayattığı bir dağılımın ezici biçimde ağır bastığını saptadı. Her ne kadar diğerleri de mümkün olsa, çık büyük bir arayla en muhtemel enerji dağılımıdır bu.

Boltzmann ayrıca köklü bir buluşa vardı. Enerji kuantumunun sıfır düzeyine doğru azalmasını sağladığında, W düzensizlik sayımının logaritmasının bir eksi işaretiyle evrik hale getirilen H fonksiyonuyla orantılı olduğunu belirledi:

$$\ln W \propto -H \quad (15)$$

Daha sonra, H fonksiyonu ile entropi (orantılılık [13]) arasındaki bağlantıyı göz önünde tutarak, entropi ile düzensizlik arasında şu basit bağlantıya ulaştı:

$$S \propto \ln W \quad (16)$$

Boltzmann'ın teorik savı soyut ve izlenmesi zor görünebilir ama vardığı başlıca sonucu, yani entropi-düzensizlik bağlantısını en azından nitel bakımdan anlamak kolaydır. Düzen ve düzensizlik hayatımızın bildik unsurlarıdır ve dolayısıyla entropi de öyledir. Buhardaki su molekülleri, (aynı sıcaklıktaki) sıvı suda bulunan moleküllere oranla daha düzensizdir. Sıvıdaki su molekülleri ise buzdaki su moleküllerinden daha düzensizdir. Bunun bir sonucu olarak, (hepsi aynı sıcaklıkta olmak koşuluyla) buhar sıvı suya göre, sıvı su da buza göre daha büyük entropiye sahiptir. Benzin yandığı zaman, oktan gibi büyük moleküllerin düzeni ve düşük entropisi daha yüksek sıcaklıktaki karbon dioksit ve su gibi daha küçük moleküllerin düzensizliğine ve yüksek entropisine dönüşür. Dizilmiş bir iskambil destesinin düzeni ve düşük entropisi vardır ama kartlar karıştırıldığında düzensizlik ve daha yüksek entropi ortaya çıkar. Evlerimizde, oturduğumuz sıralarda, hatta düşüncelerimizde bile düzen ya da düzensizlik vardır. Bu örneklerde de entropi düzensizlikle birlikte yükselir ve düzenle birlikte düşer.

Entropi ve Olasılık

Gibbs'in istatistiksel mekaniğe ilişkin fikirlerini aşağı yukarı Boltzmann'a paralel olarak geliştirdiğini varsayabiliriz. Bununla birlikte onun bilinçli olarak seçtiği yol, başeseri *Elementary Principles in Statistical Mechanics*'i (İstatistiksel Mekaniğe Temel İlkeler) 1901'de yayımlayana kadar bu konudan pek söz etmemekti. Entropinin istatistiksel yorumunu çok daha önce düşünmeye başladığı, araya sıkıştırdığı "telafi edilmemiş bir entropi azalışı görüldüğü kadarıyla olabilirlikten uzaklığa indirgenebilir" saptamasından bellidir. Daha önce belirtildiği gibi, Gibbs bunu 1875'te gazların karışmasına ve ayrışmasına ilişkin bir değerlendirmeye bağlantılı olarak yazmıştı. Bu kestirim belki de Boltzmann'ın entropiye ilişkin istatistiksel görüşe yönelmesine katkıda bulunmuş olabilir; her ne olursa olsun, Boltzmann 1890'ların sonlarında yazdığı *Gaz Teorisi Üzerine Dersler*'in ikinci kısmının başına bu Gibbs alıntısını almıştı.

Gibbs, *Elementary Principles* adlı eseriyle Boltzmann, Maxwell ve Clausius'un geliştirdiği "gaz teorisi"ne bütünlük getirdi, "istatistiksel mekanik" gibi daha şık bir ad verdi ve günümüzün kuramcılarınca tercih edilen bir matematiksel üslup kazandı. Hareket noktası Maxwell'in 1879'de son makalelerinin birin-

de değindiği “temel küme” kavramıydı. Buradaki genel fikir şudur: Bir moleküler sistemin bazı kilit fiziksel özellikler dışından tıpatıp aynı olan eş-örneklerinin geniş bir derlemesini (bir temel kümeyi) tasarlama yoluyla o sistemdeki birçok durumun ortalaması kolayca alınabilir. Gibbs birkaç farklı türde temel küme önerdi. Burada öne çıkaracağım temel kümeye verdiği ad “kanonik”ti. Bir kanonik temel kümedeki bütün eş-örnekler aynı hacim ve sıcaklığa sahiptir ve aynı sayıda molekülü barındırırlar ama enerjileri farklıdır.

Bir kanonik temel kümenin ortalamasını almak, Boltzmann’ın ortalama alma işlemine benzer. Gibbs belirli bir durumdaki bir eş-örneği bulmak için bir P olasılığı ortaya attı ve ardından Boltzmann denklem (7)’de olduğu gibi, sistemin bir evre uzayı unsurunda yer aldığı dP olasılığını hesapladı.

$$dP = Pd\omega \quad (17)$$

Bu olasılıklar integral alma yoluyla toplandığında, bir toplamını vermelidir.

$$\int dP = 1 \quad (18)$$

Boltzmann gibi, Gibbs’e de yön veren şey termodinamikle bir istatistiksel moleküler analogi kurma arzusuuydu. Daha da önemlisi, bir istatistiksel entropi analogu peşinde olmasıydı. Bir kanonik temel kümeden istediği şeyi elde etmesinin en yalın yolu olasılığın *logaritmasına* odaklanmaktır. Böylece bir kanonik temel kümeye ait eş-örneklerden birinin entropisi için

$$S = -k \ln P \quad (19)$$

denklemini önerdi. Buradaki k (Gibbs’in yazımıyla $1/K$) sabiti, Joule’un adını taşıyan enerji birimi kullanıldığında, $1,3807 \times 10^{-23}$ büyüklüğünde çok küçük bir sayıdır. Günümüzde buna “Boltzmann sabiti” denir (hem de Boltzmann tarafından hiç kullanılmamasına ve öneminin ilk kez Max Planck tarafından anlaşılmasına rağmen).

Gibbs’in dizgesinde, aynen Boltzmann’ınkindinde olduğu gibi, P olasılığı ortalama almak için bir matematiksel araçtır. Ortalama bir $\bar{E}$ enerjisi hesaplamak için, bir eş-örnekte bulunan her E enerjisini buna denk düşen $dP = Pd\omega$ olasılığıyla çarpıp ve çıkan sonuçları integral alma yoluyla toplarız.

$$\bar{E} = \int PE d\omega \quad (20)$$

Denk düşen entropi hesaplaması, eş-örnekler için denklem (19)’ya göre belirlenen entropilerin ortalamasını verir.

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \int P(-k \ln P) d\omega \\ &= -k \int P \ln P d\omega \end{aligned} \quad (21)$$

Buradaki k sabiti istatistiksel mekanikte yaygın olarak karşımıza çıkar. Yalnızca Gibbs'in temel entropi denklemlerinde işimize yaramakla kalmaz, Boltzmann'ın geliştirdiği entropi orantılılığı (16)'nın aşağıdaki haliyle fizikteki en ünlü denklemler arasında yer almasını sağlar:

$$S = k \ln W \quad (22)$$

Bu denklem (k 'nin anakronik olmasına karşın) Boltzmann'ın Viyana Merkez Kabristanı'ndaki mezar taşına kazınmıştır.

Şimdi elimizde biri Gibbs'e, öbürü Boltzmann'a ait olmak üzere denklem (21) ve denklem (22)'de ifadesini bulan iki istatistiksel entropi analogu var. İki denklemin matematiksel bakımdan aynı olmadığı apaçıktır. Bununla birlikte görünüşte aynı şeyi, entropiyi hesaplamaya yararlar. Aradaki tek fark Gibbs'in P olasılıklarını, yani her zaman birden az olan nicelikleri kullanması, buna karşılık Boltzmann'ın hesaplamasını birden büyük (genellikle çok daha büyük) olan W düzensizliğine dayandırmasıdır. Söz konusu sistemin tek bir enerjiye sahip olması halinde, iki denklemin eşdeğer olduğu (buraya almaya elvermeyen bir genişlikte) kanıtlanabilir.

Gibbs kanonik temel kümeyle ifade edilen bir sistemin son derece iyi bir yaklaşık hesaplamayla sabit bir enerjiye sahip olduğunu kanıtladı. Enerjinin ortalama değerine göre ne ölçüde dalgalandığını hesapladı. Bu enerji dalgalanmasının karesinin ortalaması için kT^2C_v değerini buldu. Burada k yine Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık, C_v ise sabit hacimde ölçülen ısı kapasitesidir (sistemdeki maddenin bir molünü bir derece yükseltmek için gereken enerji). Gerek T gerek C_v çok büyük olmadığı ve k çok küçük olduğu için, enerji dalgalanması çok küçüktür. Entropi dalgalanmasına ilişkin benzer bir hesaplamadan çıkan kC_v de çok küçüktür.

Böylece hem Gibbs'in hem de Boltzmann'ın istatistiksel analizi fiilen sabit olan bir enerjiye ve entropiye varır. Bu analizler, Gibbs'in ifadesiyle, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarındaki enerji ve entropi kavramları için "rasyonel temeller"dir.

Her yerde boy gösteren k Boltzmann sabitinin bir başka önemli yararına işaret etmek gerekir. Gibbs, Boltzmann'ın e^{-hE} istatistiksel faktöründe yer alan h faktörünün T mutlak sıcaklığıyla $h = \frac{1}{kT}$ denklemine göre ilişkili olduğunu, böylece Boltzmann faktörünün sıcaklık katıldığında $e^{-\frac{E}{kT}}$ haline geldiğini kanıtladı.

Güncellenmiş Boltzmann ve Gibbs

Boltzmann ve Gibbs bize istatistiksel mekaniğin günümüzde "klasik" olarak anılan versiyonunu vermişlerdi. 1900'lerin başlarında kuantum teorisinin devreye girmesiyle birlikte, bazı değişiklikler yapma gereği doğdu. Başlıca problem 19. yüzyıl fiziğinin bakış açısıyla moleküllerin bir mekanik durumlar kesintisizliği

içinde olması, buna karşılık kuantum teorisinin temelinde moleküllerin ancak belirli ayrık durumlarda bulunabileceği ilkesinin yatmasıydı. Buradan çıkan sonuç, Boltzmann ve Gibbs denklemlerinde sürekli değerler taşıyabilen E enerji değişkeninin yerine moleküler sistemin her kuantum durumu için E_1, E_2 vb gibi belli değerlerin konması gerektiğidir.

Klasik denklemlerde gerekli onarımların yapılması oldukça kolaydır. Klasik $e^{-\frac{E}{kT}}$ Boltzmann faktörü kuantum teorisinde $i = 1, 2$ vb olmak üzere $e^{-\frac{E_i}{kT}}$ haline gelir. Boltzmann faktörlerinin integrali, yani denklem (9)'daki $\int e^{-\frac{E}{kT}} d\omega$ ($h = \frac{1}{kT}$ olduğunu unutmayın) sistemin erişilebilir kuantum durumlarının hepsini kapsayan Boltzmann faktörlerinin bir toplamı, yani $\sum e^{-\frac{E_i}{kT}}$ haline gelir. Bu toplama modern istatistiksel mekanikte öncü bir rol oynar. Bir “bölme fonksiyonu” olarak anılır ve Z sembolüyle şöyle gösterilir:

$$Z = \sum e^{-\frac{E_i}{kT}} \quad (23)$$

Böylece i 'nci kuantum durumu için P_i olasılığını hesaplamayı sağlayacak şekilde kuantum teorisine uyarlanmış Boltzmann'ın klasik olasılık denklemi (9) şu hali alır:

$$P_i = \frac{e^{-\frac{E_i}{kT}}}{Z} \quad (24)$$

Klasik denklem (19)'dan uyarlamayla, i 'nci kuantum durumunun S_i entropisi

$$S_i = -k \ln P_i \quad (25)$$

biçimini alır ve bir kanonik temel küme için ortalama entropi, denklem (21)'in uyarlanmış şu biçimiyle hesaplanır:

$$\bar{S} = -k \sum P_i \ln P_i \quad (26)$$

Denklem (20)'nin bir uyarlaması olan ortalama enerji hesaplaması şöyle olur:

$$\bar{E} = \sum P_i E_i \quad (27)$$

İstatistiksel termodinamiğin bu versiyonunun anahtarları denklem (24) ve denklem (25)'tir. Bunlar da E_i enerjilerini gerekli kılar. Her sistemin kuantum teorisi enerji denklemleriyle ve moleküler spektroskopinin kesin sayısal verileriyle belirlenmiş olan kendi hiyerarşik enerjiler dizisi vardır.

Savaşkanlar

Boltzmann 1898'de *Gaz Teorisi Üzerine Dersler*'in ikinci cildini yayımladığında, kabul göreceği konusunda iyimser değildi. Teorisinin moleküler temeline sert eleştiriler yönelten tanınmış ve tanınmamış kişiler vardır. "İnancım o ki bu saldırıların sırf bir yanlış anlamaya dayanıyor" diye yazıyordu Boltzmann kitabın önsözünde. "Ve de [moleküler] gaz teorisinin rolü henüz sonuca bağlanmış değil. ... Anlık bir düşmanca tutum yüzünden gazlar teorisi geçici olarak unutulmaya terk edilirse, aynen Newton'un ağırlığından dolayı [ışığa ilişkin] dalga teorisi örneğinde olduğu gibi, bunun bilim için büyük bir trajedi olacağı kanısındayım."

Boltzmann'ın en keskin hasımları Ernst Mach, Wilhelm Ostwald ve Georg Helm'di. Ostwald bütünleştirici bir ilke olarak enerji kavramından hareketle, bütün bilim alanlarını kucaklayacak büyük bir sistemin formüle edilebileceğine inanıyordu. Ona göre, fizik ve kimya yasalarını belirleyen şey enerji akışları ve dönüşümleri idi. Moleküller ve atomlar matematiğin uydurmalarıydı, bütün biçimleriyle enerji evrensel gerçeklikti. Helm de Ostwald'un "enerjikler" okuluna bağlıydı.

Boltzmann hasımlarının en beceriklisi ve en direşkeni olan Mach, enerjiklerin safında değildi ama atomculuğun amansız bir karşıtıydı. Varlıklarına ilişkin doğrudan kanıtlar bulamadığı gerekçesiyle atomları ve molekülleri bir türlü kabul etmiyordu. Atomlar görülemediğine göre, diye ileri sürüyordu, "tıpkı cebir sembolleri gibi, [atomlardan] da onlara yakıştırdığımız şeylerden daha fazlasını ve hele deneyimin kendisinden daha ileri bir açıklığı beklemeye pek hakkımız yok." Boltzmann'ın ikinci yasayı moleküler kaosa bağlı olarak açıklaması ona göre yüzeyseldi. "Bana kalırsa" diye yazmıştı, "bu (entropi) yasasının kökleri çok daha derinde yatıyor ve eğer moleküler hipotez ile entropi yasası arasında bir uyuma sağlama çabası başarıya ulaşırsa, hipotez için hayırlı olur ama entropi yasası için değil."

Mach'ın bu saptamaları yaptığı sıralarda, Boltzmann yayımladığı *Mekanik İlkeleri* kitabının girişine şöyle bir alıntı koydu:

Doğru olanı ortaya atmaya bak
Öyle yaz ki görülsün berrak
Son nefeste de sana düşer savunmak!

Bu pekâlâ Boltzmann'ın atomculuk karşıtlarına karşı bir savaş narası sayılabilir. O sıralarda bir öğrenci olan ve daha sonraları tanınmış kuantum fizikçileri arasına katılan Arnold Sommerfeld, 1895'te Lübeck'teki doğa bilimcileri konferansında tanık olduğu küçük çaplı bir çarpışmada Boltzmann'ın nasıl boğuştuğunu şöyle aktarır: "Energetik [enerjikler] üzerine bildiriyi Dresden'den gelen Georg Helm sunmuştu. Onun arkasında Wilhelm Ostwald duruyordu. Her ikisinin arkasında ise orada hazır olmayan Ernst Mach'ın felsefesi vardı. Hasım Boltzmann ve ona destek veren Felix Klein'di. Hem dış hem de iç görünümüyle, Boltzmann ve Ostwald arasındaki çatışma, boğanın kıvrak dövüşçüye saldırma-

sını andırıyordu. Ne var ki, bu sefer ustaca manevralarına karşı matador karşısında zafere ulaşan boğaydı. Boltzmann'ın savları üstünlük kazandı. Bizler, dönemin genç matematikçileri, hep birlikte Boltzmann'ın yanında yer aldık."

Boltzmann "genç matematikçiler" in sempatisini kazanmıştı ama Mach-Ostwald güçleri yüzyılın bitimine kadar ağır bastılar. Derken 1905'te, Boltzmann'ın California'da Bayan Hearst'le akşam yemeği yediği ve piyanosunun çecikiliğine kapıldığı sıralarda, yirmi altı yaşındaki Albert Einstein molekülere karşı savaşın sonunu getiren sürecin ilk adımını oluşturan bir teorik makale yazdı. Einstein'a göre, belirli moleküller gerçekten görülebilir, sayılabilir ve izlenebilirdi. Aklından geçen şey "koloidal" parçacıklar, yani Dünya atmosferindeki oksijen ve azot molekülleri gibi, sulu ya da diğer ortamlarda dağılabilen ve sürekli asılı kalabilen parçacıklardı. Bunlar boyut olarak sıradan moleküllere oranla beş sıraya kadar varan çapta daha büyük olabilir. Einstein ayrıca Boltzmann'ın metoduyla büyük küçük bütün moleküllerin aynı türde istatistiksel davranışlar sergilediğini kanıtladı. Bir koloidal parçacığın rasgele hareket ederken t zamanı içinde aldığı düz hatlı λ mesafesi için bir denklem türetti. Bütün parçacıkların küresel olduğunu ve aynı τ yarıçapıyla hazırlandığını varsayarak, şu formülü elde etti:

$$\lambda^2 = \frac{RT}{3\pi N_A \tau \eta} t$$

Burada R bir ideal gazın basıncı, hacmi ve sıcaklığıyla ilişkili olarak denklemde yer alan bir sabit, yani "gaz sabiti", T mutlak sıcaklık, N_A Avogadro sayısı ve η de parçacıkların içinde hareket ettiği sıvı ortamın ağırlıklılığını ölçmeye yarayan bir katsayıdır.

Einstein koloidal parçacıkların mikroskopta (en azından bir "ultramikroskop"ta saçılan ışıkla) görülmeye elverecek kadar büyük olduğunu kavradı. Atomların ve moleküllerin gerçekliği gibi tartışmalı bir meseleyi sonuca bağlamak üzere denkleminin doğrudan bir deneysel teste tabi tutulabileceğini varsaydı. Böylesine kritik bir deneysel testi yürütmek için gerekli sabır ve beceriye sahip kişi olan Jean Perrin, başlangıçta Einstein'ın teorisinden habersizdi. Ama Einstein gibi, o da koloidal parçacıkların mega-moleküller gibi davrandığını kanınsındaydı. 1906'da başlayan bir dizi deneyle reçine asıtlarındaki koloidal parçacıkların denge dağılımı ile atmosferdeki gaz moleküllerinin dağılımı arasında bir analogi olduğunu titizlikle ortaya koydu. Einstein'ın denklemi nihayet 1909'da dikkatini çekti ve denklemdeki diğer parametrelerin ölçülmüş değerlerinden hareketle N_A Avogadro sayısını hesaplayarak denklemin geçerliliğini kanıtladı. Elde ettiği $N_A = 7 \times 10^{23}$ sonucu başka N_A belirlemeleriyle makul bir uyuma içindeydi; Max Planck'ın 1900'de tamamen farklı bir teorik ve deneysel temelde elde ettiği $N_A = 6 \times 10^{23}$ sonucu da buna dahildi.

Einstein'ın teorisi, Perrin'in titiz deneyleri, J. J. Thomson'ın elektronu bulması ve Ernest Rutherford'un radyoaktiviteyi incelemesi gibi başka deneyler so-

nunda moleküllerin gerçekliği konusunda hiçbir kuşkuya yer bırakmadı. Ostwald 1909'da *Genel Kimyanın Ana Hataları* adlı kitabının önsözünde şu sözlerle teslim bayrağı çekti: "Atom hipotezinin yüzlerce ve binlerce yıldır boş yere peşinde koştuğu maddenin ayrık ve taneli niteliğine ilişkin deneysel kanıtları son zamanlarda edinmiş olduğumuza artık inanmış durumdayım." Mach anlaşıldığı kadarıyla hiçbir zaman ikna olmadı.

Boltzmann 1905'te California'dan Viyana'ya döndüğünde, Einstein'ın makalesinden habersizdi. Perrin'in deneyleri ise birkaç yıl sonra gündeme gelecekti. Düşmanlarıyla bir kez daha kapışmayı aklından geçirdiğine hiç kuşku olmasa da, Boltzmann bu şansı yakalayamadı. 1906 başlarında son ve kaçınılmaz depresyonu yaşadı. Aynı yılın ilkbahar ve yaz aylarında ruhsal durumu gittikçe daha da bozuldu. "Boltzmann yaz sömestrinde dersler vereceğini duyurmuştu" diye yazacaktı Mach sonraları, "ama sinirsel durumu yüzünden bunları iptal etti. İşin içyüzünden bilenler Boltzmann'ın muhtemelen bir daha hiç profesörlük yapamayacağını far-kindaydı. Birileri onu gözetim altında tutma gereğinden söz etti, çünkü daha önce intihar girişimlerinde bulunmuştu."

Boltzmann, Henriette ve Elsa yaz tatili için Trieste yakınındaki Duino sayfiye kasabasına gittiler. Viyana'ya dönmelerine birkaç gün kala, Boltzmann kendini astı.

GÖRELİLİK

Tarihsel Sinopsis

Görelilik mütevazı bir soruyla başlar: Birbirimize göre hareket halindeyse, senin fiziğin benim fiziğimle nasıl bir ilişki içinde olur? Galileo buna bir cevap vermişti: Göreli hızımız sabitse, tam olarak aynı mekanik yasalarına ulaşırız. Newton da aynı şeyi söyledi ama bütün hareketlere -uzay ve zaman içinde mutlak bir referans çerçevesine göre senin, benim ve başka herkesin olmak üzere bütün hareketlere- değinerek daha derin ayrıntılara indi. On dokuzuncu yüzyıl teorisyenleri Newton'un mutlak çerçevesini ışık ve başka elektromanyetik dalgalar yaydığı düşünülen ve "esir" adı verilen hipotetik ortamı içine oturtmak için elverişli bir yer olarak gördüler.

Esir fiziği Victoria Dönemi bilim adamları arasında seçkin bir uğraştı ama vahim kusurları vardı. Her şeyden önce, esir fizikçileri, esirin mekanik yapısına ilişkin standart bir model üzerinde hiçbir zaman görüş birliğine varamadılar. Tartışmaya açık bir başka konu, Newton'un mutlak referans çerçevesine oturmuş bir esir içindeki hareket kavramıydı. Dünya'nın bir "esir denizi"ne göre hareketini belirlemek Albert Michelson ve Edward Morley'nin 1880'lerde gi-riştiği bir dizi deney çarpıcı bir fiyaskoyla sona erdi. Başa çıkılamayan olgu, her zaman gözlemlendiği gibi, ışık kaynağının hızı ve doğrultusu ne olursa olsun, boş uzayda ışık hızının aynı olmasıydı.

İsviçre'nin Bern şehrinde Albert Einstein adlı genç bir patent uzmanı 1905'te yayımladığı bir makaleyle esir problemini çözüverdi, hem de bu kavramı dosdoğru bir tarafa bırakarak. Önce inkâr edilemeyecek iki ampirik ilkeyi önerme olarak ortaya koydu: Işık hızını sabit saymak ve Galileo'nun görelilik ilkesini elektromanyetik ve optik fenomenleri de kapsayacak biçimde genelleştirmek. Bu iki ilkedен hareket eden ve esir kavramına hiç başvurmayan Einstein, sabit hızlarda birbirine göre hareket halinde olan gözlemciler için uzunluk ve zaman ölçümlerinin farklı, hızın ışık hızına yaklaştığı durumlarda köklü denebilecek kadar farklı olduğunu kanıtladı. Örneğin, yerinde duran bir gözlemci bir

saati izlediğinde, saatle birlikte yolculuk eden bir başka gözlemciye oranla saati daha yavaş tıklıyormuş gibi görür. Einstein'ın 1905 makalesi bu "zaman genişlemesi"nin yanı sıra, yerinde duran gözlemci için saatin ya da başka bir şeyin uzunluk boyutunun hareket doğrultusunda büzüldüğünü ileri sürüyordu.

Einstein'ın 1905'te tasarladığı bu "özel" görelilik teorisinin iki kısıtlılığı vardı: Sabit görelî hızlarla hareket eden "eylemsiz" sistemleri odak alıyordu ve Maxwell'in elektromanyetik alan denklemleriyle bağdaşır olmakla birlikte, geçmişten gelen bir başka büyük teoriyi, Newton'un kütleçekimi teorisini kapsamıyordu. Einstein çok geçmeden bir "genel" görelilik teorisinin hem kütleçekimi etkilerini hem de eylemsiz olmayan, yani birbirine göre ivme kazanan sistemleri göz önünde tutmak zorunda olduğunu kavradı. Bu doğrultuda attığı ve daha sonraları "eşdeğerlik ilkesi" olarak anılan ilk adım "en mutlu düşünce"si'ni, yani ivmenin ve kütleçekiminin sıkı sıkıya ilişkili olduğunu ortaya koydu: İvmenin olduğu yerde, gerçek şeyden ayırt edilemeyen yapay kütleçekimi etkileri vardır.

Eşdeğerlik ilkesinin kılavuzluğu altında yoluna devam eden Einstein, ivmeli sistemlerde uzay ve zamanın garip biçimde çarpıldığını, bir dairenin çevresinin çapına oranını π sayısı ile hesaplama gibi Eukleides formüllerinin azıcık hatalı olduğunu fark etti. Böylece bir genel görelilik teorisinin Eukleidesçi olmayan bir geometriye dayanması gerektiği yolundaki hayati ipucunu yakalamış oldu. Nitekim, Bernhard Riemann'ın 1850'lerde Eukleidesçi olmayan uzaylar için geliştirmiş olduğu eksiksiz bir teori, Einstein'ın geometriyi kütleçekimine bağlayan bir teorik yapı kurması için tam da uygun matematiksel araçları sağladı. Einstein aynı dönemde yine Riemann tarzında geometri tarafından belirlenen genelleştirilmiş bir hareket denklemi buldu. Fiziğe geometriyle yaklaşma düsturu birçok halefi tarafından da benimsendi.

Düşünce Serüveni Albert Einstein



Kolomb Gibi

Modern teorik fizikçiler kendilerini düşünsel kâşifler gibi görmekten hoşlanırlar ve içlerinden en büyüğünün gerek mikroskopik gerek makroskopik düzeyde yeni ve egzotik fiziksel dünyalar keşfettiği söylenebilir. Düşünsel bakımdan uzak bu diyarlara yolculuk hep tehlikelerle dolu olmuştur, çünkü kâşifi olağan hayatının dünyasından alıp çok ötelere götürür. Bütün fiziksel dünyaların en tuhafı olan kuantum alanına ulaşma yolunu bulan teorisyenler kuşağının mensuplarından Werner Heisenberg, modern fiziğin düşünsel seferlerini Kolomb'un yolculuğuna benzetmişti. Kolomb'un cesaret isteyen girişimini çarpıcı bulmasının nedeni Batı'ya yelken açarak Doğu'ya varmaya çalışması ya da gemilerini ustalıkla idare etmesi değildi, "dünyanın bilinen bölgelerinden ayrılmaya ve batıya doğru, elindeki erzakın salimen geri dönmesine yeteceği noktanın ötesine yelken açmaya" karar vermesiydi hayranlık duyduğu şey. Düşünsel alanın Kolomb'u sıfatını herkesten daha fazla hak eden kişi Albert Einstein'dır. "Benimsenmiş öğretinin güvenli limanı"nın ötesindeki tuzaklarla dolu ve meçhul denizlere açılarak benzer seferlere o girişti. Yalnızca kuantum diyarının bir öncüsü olmakla kalmadı, modern fizik alanının büyük bir bölümünü de dolaşıp keşfetti.

Büyük keşif gezilerinin başladığı ve önemli ölçüde son noktaya vardığı sıralarda, Einstein yirmili yaşlardaydı ve bilim dünyasının sakin bir köşesinde, Bern şehrindeki İsviçre Patent Bürosu'nda çalışıyordu. Patent bürosundaki hayat, Einstein'ın bakış açısıyla, "bir tür kurtuluş" sayılırdı. Yaptığı iş ilginçti ve fazla çaba gerektirmiyordu. Akademik bir görevin baskısı altında olmadığı için, "esasla-

ra ulaşmanın yolunu gösterebilecek şeylerin kokusunu alma, başka her şeye, zihni karıştırıcı ve özden uzaklaştırıcı bir yığın şeye sırt çevirme” yönündeki harikulade yeteneğini değerlendirmekte serbestti.

Einstein mesleki açıdan daha yüksek konuma ulaşmaya çalışmıştı ama Zürich Politeknik Enstitüsü’nü (1911’den sonraki adıyla İsviçre Teknik Üniversitesi ya da kısaltılmış biçimiyle ETH) bitirdikten sonra önündeki seçenekler pek parlak değildi. Resmi eğitimden hoşlanmamış ve öğretilenlere çoğunlukla karşı çıkmıştı. Münih’teki lise öğretmenleri onun hiç adam olmayacağını söylüyor ve saygısız tavrını üzücü buluyordu. Lisede yaşadığı şeyler Einstein’da otoriteye karşı, özellikle de Prusyalı eğitimcilerin uyguladığı türden otoriteye karşı derin bir güvensizlik uyandırdı. Biyografi yazarlarından Ronald Clark, onun Münih’te okuduğu Luitpold Lisesi’ni muhtemelen “aynı türdeki kurumların çoğundan ne daha iyi ne de daha kötü” diye tasvir eder. “En az özel İngiliz okulları kadar vurdumduymazlığa büyük prim verdiği doğrudur ama bilhassa canavarca bir yer olduğunu varsaymak için bir neden yoktur. Normal disiplin sınırları içinde sayılabilecek bir uygulamanın ardında, gerektiği zaman son çare olarak tartışmasız Prusya otorite ilahına başvurma olanağı da el altında tutuluyordu. Yine de oğlanlar, hatta hassas ruhlu oğlanlar bu kadarıyla atlatıyordu.”

Einstein’ın babası Hermann neşe dolu bir iyimserdi, oğlunun ifadesiyle “son derece dost canlısı, yumuşak ve akıllı” biriydi ama başı ticari iflaslarla beladaydı. Böyle bir iflas aileyi Münih’ten Milano’ya sürükleyerek, lise derslerini bitirmek durumunda olan Einstein’ı yalnız bıraktı. Zaten sınıfta çok az arkadaşı olan Einstein, ailesinin de çekip gitmesiyle Münih’te ya da Almanya’nın başka bir yerinde yaşamaya artık katlanamaz duruma geldi. Ani bir kararla İtalya’daki ailesinin yanına gitti ve Alman yurttaşlığından çıkma niyetinde olduğunu bildirdi. Böyle bir şey lise diploması alamaması demekti ama kendi başına çalışarak Zürich Politeknik Enstitüsü’nün giriş sınavına hazırlanmayı tasarlıyordu. İtalya’da ve daha sonra İsviçre’de geçirdiği özgür ve umut verici hayat “sakin çocuğu sokulgan ve konuşkan bir delikanlıya çevirdi” diye yazar, yakın dönemdeki Einstein biyografisi yazarlarından Abraham Pais. Keyifli birkaç ay boyunca, Einstein kuzey İtalya’da gezip tozatarak, sönük bir gelecekte kurtulmanın sevincini kutladı.

Geçici bir aksilik, Politeknik giriş sınavında alınan kötü notlar aslında bir nimet oldu. Einstein ikinci bir denemeye hazırlanmak için, Aarau’da bir İsviçre kanton okuluna gitti. Buradaki eğitim süreci bir değişiklik heyecanı yaşamaya açıksından neşeliydi. Einstein, Aarau’da okurken Winteler ailesinin yanında kaldı. Jost Winteler okulun müdürüyü. Onu “biraz havai bir öğretmen” olarak nitelendiren Clark şöyle yazar: “Öğretmen arkadaşları kadar öğrencileriyle de iş ya da siyaset konularını konuşmaktan geri kalmazdı. Kafa dengi ve liberal görüşlü bir kişiydi, öğrencilerini ve kendi çocuklarını civardaki dağlarda gezmeye götürdüğünde en büyük mutluluğu yaşayan bir ornitoloğtu.” Aarau’da yaşadığı bir yıl yaşlılığında bile capcanlı hatırlayacaktı Einstein: “Bu okul liberal havasıyla ve dayatmacı otoriteye hiçbir biçimde bel bağlamayan öğretmenlerinin içten anlayışlılığıyla bende silinmez bir iz bıraktı.”

Einstein 1896 başlarında üç marklık bir harç ödedi ve artık bir Alman yurttaşı olmadığını bildiren belgeyi elde etti. İzleyen beş yıl boyunca uyruksuz bir kişi olarak kaldı. Aynı yılın sonraki aylarında Zürich Politeknik sınavını iyi bir puanla kazandı ve *fachlehrer*, yani uzman lise öğretmeni olmak için dört yıllık eğitime başladı. Bu arada babası bir başka ticari felakete uğradığı için, maddi olanakları artık sınırlıydı. Aylık harçlığı olan yüz İsviçre frangının yirmisini İsviçre yurttaşlığına geçiş işlemleri için biriktirmek zorundaydı. Ama geleceğe bakışında hiçbir zayıflama belirtisi yoktu. Bayan Winteler'e yazdığı bir mektupta şunu belirtiyordu: "Yorucu çalışma ve Tanrı'nın doğasını düşünme hayatın hengâmesi içinde barıştırıcı, pekiştirici ve hep haşın bir tavırla bana kılavuzluk edecek meleklerdir."

Einstein genelde Zürich Politeknik'teki derslerine büyük bir şevkle sarılırdı. Matematik derslerinden bazıları dört dürtüktü. Matematik hocalarından Hermann Minkowski'den öğrendiği şeyler daha sonraları görelilik teorisinin matematiksel temellerine hayati bir katkıda bulundu, buna karşılık deneysel ve teorik fizik dersleri heyecan verici olmaktan uzaktı. İlk başlarda laboratuvar çalışmalarını çekici bulduysa da, deney projeleri bu dersin hocası Heinrich Weber'den pek onay görmedi. Sabrı tükenen Weber sonunda öğrencisine şunu söyledi: "Zeki bir çocuksun, Einstein, hem de çok zeki bir çocuk. Ama büyük bir kusurun var: Sana bir şey anlatılmasına fırsat vermiyorsun."

Einstein'ın tepkisi derslerle ilgisini yekten kesmek ve pansiyon odasında 19. yüzyılın büyük teorisyenleri Kirchhoff, Helmholtz, Hertz, Maxwell, Hendrik Lorentz ve Boltzmann'ı okumak oldu. Neyse ki, liberal Zürich ders programı böyle bir bağımsızlığa olanak veriyordu. "Zaten altı üstü iki sınav vardı" diye yazar Einstein otobiyografik notlarında. "Bunlar bir yana bırakılırsa, insan dilediği şeyleri az çok yapabiliyordu. ... Bu durum sınava birkaç ay kalana kadar insana uğraşacağı konuları seçme özgürlüğünü sağlardı. Doyasıya tadını çıkardığım ve buna bağlı vicdan rahatsızlığını çok daha az bir kötülük olarak cabadan yüklenmeyi sevinçle kabul ettiğim bir özgürlüktü bu."

Ne var ki, bu işin ceremesi anlaşıldığı kadarıyla vicdan rahatsızlığından daha fazlaydı. Final sınavına hazırlanmak bir kâbustu ve sınavdan başarıyla çıkmak büyük ölçüde bir arkadaşın, hatasız ders notları tutma gibi bir yeteneğe sahip Marcel Grossmann'ın yardımına bağlıydı. Einstein, yine otobiyografik notlarında, sınav baskısının "sınavı geçtikten sonra ... bütün bir yol boyunca her türlü bilimsel probleme kafa yormayı tatsız bulacak kadar ... yıldırıcı bir etki yarattığını" anlatır bize. Eğitim sisteminin bir öğrencinin düşünsel ilgi alanlarını geliştirmesine yüklediği ağır cendereye ilişkin şu düşüncesini de ekler: "Modern öğretim yöntemlerinin araştırmaya dönük tertemiz merak duygusunu tamamen boğmamış olması neredeyse bir mucizedir, çünkü bu ufaklık narin bitki yüreklendirmenin dışında esas olarak özgürlüğe gerek duyar."

Einstein, Politeknik'ten 1900 sonbaharında mezun oldu ve birkaç ay sonra hayatının iki önemli dönüm noktasından geçti: *Annalen der Physik* dergisinin 4. cildinde, Max Planck'ın kuantum teorisine giriş makalesinden kırk sayfa kadar

ilerisinde ilk makalesi yayımlandı ve uzun süredir beklediği İsviçre yurttaşlığını elde etti. Dokuz yıl sonra İsviçre'den ayrılmasına ve bir daha yerleşmek üzere dönmemesine rağmen, insancıl, demokrat İsviçre halkına ve “yeryüzünde gördüğüm en güzel köşe” diye nitelendirdiği şahane ülkelere karşı sıcak sevgisini asla kaybetmedi.

Einstein artık iş bulma derdindeydi. Zürich Politeknik'te Weber'in yanına asistan olarak girme hülyası bir türlü gerçekleşmedi. (“Weber ... namussuzca bir oyun oynadı bana” diye yazmıştı bir arkadaşına.) Bunu geçici iki öğretmenlik görevi izledi ve ardından Marcel Grossmann'ın babasının yardımıyla 1902'de Bern Patent Bürosu'na üçüncü sınıf teknik uzman olarak atandı.

Düzenli bir işe girmesiyle birlikte, Einstein evliliği düşünmeye başladı ve bir yıl sonra Zürich Politeknik'ten sınıf arkadaşı Mileva Maric'le evlendi. Slav-Sırp asıllı bir aileden gelen Mileva hoş, ufak tefek yapılı ve çocukluğunda geçirdiği veremden dolayı hafif marazlıydı. Bilim alanında bir kariyer yapma umuduyla Zürich'e yerleşmişti. O dönemde Almanca konuşulan ülkeler arasında yalnız İsviçre'de kadınların üniversiteye alınıyordu. İkili arasındaki aşk Zürich Politeknik'teki programa kaydolmalarından kısa bir süre sonra başlamıştı. 1901'e doğru bu ilişki derinleşti: Mileva hamileydi. 1902'de Mileva'nın Novi Sad'daki baba evinde Liserl adlı bir kız çocuğu doğdu. Zürich'e dönüşünde Mileva bebeği yanında götürmedi ve 1903'te, Einstein'la evlenmesinden kısa bir süre sonra kız çocuğu evlatlık verildi.

Evlilik hiç iyi yürümedi. Birkaç kez hamile kalmaya çalışan, zorlu bir doğum yapan ve çocuğunu kaybeden Mileva'nın kariyer planları suya düştü. Einstein'ın başına buyruk arkadaşlarla dolaşmasını kısıkanıyor ve sıkça depresyona giriyordu. Öte yandan Einstein da duyarlı bir koca değildi. Düşünsel ve duygusal gücünü büyük ölçüde çalışmalarına harcadığı için zor bir evliliği ayakta tutmaya zaman bulamıyordu. İleri yaşlarında, bu evliliğe bir “görev duygusu”yla girdiğini ve “içten gelen bir dirençle, düpedüz gücünü aşan bir işe kalkıştığını” belirtmekte.

Yolu Açanlar

Einstein 1905'te, henüz yirmi altı yaşında bir genç olarak Bern Patent Bürosu'nda mutlu bir biçimde çalışırken ve henüz başka bir teorik fizikçiyle tanışmamışken, *Annalen der Physik*'te üç makale yayımladı. Max Born bu makalelerin yer aldığı 17. cildi “bütün bilimsel literatürün en dikkate değer ciltlerinden biri” olarak nitelendirir ve “Einstein'ın hepsi farklı bir konuyu ele alan ve günümüzde birer şaheser olarak kabul edilen üç makalesini içerdiğini” belirtir.

1905 makalelerinin ilki, kuantum teorisine bir katkıdır. Işık demetlerini parçacık şağanakları, yani “kuantumlar” biçiminde açıklayarak bir fotoelektrik etki teorisini geliştirir. Bu çığır açıcı makale üzerine 15. Bölüm'de daha çok şey söylemem gerekecek. Koloidal parçacıklar olarak gözlemlenen moleküllerin gerçekliğini ortaya koyan ikinci makaleye 13 Bölüm'de değinmiştik. Burada Einstein'ın görelilik teorisi versiyonunu sunan üçüncü makale üzerinde duracağız.

Einstein'ın sahneye çıktığı sırada, görelilik teorisinin uzun ve saygın bir geçmişi vardı. Einstein kendisine yol gösterenler arasında bazı dev adları saymaktaydı: Galileo, Newton, Maxwell ve Lorentz. Galileo görelilik ilkesinin mekanîği uygulandığını canlı gözlemlere dayalı alışılmış üslubuyla şöyle belirtmişti:

Bir arkadaşınızla birlikte büyük bir geminin güverte altına girin ve yanınıza bazı sinekler, kelebekler ve başka uçan yaratıklar alın. İçine birkaç balık konmuş geniş bir su çanağı bulundurun, bir şeyi içindeki suyu aşağıdaki geniş bir kaba damla damla akıtacak biçimde yukarıya asın. Gemi bulunduğu yerde hareketsiz dururken, küçük yaratıkların bölme içinde her tarafa doğru eşit hızlarla nasıl uçtuğunu gözlemleyin. Balıklar kayıtsızca bütün yönlerde yüzer, damlalar aşağıdaki kabin içine düşer, arkadaşınıza doğru bir şeyi fırlattığınızda, mesafeler eşit olduğu sürece, bir doğrultudaki fırlatma kuvvetinizin başka bir doğrultuya göre daha yüksek olması gerekmez, ayaklarınızı bitiştirip sıçradığınızda, her doğrultuda eşit miktarda alanı geçersiniz. Bütün bunları dikkatle gözledikten sonra (bu arada gemi hareketsiz dururken her şeyin böyle cereyan edeceğine hiç kuşku olmadığını da belirteyim), gemiyi dilediğiniz bir hızla harekete geçirin, yeter ki hareket tekdüze olsun ve şu ya da bu yönde dalgalanmasın [yani ivmelenmesin]. Sözü edilen etkilerin hiçbirinde en ufak bir değişiklik fark etmeyeceksiniz, bunlardan herhangi birine bakarak geminin hareket halinde mi olduğunu, yoksa bulunduğu yerde mi durduğunu anlamamız da mümkün değildir.

Galileo'nun gemisi ya da sabit hızla hareket eden başka her sistem modern terminolojide "eylemsizlik referans çerçevesi" ya da kısaca "eylemsizlik çerçevesi" olarak anılır, çünkü böyle bir sistemde Galileo'nun eylemsizlik yasası korunmuştur. Galileo'nun görelilik ilkesi, genel hale getirildiğinde, her eylemsizlik çerçevesi içinde mekanik yasalarının tam tamına aynı olduğunu anlatır bize ("[gözlemlenen etkilerden] herhangi birine bakarak geminin hareket halinde mi olduğunu, yoksa bulunduğu yerde mi durduğunu anlamamız mümkün değildir").

Newton'un görelilik ilkesi konusunda hareketin üç yasasından türettiği sap-tama benzerdi, aradaki tek fark daha sonraları tartışma konusu olan "hareketsiz uzay" meselesini gündeme getirmesiydi: "Verili bir uzay içinde yer alan cisimlerin hareketleri kendi aralarında aynıdır; bu uzayın hareketsiz olması ya da hiçbir dairesel hareket olmaksızın doğru [düz] bir çizgide ileriye doğru tekdüze hareket etmesi bir şeyi değiştirmez." Peki ama neye göre hareketsiz? Newton her hareketin ya da hareketten yoksunluğun ona göre belirtilebileceği mutlak uzay kavramına inanmaktaydı. Aynı yaklaşımla, her hareketin ölçülmesine temel oluşturabilecek bir mutlak zaman çerçevesi benimsedi, bu tek zaman çerçevesi bütün gözlemcilere uygun düşmekteydi.

Maxwell ve çağdaşları Newton'un mutlak uzay kavramını benimsediler ve bunun içini "esir" diye adlandırdıkları her şeyi kapsayıcı ortamla doldurdular. On dokuzuncu yüzyıl teorisyenlerine göre, esirin başta gelen rolü ışığın ve diğer

elektromanyetik alanların başka bakımlardan boş uzay içinde yayılmasına uygun bir mekanizma sağlamaktı. Esir zamanla çok yönlü, hem de fazlasıyla çok yönlü bir teorik araç haline geldi. İngiliz ve kara Avrupa'sı teorisyenleri birçok esir modelinden hangisinin standart olduğu konusunda bir türlü konsensüse varamadılar.

Esir fiziğini ve alan teorisiyle bağlantılarını en berrak olarak gören ve aynı zamanda Einstein'ın yolunu bulmasına yardımcı olan kişi, 1877'den 1912'ye kadar Leiden Üniversitesi'nde teorik fizik profesörü olarak ders veren Hendrik Lorentz'di. Lorentz yaratıcı teorisyen ve müfrik eleştirmen gibi ikili bir rolü oynamadaki dikkate değer becerisiyle genç fizikçi kuşaklarından saygı gördü. Tıpkı Maxwell ve Gibbs gibi, araştırma öğrencilerini bir okul çatısı altında toplamak onun da üslubu değildi. Yine de dünyanın dört bir yanından gelen fizikçiler onun elektrodinamik derslerini dinlerdi. Yüzyılın bitiminden sonra, herkesçe uluslararası fizik camiasının önderi olarak kabul edildi. 1911'den başlayarak Brüksel'de düzenlenen Solvay Konferansları'nın başkanlığını yürüttü. Bu ad, müthiş bir servete sahip olan ve fiziğe amatör düzeyde ilgi duyan sınai kimyacı Ernest Solvay'dan gelmekteydi. Konferanslara katılanların şık bir biçimde ağırlanması için yapılan bütün masrafları karşılayan da oydu. Einstein'ın "Cadıların Sebt Günleri" diye anmaktan hoşlandığı bu uluslararası buluşmalarda Lorentz dışında bir kimsenin uyumu sağlaması mümkün değildi. "Herkes [Lorentz'in] aşılmaz bilgi birikimini, müthiş inceliğini, en karışık savları bile apaçık bir biçimde özetleme yeteneğini ve hepsinden daha da önemlisi emsalsiz dil becerisini gözetirdi" diye yazar Lorentz biyograflarından Russell McCormach. İlk Solvay Konferansı'na katıldıktan sonra, Einstein da bir arkadaşına şunları yazmıştı: "Lorentz zekânın ve enfes inceliğin bir harikası. Canlı bir sanat şaheseri! Bana göre orada bulunan teorisyenlerin en zekisi oydu."

Bir teorisyen olarak Lorentz'in birincil hedefi, madde fiziğini Maxwell'in elektromanyetik alanlar fiziğiyle moleküler düzeyde birleştirmekti. Lorentz'in teorisinin temellerinden biri, elektriksel ve manyetik alanların ölçülebilir bir direnç olmaksızın bütün maddeye sinmiş olan kesinlikle durağan bir esir içinde yer aldığı anlayışıydı. Bir başka köşe taşı maddenin (bir ölçüde) çok küçük yüklü parçacıklardan oluştuğu varsayımını sağlamaktaydı; Lorentz daha sonraları bu parçacıkları J. J. Thomson'ın 1897'de katot ışınlarında bulduğu "elektron"larla özdeşleştirdi. Buna göre elektronlar elektriksel ve manyetik alanları yaratmakta, alanlar da durgun esir içinde elektronlara yön vermekteydi. Lorentz alanları tanımlarken esirin referans çerçevesi için yazılmış Maxwell denklemlerini kullandı ve denklemlerden çıkan şu mesajı benimsedi: Böyle bir çerçevede ışık kaynağının hızı ve doğrultusu ne olursa olsun, ışık hızı aynıdır.

Olayı özetlemek ve Einstein'ın bakış açısına getirmek için, iki gözlemciyi hayal edelim. Bunlardan biricisi esir içinde hareketsiz, ikincisi ise esire göre sabit hızla hareket eden bir odanın içinde hareketsiz olsun. Diyelim ki oda sabit bir ışık kaynağını taşıyor ve iki gözlemci de bu kaynağın ışık sinyallerine ilişkin notları karşılaştırıyor. Lorentz'in teorisine göre, birinci gözlemci bir ışık demetinin

hızının doğrultusundan bağımsız olduğunu saptar. Ama ikinci gözlemci şeyleri farklı bir biçimde görür: Bir ışık demeti yaratıldıktan sonra, odadaki duvarlardan birinin bu demetten uzaklaştığını, karşı taraftaki duvarın ise demete doğru hareket ettiğini varsayalım. Eğer ışık kaynağı odanın ortasında sabitse, kendisinden uzaklaşmakta olan bir duvara yönelen bir ışık demet, kendisine yaklaşmakta olan bir duvara yönelen bir ışık demetinden daha yavaşmış gibi görünecektir. Bu bakımdan ikinci gözlemci için ışık hızı bütün doğrultularda aynı değildir.

Bu savı bir düşünce deneyinin ötesine taşımak için, Dünya'yı gözümüzde esir içinde hareket eden bir "oda" olarak canlandırabiliriz ve bizler, yani odanın sakinleri için ışık hızının farklı doğrultularda yayılırken farklı olması gerektiği sonucuna varabiliriz. Bu doğrultusal etkiyi gözlemleyebilmemiz halinde, bunun esire göre Dünya'nın hareketini tanımlayacağını öngörürüz. On dokuzuncu yüzyılda tasarlanan ve yürütülen çeşitli deneylerin ardında böyle bir güdü vardı. Deneylerin en kusursuzu 1887'de Albert Michelson ve Edward Morley tarafından yapıldı. Vardıkları sonuç belki de fizik tarihinde en meşhur olumsuz sonuç oldu. Buna göre (boş uzayda) ışık hızı hiçbir biçimde ışık kaynağının hareketine, doğrultusuna ya da konumuna bağlı değildi.

Lorentz'in elektron teorisini sarsan ama tam öldürücü olmayan bir darbeydi bu. Lorentz hareket eden maddi nesnelerin hareket doğrultusunda hafifçe büzülebileceğini, bu büzülmesinin Michelson-Morley deneyini ve ışık hızındaki değişiklikleri ölçme yoluyla Dünya'nın esir içindeki hareketini tanımlamaya yönelik başka girişimleri boşa çıkarmaya tam yetecek ölçüde olduğunu varsayarak, Michelson-Morley sonucunu açıklayabileceğini saptadı. Bu büzülmenin nedeni, Lorentz'e göre, hareket doğrultusunda moleküler kuvvetlerin çok hafif bir değişime uğramasıydı.

Şimdi üçüncü sınıf teknik uzman Einstein'ı sahneye çıkarmanın ve daha sonraları verilen adla özel görelilik teorisini nasıl yarattığını izlemenin zamanı. İşte karşınızdaki kişi: Galileo'nun görelilik ilkesinden haberdar biri. Newton'un mutlak uzay ve zaman kavramını bilen biri. Lorentz'i dikkatle okumuş ve deneycilerin ışık hızındaki değişiklikleri ölçme yoluyla Dünya'nın esir içindeki hareketini belirleme yolunu bulamamasından etkilenmiş biri.

Uzay ve Zaman Öğretisi

Einstein'a göre, iki tür önemli teori vardı. "Bunların çoğu kurgusaldır" diye yazmıştı. "Başlangıç noktalarını oluşturan görece basit bir sistemin malzemelelerinden daha karmaşık fenomenlere ilişkin bir tablo yaratmaya çalışırlar." Einstein'ın verdiği örnek gazlara ilişkin moleküler teoriydi. Bu teori moleküler hareket hipotezinden yola çıkar ve buna dayanarak gazların mekanik, ısı ve yayılmaya dönük birçok değişik özelliğini açıklar. "Bir grup doğal süreci anlamayı başardığımızı söylediğimizde" diye devam ediyordu Einstein, "söz konusu süreçleri kapsayan kurgusal bir teorisinin kurulduğunu kastederiz daima."

Galileo ve Newton'dan bu yana teorisyenler, Einstein'ın nitelendirmesiyle "ilke teorileri" de yaratmışlardır. Bunlar "sentetik değil, analitik metotlara baş-

vuran teorilerdir. Temellerini ve hareket noktalarını oluşturan unsurlar hipotezle kurulmamış, ampirik olarak bulunmuştur; bunlar doğal süreçlerin genel karakteristikleridir, matematiksel olarak formüle edilmiş ve ayrı süreçlerin ya da bunlara ilişkin teorik ifadelerin uymak zorunda olduğu ölçütleri doğuran ilkelerdir.” İlke teorisinin en üst örneği, Einstein’ın işaret ettiği gibi, termodinamiktir. Bu teori termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları olarak bilinen enerji ve entropi ilkelerine dayanır.

Einstein göreliliği bir ilke teorisi olarak görüyordu. Görelilik üzerine 1905 tarihli makalesine, bütün şaşırtıcı sonuçlarıyla teorisinin dayanacağı iki ampirik ilkeyi önerme şeklinde ortaya koyarak başlıyordu. Birinci ilke (Einstein’ın birkaç yıl sonra ifade ettiği biçimiyle) şunu öne sürerek Galileo’nun görelilik ilkesi genelleştiriyordu:

Referans çerçevesi imden yoksun [yani eylemsiz] olduğu sürece, doğa yasaları referans çerçevesine özgü hareketin durumundan bağımsızdır.

Buradaki “doğa yasaları” ibaresi her şeyi kapsayıcıdır; mekanik, elektromanyetik ve optik kökenli bütün yasaları içine alır. Müthiş demokratik bir ilkedir bu: Bütün eylemsizlik referans çerçeveleri eşittir, hiçbirini farklı ya da tercihlidir.

Einstein’ın ikinci ilkesi ışık hızının sabitliğinin resmen kabul edilmesidir:

Boş uzaydaki ışık, kaynağını oluşturan cismin hareketinden bağımsız olarak, her zaman belirli bir [hızla] yayılır.

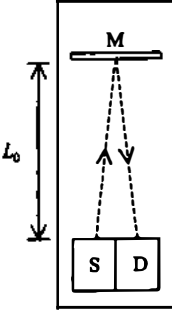
Lorentz harekete bağlı moleküler kuvvetleri hipotezleştiren kurgusal bir teoriyle ışık hızının değişmezliğini açıklamak için boğuşurken, Einstein dosdoğru sabitliği bir önerme konumuna yükselterek bütün girişiklikleri aşiverdi. Lorentz ve çağdaşları için problem olan şey, Einstein için bir ilkeydi.

Ortaya koyduğu iki ilke Einstein’ı boş uzaydaki ışık hızının bir gözlemciden diğerine değişmeyen güvenilir sabit değere sahip tek uzay ve zaman ölçüsü olduğu sonucuna götürdü. Bunun dışındaki her şey görelidir. Farklı gözlemciler, Newton’un öğrettiği gibi, ortak bir mutlak referans çerçevesi içinde fiziksel yasalarını ifade edemezler. Farklı eylemsizlik çerçevelerindeki gözlemciler, Einstein’ın ifadesiyle yeni bir “uzay ve zaman öğretisi” uyarınca fiziksel dünyalarının farklı olduğunu görürler.

Einstein’ın savının dayanaklarını, önce zaman ölçümlerine ilişkin temel sorunu ele alarak izleyebiliriz. Einstein önerdiği ve “ışık saati” denen bir zaman tutma aygıtını hayal edin. Çizim 14.1 birlikte yolculuk eden bir gözlemcinin gördüğü biçimiyle ışık saatini göstermektedir. S kaynağınca yaratılan ışık çakımları M aynasına yolculuk etmekte ve geriye yansıyor D detektörüne ulaşmaktadır. Bir çakımın S, M ve D boyunca tam bir dolanım yapması için gereken kısa süre, saatın bir “tıklama”sını temsil etmektedir. Eğer c ışık hızı ve L_0 ’da S’den D ve M’ye mesafe olursa, Δt_0 diyebileceğimiz bu süre S’den M’ye yolculuk ve aynı za-

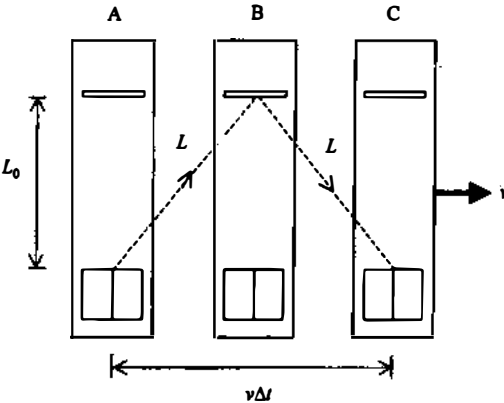
manda M'den D'ye dönüş yolculuğu için $\frac{L_0}{c}$ değerine eşit olur. Böylece şöyle bir denklem ortaya çıkar:

$$\Delta t_0 = \frac{2L_0}{c} \quad (1)$$



Çizim 14.1. Saatle birlikte yolculuk eden bir gözlemcinin gördüğü biçimiyle Einstein'ın ışık saati. Kaynak ile detektör arasındaki mesafe bilerek abartılmıştır. Bu çizim, izleyen çizim ve Çizim 14.4 ilgililerden izin alınarak uyarlanmıştır. Kaynak: Robert Resnick, David Halliday ve Kenneth Krane, *Physics*, 4. baskı (New York: Wiley, 1992), 470.

Şimdi, ışık hızının sabit olduğuna ilişkin Einstein ilkesini akılda tutarak, saati v sabit hızıyla hareket eden bir eylemsizlik çerçevesi içinde gören ikinci bir gözlemcinin bakış açısından ışık saatine bakalım. Çizim 14.2 bu gözlemcinin gördüğü biçimde ışık çakımının yolunu göstermektedir. Saat üç konumda görülmektedir: Işık çakımının kaynaktan ayrıldığı A, ayna tarafından yansıtıldığı B ve alt detektöre ulaştığı C konumları. (Işık saatinin yer aldığı eylemsizlik çerçevesi son derece hızlı hareket etmektedir; Galileo'nun gemisi artık bir uzay gemisi haline gelmiştir.) Saatin bir tıklamasını temsil eden süre şimdi $\Delta t'$ 'dir ve saat bu süre içinde $v\Delta t'$ mesafesini almaktadır. Işık çakımının kat ettiği mesafe $2L'$ 'dir ve bunun birin-



Çizim 14.2. Bir gözlemcinin saati sabit v hızıyla hareket ederken gördüğü biçimiyle Einstein'ın ışık saati.

ci gözlemciye göre saatin bir tıklaması sırasında ışık çakımının kat ettiği $2L_0$ mesafesinden daha büyük olduğu açıktır. Einstein ilkesi uyarınca, ışık hızı her iki gözlemci için tam tamına aynıdır. O halde ikinci gözlemciye göre tek tıklama için Δt süresi, birinci gözlemciye göre tek tıklama için Δt_0 süresinden daha büyüktür. Bir başka deyişle, iki gözlemci saat tıklamasını farklı hızlarda algılamaktadır; saati hareket halinde gören gözlemci için saatin ilerleyişi daha yavaştır.

Δt ve Δt_0 arasındaki matematiksel bağlantı Çizim 14.2'nin geometrisinden çıkar. Işığın $2L$ mesafesini kat etmesi için gereken zaman aralığı

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \quad (2)$$

denklemlerle belirtilir. Çizim 14.2'den soyutlamayla elde edilen Çizim 14.3'teki diyagramda görüldüğü gibi,

$$2L = 2\sqrt{L_0^2 + (\nu\Delta t / 2)^2}$$

olduğuna göre,

$$\Delta t = \frac{2\sqrt{L_0^2 + (\nu\Delta t / 2)^2}}{c} \quad \text{olur.}$$

Denklem (1)'den L_0 değerinin karşılığını yerine koyduğumuzda ve Δt için çözdüğümüzde şu sonuca varırız:

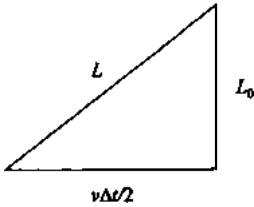
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \nu^2 / c^2}} \quad (3)$$

Eğer ν hızı sıradan bir değer taşırsa, yani c ışık hızından çok daha küçük olursa, ν/c oranı çok küçük ve denklem (3)'teki payda neredeyse bire eşit olur. Bu durumda $\Delta t = \Delta t_0$ olacağı için, zaman ölçümleri kayda değer düzeyde etkilenmez. Ancak ν 'nin c 'ye yaklaşmasıyla birlikte, payda birin altına iner, Δt , Δt_0 'den daha büyük ve iki gözlemci için zaman ölçümleri farklı olur.

Denklem (3) ν hızına sınırlamalar getirir. Çünkü $\nu = c$ durumunda denklem Δt için fiziksel bakımdan tartışmaya açık bir sonsuz değer yaratır; $\nu > c$ durumunda ise karekök matematiksel dilde "hayali" bir sayı haline gelir ve hatta fiziksel bakımdan daha kabul edilmez sayılır. Herhangi bir hızın ışık hızına eşit ya da ondan daha büyük olamayacağı yolundaki yasağın Einstein teorisinin genel bir özelliği olduğunu ileride göreceğiz.

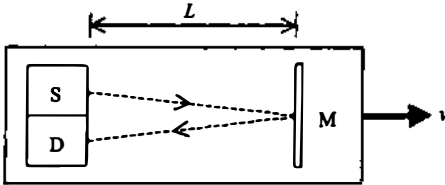
Denklem (3)'te ifade edilen zaman aralıklarına ilişkin görece hesaplama matematiğin yapıntılarından değil, gerçek fiziksel etkilerden söz eder. Işık saatleri ve yaşlanma da dahil zamanın diğer bütün fiziksel özellikleri, birbirlerine göre (yüksek hızla) hareket eden farklı gözlemcilere gerçekten farklı görünür. As-

linda, Dünya'ya göre c 'yle karşılaştırılabilir bir hızı çıkmayı başarabilirsek, bir zaman makinesine girebiliriz ve Dünya ile sakinleri milyonlarca yıl yaşlanırken yalnızca onlarca yıl yaşlanabiliriz. Dünya'nın g kütleçekimi ivmesi düzeyinde ivmelenen bir uzay gemisinde olduğu gibi, yüksek hızda doğru yavaşça ivmelenmemiz halinde tehlikeden uzak ve mümkün bir şeydir bu.



Çizim 14.3. Buradaki dik üçgen Çizim 14.2'deki mesafelere göre oluşturulmuştur ve Pythagoras teoremi uyarınca $L^2 = L_0^2 + (v\Delta t/2)^2$ ya da $L = \sqrt{L_0^2 + (v\Delta t/2)^2}$ olduğunu gösterir.

Hareketli bir eylemsizlik çerçevesi içinde zamanın bu yavaşlaması ya da genişlemesi eşliğinde, Einstein ilkeleri aynı zamanda uzunluk ölçümlerinin kısaltıldığını öngörür. Bu olguyu da marifetli ışık saatiyle gösterebiliriz. Çizim 14.2'de olduğu gibi, bizler saati sabit bir v hızıyla hareket ederken görürüz ama Çizim 14.4'te gösterildiği gibi, bu zaman saatin uzunluğuna paraleldir.



Çizim 14.4. Saati sabit v hızıyla saatin uzunluğuna paralel olarak hareket ederken gören gözlemcinin algıladığı biçimiyle Einstein'ın ışık saati.

Bir kez daha S kaynağı tarafından üretilen bir ışık çakımının M aynasından yansıtılarak D detektörüne geri döndüğünü hayal edelim. Işığın kaynaktan aynaya yolculuk etmesi için gerekli zaman aralığı Δt_1 olsun. Bu süre içinde ayna $v\Delta t_1$ mesafesi boyunca hareket ettiğine göre, ışığın aynaya yetişmek için $L + v\Delta t_1$ kadar yolculuk etmesi gerekir. Işık hızının her zamanki gibi c olduğunu göz önünde tuttuğumuzda, bu mesafeyi $c\Delta t_1$ olarak hesaplayabilir ve denklemi

$$c\Delta t_1 = L + v\Delta t_1$$

ya da

$$\Delta t_1 = \frac{L}{c - v} \quad (4)$$

biçiminde yazabiliriz.

Şimdi ışık çakımının aynadan detektöre dönüşünü izleyerek, bu yolculuğun Δt_2 zaman aralığını gerektirdiğini varsayalım. Işık $L + v\Delta t_1$ konumundaki aynada başlayan yolculuğunu, birinci aralıkta $v\Delta t_1$ mesafesini ve ikinci aralıkta $v\Delta t_2$ mesafesini almış olan detektörde tamamlar. Böylece ışığın dönüş yolculuğunda kat ettiği mesafe şu olur:

$$(L + v\Delta t_1) - (v\Delta t_1 + v\Delta t_2) = L - v\Delta t_2$$

$\uparrow$
Işık
burada
aynada başlar

$\uparrow$
ve burada
detektörde
noktalanır.

Işık hâlâ c hızında olduğuna göre, bu mesafeyi $c\Delta t_2$ olarak hesaplayabiliriz ve böylece

$$c\Delta t_2 = L - v\Delta t_2$$

ya da

$$\Delta t_2 = \frac{L}{c + v} \quad (5)$$

sonucunu elde ederiz. Saatin tek bir tıklaması için gerekli süre olan Δt toplam zaman aralığı Δt_1 ve Δt_2 değerlerinin toplamıdır. Bunu denklem (4) ve denklem (5) uyarınca şöyle hesaplarız:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c + v}$$

İki cebirsel manevra (ortak bir payda oluşturma ve daha sonra pay ile paydayı c^2 'ye bölme) denklemi şu hale çevirir:

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - v^2/c^2} \quad (6)$$

Denklem (3) ve denklem (1)'le bir arada karşılaştırıldığı zaman, bu denklem uzunluk kısalmasını şu biçimde açığa çıkarır:

$$\Delta t = \frac{2L_0}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

İki Δt hesaplamasının bağdaşır olması halinde, şu sonucu elde etmemiz gerekir:

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} \quad (7)$$

Bu denklem bize saatle birlikte yolculuk eden bir gözlemcinin saptadığı L_0 uzunluğunun, saati sabit v hızıyla hareket ederken seyreden bir gözlemci için $L_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2}$ düzeyine kısaldığını anlatır. Dünya'nın esir içindeki hareketini belirlemeye çalışan Michelson ve Morley'in boşa çıkan girişimlerini açıklamak için daha önce Lorentz'in gerekli gördüğü sonuçla aynıdır bu denklem.

Zamanın ve uzunluğun göreliliğini ifade eden denklem (3) ve denklem (7), Einstein'ın yeni uzay ve zaman öğretisini somutlaştırır. Fizikçilerin "kinematik" dediği şeyi, yani enerji kavramından yoksun fiziği kapsar. Einstein'ın sonraki adımını teorisini genişleterek, enerjinin yer aldığı "dinamik" bir yapıya kavuşturmak oldu. Bu dinamik yapıyı 1905'teki bir başka parlak makalesinde kurmaya girişti ve "çok ilginç bir sonuca" vardı: "Bir cismin kütlesi, içerdği enerjinin bir ölçüsüdür." Bu önerme üzerine birkaç yıl düşündü. 1906'da "kütlenin korunumu enerjisi korunumu yasasının özel bir durumudur" fikri aklına geldi. Bir yıl sonra şu sonuca vardı: "Eylemsizlik açısından, m kütlesi mc^2 büyüklüğünün enerji içeriğine eşdeğerdir." Günümüzde dünyanın en çok bilinen şu denkleminin sözlü ifadesidir bu: $E = mc^2$.

Enerji denkleminin temelinde, zaman ve uzunluk gibi kütlelerin de göreliliği kavramı yatar. Hem zaman, hem de uzunluk gözlemlenen nesnenin göreliliğine bağlıdır, aynı şey kütle için de geçerlidir. Sabit v hızıyla hareket eden bir nesnenin m kütlesini hesaplamaya yarayan ilgili denklem (bu kez kanıt olmaksızın)

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad (8)$$

biçiminde olur ve zaman aralıkları açısından denklem (3)'ü andırır. Hareketsiz halde ($v = 0$), nesne en düşük m_0 kütlesine sahiptir; hareket halinde nesnenin kütlesi artar ama c 'den çok düşük sıradan hızlarda bu artış çok azdır.

Denklem (8) bize Einstein'ın ünkü mc^2 terimine ilişkin bazı ipuçları sağlar. Bu denklemi c^2 ile çarptığımızda mc^2 'yi hesaplarız:

$$mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad (9)$$

Bilinen dünyaya özgü fizikte, bu denklemdeki v/c çok küçük, v^2 / c^2 daha da küçüktür. Eğer x çok küçük olursa, şu matematiksel olgudan yararlanabiliriz:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - x}} = 1 + \frac{x}{2}$$

Bu yaklaşık hesabı, $x = v^2 / c^2$ olmak üzere, denklem (9)'a uyguladığımızda şu sonuca varırız:

$$mc^2 = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2}$$

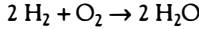
Einstein'ın $E = mc^2$ denklemi uyarınca, şunu elde ederiz:

$$E = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2} \quad (10)$$

Böylece toplam E enerjisi iki kısma ayrılmış olur. Denklemdaki $\frac{m_0v^2}{2}$ terimi

m_0 kütlesine sahip bir nesnenin taşıdığı bildik kinetik enerjidir. İkinci terim m_0c^2 sırrı çözer. Einstein bu niceliği, tıpkı bugün bizim düşündüğümüz gibi, m_0 "hareketsiz kütlesi"nden elde edilmesi mümkün olan bir tür potansiyel enerji olarak anlıyordu. Terimdeki c^2 olağanüstü bir büyüklüğe sahip olduğu için, kütleyle eşdeğer bu enerji de olağanüstüdür. Bir kilogramlık (2,2 librelik) bir kütlede, kütlelen enerjiye eksiksiz bir dönüşüm bütün ABD'nin günlük petrol tüketimine (on beş milyon varil) eşdeğer bir enerji yaratır.

Sıradan kimyasal tepkimeler de kütleli enerjiye çevirir ama çok ufak bir ölçekte. Örneğin,



tepkimesinde bir kilogram H_2O 'nun oluşması yaklaşık $1,5 \times 10^{-10}$ kilogram tutarında kütleli enerjiye çevirir. Nükleer tepkimeler çok daha randımanlıdır. Et-kimeye giren kütlelerin onda birlik birkaç birimini enerjiye çevirirler. Madde karşıt maddeyle buluştuğunda, dönüşüm tamamlanmış olur. Einstein 1905 tarihli makalesinde, radyum gibi radyoaktif maddelerin bozunduklarında hatırı sayılır miktarda kütle kaybedebilecekleri görüşünü ortaya attı ama kütle-enerji eşdeğerliğinin pratik sonuçlarını uzun yıllar göremedi. (1934'te *Pittsburgh Gazette*, Einstein'ın bir konferansına ilişkin haberi "Einstein Atom Enerjisi Umudunu Söndürdü. Büyük Kuvvet Kaybına Yönelik Çabalar Boşuna" manşetiyle vermişti.) $E = mc^2$ 'den çıkarılacak ders tam olarak 1940'lı ve 1950'li yıllarda, nükleer fiziğin, nükleer silahların, nükleer reaktörlerin ve nükleer endişenin devreye girmesiyle öğrenildi.

Einstein'ın görelilik teorisinin bir başka başarısı, varlığı için haklı bir sebepten yoksun bırakarak esir kavramına kalıcı biçimde son vermesiydi. Eğer esir diye bir şey olsaydı, Einstein'ın birinci ilkesine aykırı biçimde mutlak ve tercihli bir referans çerçevesi sağlaması gerekirdi. Esir içindeki hareketin de ikinci ilkeyle çelişecek biçimde ışık hızında varyasyonlarla kendini belli etmesi gerekirdi. Einstein ve Leopold Infeld sıradan okurlara dönük *The Evolution of Physics* (Fizi-

ğın Evrimi) adlı saygın kitaplarında esirin ölüm ilanını şöyle bildirmişlerdi: "[Esr] ne mekanik yapısını ne de mutlak hareketi ortaya koyabildi. Uydurulmasına vesile olan şey, yani elektromanyetik dalgaları iletme yeteneği dışında bütün özelliklerinden geriye hiçbir şey kalmadı."

Berlin

Şimdi Einstein'ın tekrar hayatına dönelim ve onun bilimsel dünyaya ve daha ötesine uzun, maceralı yolculuğunu izleyelim. Einstein'ın Bern Patent Bürosu'nda geçen yedi yıldaki başarıları yaratıcı zekâ parlaklığı açısından eşsizdi. Bu da kaçınılmaz olarak şöhreti getirdi ve Einstein bir anda, yalnızca beş yıl içinde bilimsel ve akademik dünyanın zirvesine ulaştı.

Otuz yaşında olduğu ve "gerçek bir fizikçi"yle henüz tanışmadığı 1909'da patent bürosundan ayrıldı ve Zürich Üniversitesi'nde yardımcı profesör olarak görev aldı. Bir bakıma Clausius'un ardılı oldu. Einstein'ın biyografılarından Abraham Pais, "Clausius'un 1867'de üniversiteyi bırakmasından beri, teorik fizik ya da matematiksel fizik profesörü yoktu" diye not düşer. Ayrıca kimi zaman coşkuyla bir öğretmen havasına giren Einstein'ın şöyle bir portresini çizer: "Sınıfa epeyce pejmürde bir kılıkla girerdi, üstünde hayli kısa gelen bir pantolon bulunurdu ve yanında ders notlarını karaladığı kartvizit büyüklüğünde bir kâğıt pusula taşırdı." Einstein'ın asistanlarından Ernst Straus ise, "Fikirlerini açıklamaktan hoşlanırdı" diye belirtir. "Üstelik içten gelme ve yapmacıksız terimlerle düşünme tarzından dolayı bu konuda olağanüstü iyiydi. Galiba can sıkıcı bulduğu şey, o anda ilgi odağına girmeyen konuları hazırlayıp sunma gereğiydi. Bu bakımdan derslere hazırlanmak düşüncelerini aksatırdı."

Einstein daha Zürich'teyken, teorik fizik üzerine düşünmekten başka bir şey yapmak istemediğini her zaman söyleyen bir adamda anlaşılması zor olan huzursuzluk belirtileri göstermeye başlamıştı. Beş yıl boyunca üç ayrı ülkede yaşadı ve dört üniversitede akademik görevler aldı. Bir beş yıl daha savaş karşıtlığı, Siyonizm ve uluslararası yönetim gibi siyasal meselelerin içine daldı. "Altmış yaşlarında" diye açıklar Pais, "[Einstein] kendisini beden ve ruhen bilime sattığı, 'ben' ve 'biz'den kaçarak 'o'na sığındığı yorumunda bulunmuştu bir keresinde. Bununla birlikte kendisi ile başka insanlar arasına mesafe koyma gibi bir çabası yoktu. Kopukluk içinde yatıyordu ve düşüncelere dalmış halde hayatı sürmesine olanak veriyordu. Bu adamda alışılmamış olan şey aynı zamanda dünyayla temasını kesmiş veya dünyadan uzak olmamayı başarmasıydı."

Einstein 1911'de Zürich'ten ikinci konağı Prag'a taşınarak, Karl-Ferdinand (Alman) Üniversitesi'nde profesör oldu. Prag'da düşünsel ve kültürel açıdan yalnızlık çekti. Çalışmaları üzerine görüş alışverişine girebileceği çok az bilimsel meslektaş vardı ve Çek ya da Alman topluluğuyla ortak yönleri çok azdı. On altı ay sonra bir daha yola düşerek Zürich'e döndü ve bu kez İsviçre Teknik Üniversitesi'ne (ETH, eski Zürich Politeknik) girdi.

Bir yılı aşkın bir süre geçtikten sonra, 1913 ilkbaharında Max Planck ve Walther Nernst, eşleriyle birlikte turistik bir gezi yapmak ve bu arada Berlin'e

gitmesi için Einstein'ı kandırmak üzere Zürich'e vardılar. Sundukları teklif yüklü bir maaşla Prusya Bilimler Akademisi üyeliğini, (ders verme yükümlülüğü olmaksızın) Berlin Üniversitesi'nde bir kürsüyü ve yeni kurulacak bir fizik enstitüsünün direktörlüğünü içcriyordu. Bu harika bir fırsattı ama Einstein ikircikliydi. Almanya'ya on yedi yıl önce sırt çevirmişti ve Prusya karakterine karşı güvensizliğinde eskiye göre hiçbir azalma yoktu. Ama Einstein için daima her şeyden önce gelen bir nokta vardı. "Ders vermekten bıkmıştı artık. Bütün istediği şey düşünmekti" diye belirtir bunu Pais. Kararını muhtemelen çabuk verdi ama Prusya bilim camiasının sembolleri olan Planck ve Nernst'e teklif üzerine düşünmesi gerektiğini bildirdi. Onlara bir dahaki görüşmelerinde kararını anlayacaklarını söyledi: Cevabının evet olması halinde kırmızı, hayır olması halinde ise beyaz bir gül taşıyacaktı.

Einstein'ın göreve getirilmesini desteklemek üzere Planck ve Nernst'in Prusya Eğitim Bakanlığı'na yazdıkları mektup, sözde başarısızlıklarıyla birlikte Einstein'ın şöhretinin 1913'te nasıl bir noktada olduğu konusunda epeyce şey anlatmaktadır:

[Einstein'ın] zaman kavramını yorumlayışı başta mekanik olmak üzere fiziğin bütününde ve hatta epistemolojide kapsamlı sonuçlar doğurmuştur. ... Her ne kadar Einstein'ın bu fikrinin fizik ilkelerinin gelişimi açısından temel önem taşıdığı açıkça anlaşılmışsa da, uygulama yönü şu an itibarıyla hâlâ ölçülebilirliğin sınırındadır. ... Pratik fizik açısından daha da önemli nokta, onun şu anda ilgi odağı olan başka sorunlara da nüfuz etmiş olmasıdır. Kendisi atomik ve moleküler hareketlerin enerjisi açısından kuantum teorisinin önemini gösteren ilk kişidir ve buradan yola çıkarak katıların özgül ısılarına ilişkin formülü ortaya koymuştur. ... Ayrıca kuantum hipotezinin fotoelektrik ve fotokimyasal etkilerle bağlantısını kurmuştur. ... Velhasıl, modern fizikte sayıca bir hayli fazla olan büyük problemler arasında, Einstein'ın seçkin bir katkıda bulunmadığı bir tanesinden söz etmenin zor olduğu söylenebilir. Kimi zaman kestirimlerinde, sözelimi ışık kuantumları [günümüzdeki temel parçacıklar ailesinin vazgeçilmez bir üyesi sayılan "fotonlar"] teorisinde hedeflerini tutturamamış olması aleyhinde bir husus olarak öne sürülemez. Çünkü doğa bilimlerinin en kesin olanında bile her yenilik riski zorunlu kılar. Kendisi şu anda yeni bir kütleçekimi teorisi üzerine çalışıyor, ki ne ölçüde başarılı olacağını ancak gelecek bize gösterebilir.

Gül kırmızıydı ve Einstein Berlin'e taşındı. Ders vermekten kurtulacağı için keyifliydi ama pazarlığın sonucu konusunda kaygıları vardı. "Berlin'deki beyefendiler sanki altın yumurtlayan bir tavukmuşum gibi üzerimde kumar oynuyorlar" diye anlatmıştı bir dostuna Zürich'ten ayrılmadan önce. "Oysa kendi hesabıma, bir başka yumurta verip vermeyeceğimi bile bilemiyorum."

Bilimin üstünlüğünün çarpıcı yönlerinden biri, Einstein ve Planck gibi tamamen benzeşmez iki adamı ahbapça bir temelde bir araya getirmiş olmasıdır. Einstein her türlü formalite ve seremoniden kaçınan, Prusya disiplini gelenekle-

rinden, militarizmden ve milliyetçilikten nefret eden ve hayatının büyük bölümünde barış yanlısı olan biriydi. Gelgelelim, bu savruk, derbeder ve Prusya karşıtı barışçı adam, Prusya devletinin resmi, kalantör ve tirendaz hizmetkârına derin bir saygı duymaktaydı. Einstein'ın Planck'ta gördüğü ve takdir ettiği şey, sağlam dürüstlüğü ve bilime derin bağlılığıydı. Einstein fiziğe adanmışlığının yoğunluğuna yetişebilecek herkese daima hayranlık besler ve bu bazen dostluk kurmaya kadar da varırdı.

Berlin'e taşınmak zaten sallantıda olan bir evliliğe nihai darbeyi indirdi. Berlin'e vardktan kısa bir süre sonra, Mileva iki oğluyla birlikte Zürih'e dönerek orada kaldı. Sonraki hayatı pek mutlu geçmedi. Ayrılığı ve 1919'da gelen boşanmayı bir türlü kabullenemedi. Geliri çok sınırlıydı. Einstein'ın 1921'de kazandığı Nobel Ödülü parasını ona aktarmasından sonra da bu durum değişmedi. Küçük oğul Eduard hayatının büyük bir bölümünü zihinsel açıdan dengesiz biri olarak geçirdi ve sonunda şizofreni teşhisiyle yatırıldığı bir Zürih psikiyatri hastanesinde öldü.

Einstein artık bekârdı ve "beni Berlin'e o çekti" dediği bir "kuzen"i "sevecen bakımı" altındaydı. Bu kişi (annelerinin ve dedelerinin kardeş olmasından dolayı) hem birinci, hem de ikinci dereceden kuzeni sayılan ve çocukluktan beri arkadaşı olan Elsa Einstein Lowenthal'dı. Gençliğinde evlendikten sonra boşanmış olan Elsa, Einstein'ın Almanya'ya döndüğü sırada Berlin'de Margot ve Use adlı kızlarıyla birlikte kalıyordu. 1917'de Einstein'ın sağlığı ciddi biçimde bozuldu. Elsa onun bakımını ve beslenmesini gözetmek için hazırды. Hasta toparlandı ve iki yıl sonra hemşiresiyle evlendi. Takdir duygularını nadiren ifade etmiş olsa da, Einstein herhalde Elsa'nın vazgeçilmez olduğunu kavramış olmalıdır. Bu kitaptaki profillerde değinilen eşlerden bazıları gibi, Elsa kocasının bilim dışındaki işlerini maharetle çökp çevirdi ve onun asıl uğraşını, yani teorik fizik üzerine düşünmeyi sürdürmesini sağladı.

Elsa'ya ilişkin şöyle bir taslak çizer bize Pais: "Kibar, sıcak, anaç ve ilk numunelik burjuvaydı, sevgili Albertle'sine göz kulak olmaktan hoşlanırdı. Onun şöhretinden zevk duyardı." Einstein çiftini California'da ağırlayan Charlie Chaplin ise Elsa'yı şöyle betimler: "Hayat dolu irikıyım bir kadındı, büyük bir adamın karısı olmaktan içtenlikle haz alıyordu ve bunu gizlemek için hiçbir çaba göstermiyordu. Bu coşkusu sevimliydi."

Einstein'ın hayat hikâyesinde alışılmış ya da öngörülebilir bir bölüm neredeyse yok gibidir ama en tuhaf evre 1905'teki "özel" görelilik teorisini geliştirip 1915'te bir "genel" görelilik teorisi düzeyine çıkarmasına kamuoyunun gösterdiği tepki oldu. Bu ilgi çığını doğuran şey, çok az kişi tarafından anlaşılan teorisinin kendisi değil, teorideki öngörülerden birinin doğrulandığı yolundaki açıklamaydı.

Einstein bir kütleçekimi alanının ışık ışınları üzerinde eğici bir etkisi olduğunu göstermek için genel teorisini kullanmış ve Güneş çekiminin yıldızlardan gelen ve Dünya'daki teleskoplara ulaşmadan önce Güneş'in yanından geçen ışık üzerindeki beklenen etkisini hesaplamıştı. Bu etki küçüktü ama bir güneş tutulması sırasında yapılacak gözlemlerle ölçülebilir düzeydeydi. Aksamalardan, erte-

lemelerden ve araya giren siyasal çalkantılardan -o sıralarda Birinci Dünya Savaşı sürüyordu- sonra, Arthur Eddington yönetiminde Batı Afrika kıyıları açığındaki Principe adasına ve Andrew Crommelin yönetiminde Brezilya'nın kuzey kesimindeki Sobral'a giden iki İngiliz keşif heyeti 1919'daki güneş tutulmasını gözlemledi ve Einstein'ın öngörülerini doğrulamayı başardı.

Einstein bir anda dünyanın en ünlü bilim adamı oluverdi. Kalburüstü ve kıytırık meslektaşlarının, allame sosyete mensuplarının, muhabirlerin ve sade insanların kuşatması altına girdi. "Gazetelerdeki haber furyasından beri" diye yazdı bir dostuna, "öylesine çok soruya, davete, itiraza boğuldum ki, rüyalarımda kendimi cehennemde yanarken görüyorum. Yüzüme karşı sonsuza kadar kahkahalarla gülecek Şeytan kılığındaki postacı, daha öncekilere cevap vermediğim için, yeni mektup tomarlarını kafama doğru fırlatıyor." Sonuçta dar bir kesime dönük ve teorik bir çabaya böylesine bir tepkiyi neyin harekete geçirdiğini anlamak neredeyse olanaksızdır. Matematikçi ve felsefeci Alfred Whitehead bu kamuoyu heyecanını daha rasyonel tarafıyla şöyle ifade etmişti: "Büyük bir düşünce serüveni nihayet güvenle sahile varmış bulunuyor."

Uzay-Zaman

Einstein'ın 1905'teki özel teorisinin ortaya koyduğu yeni uzay ve zaman öğretisi, zaman göreliliğinin yanı sıra uzunluk ve uzay göreliliğini gerekli kılmaktaydı. Bir eylemsizlik çerçevesi içindeki bir gözlemci belli bir olayı x, y, z koordinatlarıyla ve t zamanıyla tarif ettiğinde, farklı bir eylemsizlik çerçevesi içindeki başka bir gözlemci aynı olayın fiziğini ifade etmek için x', y', z' gibi farklı koordinatları ve t' gibi farklı bir zamanı kullanır. Zaman değişkeni, Newton fiziğindeki gibi, uzaysal değişkenlerden ayrı değildir. Görüldüğü kadarıyla Einstein tablosuna uzaysal değişkenlerle aynı temelde girer. Einstein'ın eski matematik hocalarından Hermann Minkowski bu bakış açısını benimsemiş ve matematiksel bir yapıya kavuşturmuştu. Bu yapı daha sonraları özel göreliliğin ötesine geçip genel göreliliğe yönelen Einstein için vazgeçilmez bir araç oldu. Minkowski 1908'de yaptığı bir konuşmanın girişinde kendi programını şöyle ortaya koymaktaydı: "Uzay ve zamanı ilişkin olarak size sunmak istediğim görüşler deneysel fiziğin toprağından fışkırıp çıkmıştır ve güçleri de buradan gelmektedir. Radikal görüşlerdir bunlar. Bundan böyle başlı başına uzay ve başlı başına zaman sönüp giderek birer gölge haline gelmeye mahkûmdur. Yalnızca ikisinin bir tür birliği bağımsız bir gerçeklik olarak ayakta kalacaktır."

Fiziğin konusu uzay ve zaman içindeki olaylardır. Her olayı koordinat sistemiyle donanmış bir referans çerçevesindeki uzaya yerleştiririz. Örneğin, iki olay x_1, y_1 ve x_2, y_2 koordinat çiftleriyle iki uzaysal boyuta yerleştirilir (Çizim 14.5) ve aralarındaki l uzay aralığı bir üçgen oluşturarak (Çizim 14.6) ve Pythagoras teoremini uygulayarak hesaplanır:

$$l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 \text{ ya da } l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

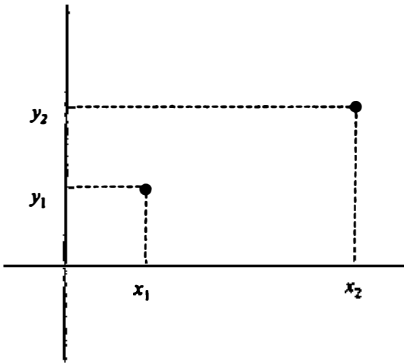
Üç boyutlu uzayda, bu denklemlere üçüncü boyut için bir Δz^2 terimi eklenir:

$$l^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 \text{ ya da } l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (11)$$

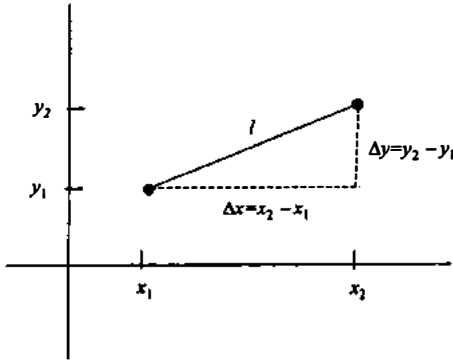
Alan teorisi yaklaşımında, uzayı bir süreyle ele alırız ve hesaplamaları çok küçük dl aralığıyla ayrılan iki yakın olay için yaparız. Böyle bir hesaplama denklem (11)'deki aynı tarifi izler; l 'nin yerine çok daha küçük olan dl , ayrıca Δx , Δy , Δz 'nin yerine daha küçük dx , dy , dz geçirilir.

$$dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \text{ ya da } dl = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (12)$$

Minkowski bizden bu üç boyutlu tablonun yerine dört boyutlu bir tablo geçirmemizi, her fiziksel olayı dört koordinata, yani x , y , z dediğimiz üç uzay koordinatına ve t zaman koordinatına sahip bir "dünya noktası"yla konumlandırmamızı ister. Peki, bu dört boyutlu uzay ve zaman tablosunda, daha uygun bir ifadeyle "uzay-zaman"da, bir aralığı üç boyuttaki dl terimiyle karşılaştırmalı olarak nasıl hesaplayabiliriz? Matematiksel fizik kuralları uzay ve zaman terimlerinin $dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$ olarak basit bir biçimde toplanmasına elvermez; çünkü dx , dy , dz bir şeyi (uzunluğu), dt ise başka bir şeyi (zamanı) ölçmeye yarar. Bir fiziksel denklemde iki terim toplandığında, aynı şeyi ölçmeleri ve aynı birimlere sahip olmaları gerekir.



Çizim 14.5. İki boyutlu uzayda iki olayın x_1, y_1 ve x_2, y_2 çift noktalarındaki konumları.



Çizim 14.6. Çizim 14.5'teki iki olay arasındaki l uzay aralığının hesaplanması.

Uzay-zamanda bağlantılara ve aralıklara yaklaşmanın en basit yolu, iki olayın en güvenilir ölçüm aracı olan bir ışık ışınıyla birbirine bağlandığını tasarlamaktır. Bir ışık çakımının x_1, y_1, z_1, t_1 koordinatlı bir dünya noktasında yaratıldığını ve daha sonra x_2, y_2, z_2, t_2 koordinatlı dünya noktasında belirlendiğini varsayalım. Işık çakımının kat ettiği mesafe, daha önceki gibi $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$ ve $\Delta z = z_2 - z_1$ olmak üzere, $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ değerindedir. Aynı mesafe c ışık hızını iki olay arasında geçen zaman, yani Δt ile çarparak elde edilir:

$$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} = c\Delta t$$

Birazcık yeniden düzenleme bu denklem saha sonraki değerlendirmelere daha uygun hale gelmesini sağlar. Denklemin her iki tarafının karesini alalım ve bütün terimleri tek bir tarafa taşıyalım:

$$c^2\Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 = 0$$

Uzay-zamanı süreydeki iki yakın olay için $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta t$ böylece dx, dy, dz, dt haline gelir ve denklem şu şekli alır:

$$c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0 \quad (13)$$

Hesaplanan nicelik bir uzay-zaman aralığının karesidir ve görelilik teorisinde ds^2 ile ifade edilir:

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (14)$$

Fizikçilerin “dünya çizgisi elemanı” dediği ds , görelilik teorisinde temel bir varlıktır.

Denklem (14) çok sayıdaki olabilirlikten yalnızca biridir. Hangi yoldan hesaplanmış olursa olsun, ds dünya çizgisi elemanı uzay-zamana özgü dört boyutlu dünyada fiziksel olayların birbirleriyle nasıl bağlantılı olduklarını gösterir. Daha önce sözünü ettiğimiz ışık çakımı açısından, denklem (13) ve denklem (14) uyarınca $ds^2 = 0$ olur ve ds ile birbirine bağlanan olayların “ışığa özgü” olduğu söylenir. Ayrıca ds^2 pozitif ya da negatif de olabilir, pozitif durumda olayların “zamana özgü”, negatif durumda ise olayların “uzay özgü” bağlantılı olduğu söylenir.

Minkowski'nin vurguladığı gibi, Einstein'ın uzay-zaman olaylarına dayalı dünyası bütün eylemsizlik çerçevelerinde ds çizgi elemanının değişmez olmasını sağlayan temel bir simetriye sahiptir. Eğer önce ds elemanını x, y, z, t koordinatlı bir çerçevede, daha sonra ds' elemanını x', y', z', t' koordinatlı bir çerçevede ölçerseniz, iki ölçümün eşit, yani $ds = ds'$ olması gerekir; olayları birbirine bağlayan çizgi elemanının ışığa özgü, zamana özgü ya da uzaya özgü olması bir şeyi değiştirmez. Minkowski basit $ds = ds'$ durumundan yola çıkarak, x, y, z, t ve x', y', z', t' biçimindeki iki koordinat dizisini ifade eden dört denklem elde etti. Lorentz'in daha önce kendi teorisinin farklı bağlamı içinde türetmiş olduğu bu denklemler günümüzde “Lorentz dönüşümleri” olarak anılmaktadır.

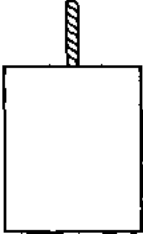
Einstein önceleri Minkowski'nin özel görelilik teorisini yeni bir matematiksel kalıba dökmesinden etkilenmedi. Bunu “banal” buldu ve “fuzuli allamelik” diye nitelendirdi. Ama daha sonraları, genel göreliliğin daha dolaşık dünyasını matematiksel olarak irdelerken, Minkowski'nin kavramlarının vazgeçilmez olduğunu gördü. Minkowski olmadan görelilik teorisinin “kundak bezleri içinde sıkışık kalmış olabileceğini” itiraf etmek zorunda kaldı.

Geometriye Bürünmüş Fizik

Einstein'ın “kundak bezleri içindeki” 1905 teorisini fiziksel dünyaya dair güçlü bir saptama yapmıştı ama Einstein bunun geliştirilmeye açık yönleri olduğunu anında anladı. Öncelikle, teori eylemsizlik sistemleriyle kısıtlı gibiydi. Dahası, Maxwell'in elektromanyetik teorisıyla bağdaşıyordu, Einstein'ın miras aldığı bir başka büyük teoriyle, Newton'un kütleçekimi teorisıyla bağdaşmıyordu. Potansiyeline varabilmesi için, bu yeni teorisinin eylemsiz olmayan sistemleri, yani birbirlerine göre ivmeli sistemleri hesaba katması ve aynı zamanda kapsamını kütleçekimine doğru genişletmesi gerekiyordu.

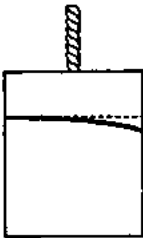
Einstein'ın bu doğrultuda attığı ilk adım tek taşla iki kuşu vurdu. Daha sonra bunu şöyle açıklayacaktı: “Bern'deki patent bürosunda bir sandalyede otururken, birdenbire aklıma bir düşünce geldi: 'Bir kişi serbestçe düştüğünde kendi ağırlığını hissetmez.' Afalladım. Bu basit düşünce bende derin bir etki bıraktı. Beni bir kütleçekimi teorisine doğru itekledi.” Einstein'ın daha sonraları “eşdeğerlik ilkesi” adını verdiği şeyin zihinde çakan ilk görüntüsüydü bu. Buradaki ana fikir kütleçekiminin görelidir. Serbest düşüş halinde olan, sözelimi düşen bir asansör içinde kilitli kalan kişi yerçekiminin hiçbir belirtisiyle karşılaşmaz: Asansör içindeki her şey durgun ve ağırlıksız görünür. Buna karşılık dışarıdaki bir gözlemci, asansörün bir kütleçekimi alanının pençesi arasında ivmelendiğini görür.

Eğer asansör kütleçekimi alanından çıkarılırsa ve bağlanan bir halatla yukarıya doğru sabit bir hızda ivmelenendirilirse (Çizim 14.7), asansör sakini tam tersi bir deneyim yaşar. Şimdi dışarıdaki gözlemci hiçbir kütleçekimi alanı görmezken, içerideki gözlemci ve ona ait bütün eşyalar sanki bir kütleçekimi alanı içindeymişçesine tamamen asansör zeminine tutunmuş olarak kalır. Buradaki “eşdeğerlik” alandan yoksun uzayda ivmelenen bir sistem ile kütleçekimi alanında yer alan bir eylemsiz sistem arasındadır. Bu biçimde akıl yürüten Einstein, gerek kütleçekiminin gerek ivmenin görelilik teorisine nasıl katılabileceğini kavramaya başladı.



Çizim 14.7. Dışarıdaki bir gözlemcinin gördüğü biçimiyle, bir halata bağlanmış olarak sabit hızda yukarıya doğru ivmelenen bir asansör.

Einstein ve Infeld'in sonradan daha da geliştirdiği halata bağlı asansör görüntüsü, Einstein'ın ışık ışınlarının yerçekimiyle eğildiğini ortaya koyan ve on yıl sonra bütün dünyanın kapısına dayanıp yaygara koparmasına yol açan öngörüsüne ilişkin ilk versiyonun eşdeğerlik ilkesiyle nasıl gerekçelendirildiğini gösterir. Bir ışık ışınının halata bağlı asansörü soldan sağa doğru geçtiğini gözünüzde canlandırın. Dışarıdaki gözlemci asansörü ve ışık ışınına Çizim 14.8'de çizildiği gibi görür. Işık ışınının bir duvardan öbürüne yolculuğu sonlu bir süreyi aldığından ve bu süre boyunca asansör yukarıya doğru ivmelenendiğinden, dışarıdaki gözlemci ışık ışınına hafif eğik bir yolda ilerlerken görür. İçerideki gözlemci de ışık ışınına eğik görür ama ivmenin farkında olmadığı için, bu etkiyi kendisini asansör zemininde tutan eşdeğer kütleçekimi alanına bağlar. İçerideki gözlemci ışık ışınının bir kütleçekimi alanına tepki vermesi gerektiğini düşünür, çünkü bu ışının enerjisi ve dolayısıyla $E = mc^2$ formülü uyarınca aynı zamanda kütlesi vardır. Kütlesi olan diğer her nesne gibi, ışık ışını da bir kütleçekimi alanına tepki verir.



Çizim 14.8. Dışarıdaki bir gözlemcinin gördüğü biçimiyle, halata bağlı olarak sabit hızda yukarıya doğru ivmelenen ve içinde soldan sağa doğru bir ışık ışını geçen bir asansör.

Einstein eşdeğerlik ilkesini kendisine kılavuz alarak, 1907'de görelilik teorisini genelleştirerek yerçekimini ve ivmeyi kapsayacak bir yapıya kavuşturmaya başladı. Çalışmaları ilerlerken, garip türde bir geometriye giren bir problemle uğraştığı kanısı gittikçe güçlendi. Özel görelilikte bile ivmenin ve eşdeğer kütleçekiminin Eukleides teoremlerinden bazılarına aykırılıklar taşıdığına dair ipuçları vardır. Bunun bir örneği bir dairenin çevresinin çapına oranının π sayısına eşit olduğu kuralıdır. Einstein özel göreliliğe dayanarak, sözelimi hızla dönen bir diskin ölçümle belirlenmiş çevre-çap oranının π sayısından biraz daha büyük olması gerektiğini ileri sürebilecek durumdaydı.

Prag'dan Zürich'e döndüğü 1912'de, Einstein bu çıkmazdan Eukleidesçi olmayan bir geometriye özgü matematikle kurtulabileceğini umuyordu. O sırada Zürich ETH'de matematik profesörü olan çok değerli dostu Marcel Grossmann bazı hayati yardımlarda bulundu ve Bernhard Riemann'ın diferansiyel geometri üzerine eserini okumasını tavsiye etti. Riemann 1850'lerde Eukleidesçi olmayan uzayları genel düzeyde incelerken, böyle uzaylarda çizilen çizgilerin "eğriliği"ni tanımlamıştı.

Eğrilikleri hesaplamak için Riemann'ın baş vurduğu matematiksel araç, altmış yıl kadar sonra Minkowski'nin ödünç alacağı ds^2 , yani karesi alınmış çizgi elemanıydı. Her matematikçiden bekleneceği üzere, Riemann çizgi elemanı denklemini için herhangi bir sayıda boyuta dayanan ve ikinci dereceden bütün olası terimleri içeren tamamen genel bir versiyon tasarladı. Örneğin, şu çizgi elemanına sahip iki boyutlu Eukleides geometrisini ele alalım:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (15)$$

Riemann'ın sisteminde, matematiksel açıdan mümkün olan ikinci dereceden $dx dy$ ve $dy dx$ faktörlerini içermesi için bunu şöyle genişletiriz:

$$ds^2 = (1)dx^2 + (0)dx dy + (0)dy dx + (1)dy^2$$

Eklenen terimler sıfır katsayısıyla çarpılır, çünkü ds^2 denkleminde yer almazlar aslında. Denklem (15)'te olduğu gibi, diğer iki terimin bir katsayısı vardır. Riemann'ın analizinde iki boyutlu Eukleidesçi geometri hakkında bütün bilmemiz gereken şey, son denklemde parantez içinde yer alan dört katsayıdır. Bunları g 'nin temsil ettiği 2×2 'lik bir tabloda şöyle toplarız:

$$g = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Buna "metrik tensör" denir.

Üç boyutlu Eukleides uzayında çizgi elemanı

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

biçiminde olur ve aynı kabullere göre metrik tensör şu 3 x 3'lük tabloyla gösterilir:

$$g = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Dört boyutlu Minkowski uzay-zamanda, denklem (14)'teki çizgi elemanıya, metrik tensör şu 4 x 4'lük tabloyla ifade edilir:

$$g = \begin{pmatrix} c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Riemann'ın eğrilik hesaplaması için matematiksel hammadde, söz konusu geometriye ilişkin g metrik tensöründe yer almaktadır. Metrik tensörüne göre tanımlanmış bir geometri verili olduğunda, Riemann eğriliğinin nasıl hesaplanacağını gösterir. Yukarıda aktarılan üç metrik tensör sıfır eğrilik verir, çünkü "yassı" geometrileri belirler. Ama Riemann'ın analizindeki metrik tensörlerin ortaya koyduğu gibi, başka birçok geometri eğrilik barındırır ve bu bakımdan Eukleidesçi olmayan kategoriye girer.

Hatalarla ve yanlış çıkış noktalarıyla (bereket, bunlar hikâyemizin bir parçası değil) dolu birkaç yıldan sonra, Einstein nihayet 1915'te Riemann'ın matematiksel araçlarıyla kütleçekimini ve geometriyi sıkı sıkıya birbirine bağlayan bir alan denklemi türetebileceğini kavradı. En basit biçimine indirgenmiş haliyle denklemi şöyledir:

$$G = \frac{8\pi G}{c^4} T \quad (16)$$

Burada G Newton kütleçekimi sabitidir. G ve T birer "tensör"dür; denklemin eylemsiz ya da eylemsiz olmayan bütün referans çerçevelerinde tam tamına aynı matematiksel kalıbı taşımaları açısından özel olarak tanımlandıkları anlamına gelir bu. (G ve G 'nin farklı anlamlara sahip olduğuna dikkat edin.)

G tensörü Riemann'ın eğrilik hesaplamasının Einstein'a özgü uyarlamasıdır, tamamen ilgili g uzay-zaman metrik tensörüne ve türevlerine dayanır. T tensörü enerji ve madde dağılımını belirleyerek, kütleçekimi kaynağına ilişkin bütün gerekli bilgileri sağlar. Bu bakımdan alan denklemi (16), sol tarafta geometriden, sağ tarafta ise kütleçekiminden söz eder. Bir kütleçekimi kaynağı (T) önerildiğinde, denklem Einstein'ın G tensorünü ve sonuçta g uzay-zaman metrik tensörü çerçevesinde geometriyi verir.

Einstein'ın alan denklemlerinde kütleçekimi geometriyi ve şaşırtıcı olmayan bir biçimde geometri de hareketi belirler. Einstein birincil matematiksel un-

suru vazgeçilmez g uzay-zaman metrik tensörü olan genelleştirilmiş bir hareket denklemi türeterek, fiziksel savını sürdürdü. Böylece bütün hesaplamaların ardışıklığı şöyle olur:

Kütleçekimi kaynağı $\rightarrow$ Eğrilik $\rightarrow g$ metrik tensörü $\rightarrow$ Hareket denklemi.

Kütleçekimi kaynağı T , eğrilik G sembolüyle ifade edilir. Metrik tensör G 'den elde edilir ve hareket denklemi g ile tanımlanır. Özet olarak, Einstein'ın genel görelilik teorisine dair hikâyeyi anlatmanın bir yoludur bu. Hiçbir *kuvvetten* söz edilmediğine dikkat edin: Kütleçekimi ve hareket arasındaki çöçpçatan *geometri*-dir. Bu yüzden hikâyenin başlığı da "Geometriye Bürünmüş Fizik"tir.

Einstein alan denklemi (16)'nın ortaya koyduğu üzere, kütleçekimi söz konusuysa, geometri her zaman uzaysal eğrilik ya da Eukleidesçi olmayan geometri anlamına gelir. Ancak, uç durumlar (örneğin kara delikler) dışında, eğrilik derecesi son derece küçüktür. Einstein'ın teorisini kullanan Richard Feynman, r yarıçapından bir kürenin yüzey alanını hesaplamaya yönelik $4\pi r^2$ biçimindeki Eukleides formülünün, Güneş yüzeyindeki şiddetli kütleçekimi alanında milyonda 1,3 parça hatalı olduğunu hesaplamıştır.

Einstein'ın genel teorisinin geçerliliğini sınamak üzere önerdiği iki uygulama vardır. Bunlardan biri, Güneş yakınında ışık ışınlarının uğradığı eğrilmenin hesaplanmasıdır ve daha sonra ünlü Eddington ve Crommelin keşif seferlerinde doğrulanmıştır. Diğeri ise Merkür gezegeninin yörüngesinin hesaplanmasıdır. Böyle bir hesaplama yörüngenin Newton teorisinde öngördüğü gibi sabit olmadığını, bir yızyılda 42,9 saniye yıllık bir dereceyle yönelimini değiştirdiğini gösterir. Bu etki gözlemlenmiş ve 43,5 saniye olarak ölçülmüştür. Teorisinin bu başarısını gördüğünde, Einstein havalara uçu. "Birkaç gün heyecandan kendime gelemedim" diye yazmıştı bir arkadaşına. Pais'in belirttiği gibi, "O andan itibaren şunu biliyordu: Doğa sözünü söylemişti, demek ki haklı olmalıydı o."

Kader ya da Tanrı'nın Cingözlüğü

Bilimsel yaratıcılığın kaçınılmaz ve akıl sır erdirilemez bir yönü kalıcı olmasıdır. Bir seferinde, Einstein bir arkadaşına şöyle yazmıştı: "Kişi gerçekten yeni olan bir şeyi ancak gençken keşfedebilir. Sonrasında daha deneyimli, daha meşhur ve de daha ahmak olur." Bu kitapta hikâyeleri anlatılan bilim adamlarının çoğu yaptıkları önemli işleri gençken, yirmili ya da otuzlu yaşlardayken yaptılar. Bir kısmı, örneğin Planck ve Schrodinger, en başarılı işleri ortaya koyarken orta yaşlarına yaklaşıyorlardı. Ama Gibbs, Feynman ve Chandrasekhar'ı saymazsak, hiçbiri sıradışı bir işi ömrünün sonuna doğru başarmadı.

Pek çok diğeryönden benzersiz olmasına rağmen, Einstein'ın yaratıcı dehası geçicilik yönünden genelden pek farklı değildi. Pais'e göre, Einstein'ın yaratıcılığı kırk beş yaşına vardığı 1924'ten sonra gerilemeye başladı. Einstein'ın Berlin'e yerleştiği 1913'ten sonraki kariyerini genel hatlarıyla şöyle çizer Pais: "Kütleçekimine ilişkin alan denklemlerinin Kasım 1915'te formüle edilmesiyle birlik-

te, klasik fizik (yani kuantum dışı fizik) mükemmellik noktasına ve Einstein da bilimsel kariyerinin zirvesine ulaştı. ... Çokça hasta düşmesine rağmen, 1916'dan 1920'ye geçirdiği yıllar hem görelilik hem de kuantum teorileri bakımından üretken ve verimliydi. 1920'den sonra hafif bir gerileme başladı. 1924'ün sonlarına doğru bir dirilme görülür. ... O tarihten sonra, bilimsel çabalarını otuz yıl daha aralıksız sürdürse de, yaratıcı dönemi birdenbire sona erer.”

Yaklaşık 1920'den sonra, Einstein siyasetin dünyasında daha çok yer aldı ve bu da kuşkusuz zamanını ve enerjisini çaldı. Epeyce gezip dolaştı ve insanların karşısına sıkça çıktı. Şöhretten nefret ederdi ama dinleyici kitlelerin önünde bulunmaktan keyif aldığı da inkâr edilemezdi. Büyük oğlu Hans Albert, onun “halka bir aktör bozuntusu” olduğundan söz eder. Berlin'deki toplumsal hayat cazibe doluydu: Einstein çiftinin eş dost çevresinde tanınmış aydınlar, devlet adamları ve eğitimciler vardı. Dahası, Einstein 1920'li ve 1930'lu yıllarda en azından birkaç kez evlilik dışı romantik gönül ilişkilerine kapıldı.

Böylece dışa dönük Einstein, içine kapanık Einstein'ın yaratıcı ruhunu köreltti. Ancak bu durum gerilemeyi yalnızca kısmen açıklar. Diğer iki etkenin daha önemli olduğu söylenebilir. Sahneye 1925'te ve 1926'da çıkan kuantum mekaniği metotları, uzun yıllar teorik fizikteki gelişmelere damgasını vurdu. Einstein kuantum mekaniğinin yararlılığını çabucak benimsedi ama konu amaca gelince, yorumu üzerine kavgalara tutuştu. Çoğu fizikçi kuantum mekaniğinin zorunlu kılar gibi görüldüğü kendine özgü indeterminizme ayak uydururken, Einstein bunu kendine yediremedi. İkinci kuşak kuantum fizikçilerinin yeni devrimci metotları ortaya koyup kullanmasıyla birlikte, Einstein tutucu kesiliverdi. Gelip geçici başarılarından daha önemli saydığı büyük fizik geleneklerinden bazılarını çiğnemeksizin, kuantum teorisinde eksiklik olarak hissettiği şeyin ötesini görmeye çalıştı. Yıllar boyunca aramasına rağmen, peşinde olduğu şeyi hiçbir zaman bulamadı. “Kuantumları ne kadar kovalarsanız, kendilerini o ölçüde iyi gizlerler” diye yazmıştı bir mektubunda. İnatçılığı yüzünden, kendisinden genç meslektaşlarının çoğuyla görüşmez oldu.

Einstein'ın kesinlikle en güçlü kişilik özelliklerinden biri olan ısrarcılığı, büyük bir başarısızlığa daha neden oldu. 1920'lerin sonlarında, kütleçekimi, elektromanyetizma ve belki de kuantum fiziğinin teorilerini birleştirmek amacıyla “birleşik bir alan teorisi” üzerine çalışmaya başladı. Bu çaba geri kalan ömrü boyunca onu tutsak etti, hatta denebilir ki bir saplantıya dönüştü. Çılgınca bu teorik problemle didişen Einstein'ın dramı, büyük bilim adamlarının tutkulu bir bağlılık olmadan, düşünen makineler gibi işlerini yaptıkları yolundaki iddiaya bir cevap niteliğindedir. Einstein uzun yıllar mektuplaştığı Belçika Kraliçesi Elizabeth'e 1939'da şöyle yazıyordu: “Umut verici bir ize rastladım. Birkaç genç çalışma arkadaşıyla birlikte sıkıntı çekerek ama yılmadan bunu takip ediyorum. Beni doğruya mı, yoksa yanılgıya mı götürür, önümdeki kısa sürede bunu kesin olarak saptayamayabilirim. Ancak hayatımı heyecanlı bir tecrübeye dönüştürdüğüm için kadere minnettarım.”

Birkaç yıl sonra bir arkadaşına yazdığı mektupta şöyle diyordu: “Çorap giy-

mez çatlak herifin teki diye tanınan yaşlı adamım ben. Ama hiç olmadığı kadar müthiş bir tempoda çalışıyorum ve birleşik fiziksel alanlar problemimi çözme-yi hâlâ umuyorum. ... Umudun ötesinde bir şey değil bu, çünkü her değişken çok muazzam matematiksel zorlukları beraberinde getiriyor. ... Kaçamadığım matematiksel bir işkencenin altında ısırap içindeyim.”

Yorulmuş ve bazen de hevesi kırılmış olmalıydı. Yeni bir çıkmazla noktalan-ban bir yaklaşımın ardından, bir asistanına “başka bir ahmağı aynı fikir üzerine boşuna altı ay harcamaktan kurtarmak” amacıyla çalışmalarını yayımlayacağını söyledi. Einstein’ın alıntılanmaya değer birçok sözünden en meşhur olanı belki de şudur: “Tanrı cingözdür ama garazkâr değil.” Bununla “Doğa gizemini kurnazlıkla değil, özündeki ihtişamla saklar” demek istiyordu. Alan teorisini birleştirmeye adanmış, nafile geçen birçok yılın ardından, Hermann Weyl’e şunu söylemişti: “Kim bilir, belki de birazcık garazkârdır.”

Yine de Einstein’ın yaratıcı ruhunun mucizesi, umutsuzluğa düşse bile, bunun asla sürmemesiydi. En son biyografilerinden birini yazan Albrecht Folsing bize şunu anlatır: “Bir teorik kavramın peşinde aylar, hatta yıllar boyunca büyük bir şevkle koşabilirdi ama sonunda hep şaşmaz biçimde başına geldiği gibi, ciddi bir kusur ortaya çıktığında, duygusallığa kapılmaksızın ya da harcadığı zaman ve çaba nedeniyle hayal kırıklığına uğramaksızın anında o işin peşini bırakırdı. Ertesi sabah ya da en fazla birkaç gün sonra, yeni bir fikri ele alırdı ve aynı şevkle peşinde koşardı.” “Ne de olsa” diye yazmıştı bir arkadaşına Einstein, “yeise kapılmak erişilmez bir hedef uğruna didinmekten bile daha az anlamlı.”

Mektuplar

Einstein her türlü insandan her türlü konu üzerine yığınla mektup alırdı. Onu bunaltmadığı sürece, böyle mektuplardan hoşlanır ve cevaplar yazardı. Verdiği karşılıklardan seçme parçalar, hiç yazmadığı otobiyografisinden kesitler sunar bize.

Kendisini rektör seçen, bir İngiliz üniversiteye hazırlık okulundaki “Altıncı Sınıf Derneği”nin isimli mensuplarına şöyle yazmıştı: “Eski bir öğretmen olarak derneğinizin rektörlük makamına atanmış olmayı büyük bir keyif ve onurla karşıladım. Her ne kadar eski bir berduş olsam da, insanlara yaşlılıkta saygı gösterme eğilimi var ve bu benim için de geçerli. Yine de size şunu söylemeliyim ki, bu görevlendirmenin benim rızam dışında yapılmasına biraz (ama çok fazla değil) hayret ettim.”

Einstein’a dinsel inancı çok kereler sorulmuştu. Bir arkadaşına yazdığına göre, “koyu dindar bir inançsız”dı ve bir altıncı sınıf öğrencisine şöyle bir açıklama yapmıştı: “Bilimi kendine ciddi bir meşgale seçen herkes evrenin yasalarından bir ruhun belirtisi olduğu kanısına varır: İnsan ruhundan çok daha üstün ve onunla karşı karşıya geldiğimizde sınırlı güçlerimizle kendimizi ister istemez aciz hissettiğimiz bir ruh. Bu biçimdeki bilim uğraşı daha safça birinin dindarlığından epey farklı olan özel türde bir dinsel duyguya götürür insanı.” Bir hayranına da şunları yazmıştı: “Kişisel bir Tanrı’ya inanmıyorum ve bunu hiç inkâr etmedim,

aksine açıkça dile getirdim. Eğer içimdeki bir şeye dindarca denebilirse, bilimin ortaya çıkarabildiği kadarıyla dünyanın yapısına duyduğum sınırsız hayranlıktır bu." Din anlayışı ahlaki içermiyordu: "Ahlak en önemli şeydir ama bizim için, Tanrı için değil." Bir Baptist papazın din yoluna çağırmaya yönelik mektubuna verdiği karşılık şöyleydi: "Kişinin ölümsüzlüğüne inanmıyorum ve de etiği hiçbir insanüstü otoritenin arkasında olmadığı, yalnızca insani bir kaygı olarak kabul ediyorum."

Einstein militarizmden ve milliyetçilikten nefret ederdi. "Bir insanın bir bandonun eşliğinde askeri nizamda yürümekten zevk alabilmesi onu adam yerine koymamam için yeterli nedendir" diye yazmıştı. Gandhi'nin sivil itaatsizlik stratejisinin umut verici olduğuna inanıyordu. "Kanımca ciddi bir ilerleme ancak insanların uluslararası ölçekte örgütlenmesiyle ve orduya ya da savaş hizmetine girmeyi bir bütün olarak reddetmesiyle sağlanabilir." Savaş karşıtlığına bağlılığı başlangıçta pervasızcadı. Bir söyleşide şunu demişti: "Ben yalnızca savaş karşıtı değilim, militan bir savaş karşıtıyım. Barış için savaşmaya hazırım. ... Bir insanın barış gibi inandığı bir dava uğruna ölmesi, savaş gibi inanmadığı bir davadan dolayı acı çekmesinden daha iyi değil midir?"

Ancak, Naziler'in anti-Semitizm'inin yarattığı dehşet onu "mutlak" bir savaş karşıtlığından "kararlı" bir savaş karşıtlığına yöneltti. "Demem o ki, başlı başına bir amaç olarak hayatı yok etme hedefini güden bir düşmanla kapışma durumu hariç, her şart altında zor kullanılmasına karşıyım."

Mektuplaştığı insanların pek çoğu, fizikle dolu bir hayatı yaşamanın nasıl bir şey olduğunu bilmek istiyordu. O ise kendi açısından bir yansızlığın söz konusu olduğunu açıklıyordu: "Bilimsel çalışmalarımın itici gücü, doğanın sırlarını kavramaya yönelik karşı konulmaz bir özlemdir, başka hiçbir duygu değil. Adalet aşkı ve insanlık koşullarının düzelmesine katkıda bulunma çabam bilime duyduğum meraktan tamamen bağımsızdır."

Üstelik bu yansızlıkta bir başka itici güç buluyordu: "Nesnel olarak ölçüldüğünde, bir insanın ateşli bir çabayla Hakikatten söküp koparabileceği şey son derece ufak bir parçadır. Ancak, böyle bir çaba bizi zincirlerimizden kurtarır, en iyi ve en üstün olanların yoldaşı haline getirir."

Göçmen Kuş

Dolaşıp durmak ve gönül rahatlığıyla evim diyebileceği bir yeri mesken edinememek Einstein'ın kaderiydi. İsviçre en sevdiği yerd, ancak patent bürosundan ayrıldıktan sonra orada uzun süre kalmadı. Berlin'de neredeyse yirmi yıl kaldı ve bir süre huzuru buldu. Ancak 1920'lerde Naziler etkili bir konum kazandılar ve beraberlerinde milliyetçiliğin, militarizmin ve anti-Semitizm'in üçlü kırbacını da getirdiler. Nazi siyasetlerinin Nernst'in dönemindeki yıkıcı etkilerini zaten görmüştük. Naziler'in Alman biliminin kurumlarını mahvetmesi daha sonraki bölünlerde ürkütücü bir tema olmayı sürdürecektir. Anti-Semitizm 1920'ler boyunca apaçık yürütüldü ama Einstein için en azından bir tehdide dönüşmedi. Naziler'in iktidara geldiği 1930'ların başlarında ise durum artık değişmişti.

Belçika, İngiltere ve California'daki kısa ikametlerinin ardından, Einstein Princeton'a taşındı ve yeni kurulmuş olan Yüksek Araştırma Enstitüsü'ne katıldı. Berlin'in düşünsel havasıyla karşılaştırıldığında, Princeton'ın düşünsel havası heyecan verici olmaktan uzaktı. "Princeton ufakık bir harika yer" diyordu Kraliçe Elizabeth'e yazarken, "sıksa yarı-tanrıların sütunlara kurulduğu, merasime düşkün şirin bir kasaba." Ancak, orası asıl amacına uygundu: "Belirli özel görevleri bir tarafa bırakırsak, çalışmama ve ilgi dağınıklığından sıyrılmama vesile olacak bir atmosferi kendim için yaratmayı başardım."

Einstein, Princeton'da kaçışına son verdi ve rutin hayatına geri döndü. Her zaman olduğu gibi dünyadaki gelişmeleri takip ediyordu. 1940'larda bir nükleer bomba geliştirme amacına yönelik Manhattan Projesi hazırlandı ve Einstein'ın etkisi ilk aşamalarda önemli rol oynadı. Ama "gözde projesi", yani birleşik alan teorisi Princeton'da asıl uğraştığı konuydu. Her zamankinden daha çok kabaran "bilimde sanatçılık" damarıyla, sezgilerini ve estetik duygusunu tatmin edecek matematiksel yalınlığa ve güzelliğe sahip birleşik teori uğruna sonu gelmez bir arayış içine girdi.

Einstein'ın yazılmış pek çok biyografisi içinde en iyisini veren Abraham Pais, onun 1955'teki ölümünden yaklaşık üç ay önceki halini kısa bir bakışla anlatır bize. Hastalığı yüzünden artık enstitüdeki bürosunda çalışmadığı için, onu evinde ziyaret gittiğini belirterek şöyle devam eder:

... Yukarı çıkarak çalışma odasının kapısını tıklattım. Kibar bir "Girin" sesi işitildi. İçeri girdiğimde, dizlerinin üstünde bir battaniye, battaniyenin üstünde bir not defteriyle koltuğuna oturmuştu. Çalışıyordu. Not defterini hemen kenara koydu ve beni selamladı. Yarım saat kadar keyifli vakit geçirdik. Neler konuştuğumuzu hatırlamıyorum. Derken ona daha fazla kalamayacağımı söyledim. El sıkıştık ve "hoşça kal" dedim. Çalışma odasının en fazla dört ya da beş adım ötedeki kapısına yürüdüm. Kapıyı açarken başımı çevirdim. Onu not defteri dizinde, kalemi elinde ve çevresine kayıtsız bir halde koltuğunda otururken gördüm. İşine dönmüştü.

KUANTUM MEKANİĞİ

Tarihsel Sinopsis

Şimdiye kadar hikâyemizin etrafında döndüğü konu beş büyük bilimsel devrimdi. Galileo'nun başlattığı ve büyük ölçüde Newton'un tamamladığı birinci devrim, mekaniği ve evrensel kütleçekimi kavramını getirdi. Carnot'nun öncülük ettiği ve Mayer, Joule, Helmholtz, Thomson, Clausius, Gibbs ve Nernst'in sürdürdüğü ikinci devrim bize termodinamiği verdi. Üçüncü devrimde Faraday ve Maxwell alan kavramını ortaya attılar ve bir elektromanyetizma teorisi kurdular. İstatistiksel mekanik olarak bilinen dördüncü devrimde Clausius, Maxwell, Boltzmann ve Gibbs'in çalışmaları moleküler fiziğin kapısını açtı. Beşinci devrim, yani Einstein'ın görelilik teorisi uzay, zaman ve kütleçekimi konusundaki bakış açımızı yeniden düzenledi.

Kitabın bu kısmında bir başka bilimsel devrimin anlatımına geçiyoruz. Hikâyeye 1900 gibi bir başlangıç tarihi biçilebilir ve yirmi beş yıl sonra vardığı noktaya yeni bir bilim denebilir. Günümüzde "kuantum teorisi", "kuantum mekaniği" ya da "kuantum fiziği" olarak anılan bu bilim moleküllerin, atomların ve atomaltı parçacıkların mikro dünyasını daha da irdeler. Terim kullanımına ilişkin bir not: Kuantum öncesi ve sonrası fiziği ayırmak için, bundan sonra birincisi için "klasik", ikincisi için "kuantum" sıfatını kullanacağım; "klasik mekanik" ve "kuantum mekaniği", "klasik fizik" ve "kuantum fiziği" gibi.

İlk evrelerinde kuantum devriminin üç büyük önderi vardı: Ufukta belirmekte olan şeyin ilk kavranışını disiplinli içgörülerle sunan Max Planck, bu düşünsel serüvene en az görelilik teorisi kadar derin bir bağlılıkla sarılan Albert Einstein, devrimi en kritik dönüm noktasına taşıyan Niels Bohr. Her üç öncü de yeni fiziğin zorunlu kıldığı tuhaf sonuçları klasik fizikle bağdaştırma

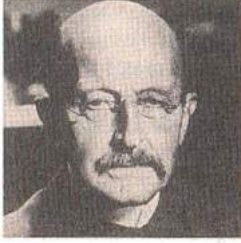
göreviyle karşı karşıya kaldı ve kendine özgü biçimde başarısızlığa uğradı. Planck ve Bohr yeni fiziği eskisinin çerçevesine oturtmaya çalışarak gizemleri dağıtmaya çalıştılar. Einstein yeni fiziğin en çarpıcı özelliklerini çabucak benimsedi ve ardından fiziksel gerçekliğin daha derin bir düzeyine inatla daldı.

Bu çabaların hiçbiri tam başarıya ulaşamadı ve devrimi tamamlamak bir başka kuantum teorisyenleri kuşağına düştü. Bu ikinci kuşakta Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli ve Louis de Broglie yer alır. Onlardan kalan miras ise kuantum mekaniği, düşünsel düzeyde diğerlerinin hepsinden daha çetin olan bir fizik çeşididir. Keşfe çıkılan bu mikro dünyadaki kuantum fiziği yasaları, makro dünyadaki bizlere garip ve esrarengiz görünür. Schrödinger şöyle uyarır bizleri:

Zihinsel gözümüz gittikçe küçülen mesafeleri ve gittikçe kısalan zamanları seçmeye yöneldiğinde, doğanın çevremizde gözlemlediğimiz gözle görülür ve elle yoklanırlar cisimlerden tamamen farklı davrandığını saptarız, öyle ki büyük ölçekli deneyimlerimizle biçimlenmiş hiçbir model asla "doğru" olamaz. Bu tipte tam tatmin edici bir model pratikte erişilemez olduğu kadar, düşünülemez bile. Daha kesin bir ifadeyle belirtmek gerekirse, düşünmesine elbette düşünebiliriz ama nasıl düşünürsek düşünelim, yanlış olur bu. Belki "üçgen daire" kadar olmasa da, "kanatlı aslan"dan çok daha anlamsızdır çünkü.

Böyle bir uyarıdan sonra, kuantum teorisi ve kuantum mekaniği hikâyemize geçebiliriz.

Gönülsüz Devrimci Max Planck



Fizik Bitince

Tanışacağımız devrimci kuantum teorisyenlerinin ilki olan Max Planck, başka türden devrimlerde başarılı olamayacak biriydi. On dokuzuncu yüzyıl Prusya'sının muhafazakâr toplumunda doğmuştu ve kalıplara dayalı, disiplinli yaklaşımıyla Prusya geleneklerine herhalde bütün ömrü boyunca bilimsel çalışmalarında bile bağlı kaldı. Planck'ın hayatı mutlak ve temel olanı yakalamaya dönük gergin, kimi zaman umarsız bir arayışa adanmıştı. Einstein'ın deyişiyle bir "ruh açlığı"ydı bu. "En önemli nokta" diye yazar Planck bilimsel otobiyografisinde, "dış dünyanın insanoğlundan bağımsız bir şey, mutlak bir şey olmasıdır. Bu mutlak için geçerli yasaların peşine düşmek benim için hayattaki en yüce uğraştı." Mutlak ilkelerin bir dışavurumu olarak klasik fizik ilkelerine ideal biçimde oturmuş olan fiziğe duyduğu inanç, dinsel iman kadar keskindi. Düşünsel sağlamlığının ve dürüstlüğünün kaynağı, Einstein'ın bize aktardığına göre, "dine derinden bağlanmış ya da gönlüne aşk ateşi düşmüş bir adamın durumuna daha çok benzeyen ... bir duygu durumuydu, [oysa] günlük çabalara bir amaç ya da program değil, acil bir ihtiyaç yön verir."

Beylik bir romanın unsuru gibi görünen o bildik ironilerden biriyle, 1875'te henüz on yedi yaşındaki Planck'a fizikte, özellikle teorik fizikte bir kariyer yapmama öğüdü verildi. Ne de olsa ayrıntılar dışında bütün işler bitmişti. Ancak Planck kendi içinden gelen sese uydu ve sonunda Berlin'in yolunu tutarak, Almanya'nın en ünlü fizikçilerinden Hermann Helmholtz ile Gustav Kirchhoff'ın yanında öğrenim gördü. Bu büyük bilim adamları ders salonunda ilham verici ol-

maktan uzaktı -Helmholtz'un dersleri yeterli bir hazırlıktan yoksundu, Kirchhoff'un dersleri de "kuru ve monoton"du- ama Planck konuya, yani termodinamiğe ilişkin yazılarında ve ilkelerinde aradığı "mutlak bir şey"i buldu.

Termodinamiğe ilişkin fikirleri 1890'a doğru tam olgunlaşan Planck bazı aksiliklerle karşılaştı. Muhtemelen o sırada yeni olan entropi kavramını öne çıkardığı için, Almanya'nın büyük termodinamikçileri üzerinde olumlu bir izlenim, hatta bir izlenim bırakması neredeyse olanaksızdı. Kirchhoff makalelerini yalnızca kusurlu buldu, Helmholtz ise okuma zahmetine bile girmede. Kullandığı ve arındırdığı entropi kavramının yaratıcısı olan Rudolf Clausius bile ona ya da makalelerine zaman ayırmadı. Planck'ı düş kırıklığına uğratan bir başka gelişme, entropi teorisi üzerine çalışmalarının daha önce Amerika'da Willard Gibbs tarafından öngörüldüğünü öğrenmesiydi. Sonunda 1895'te, babasının yardımıyla Kiel Üniversitesi'nde "kurtuluş mesajı" olarak gördüğü bir akademik görev elde etti.

Daha geniş bir mesleki itibar peşinde koşmaktan geri kalmayan Planck, birkaç yıl sonra Göttingen Üniversitesi'nin desteğiyle düzenlenen bir yarışmaya girerek bu fırsatı yakaladı. Elektrik teorisiyle ilişkili bir konuya dayanan yarışmada, Göttingenli Wilhelm Weber'in hasım bakış açısına karşı art niyetsiz bir tavırla Helmholtz'un yanında yer aldı. Bekleneceği üzere, Göttingen yarışmasında bildirisine birincilik ödülü verilmedi ama gecikmeli bile olsa çalışmasının Helmholtz'tan takdir görmesi açısından şanslı sayılırdı. 1889'da Helmholtz'un adaylığını desteklemesiyle, Berlin Üniversitesi'nde Kirchhoff'tan boşalan kürsüye atandı.

Kara Cisim Radyasyonu

Max Planck'ın coşkusu bir devrimci olarak içine sürüklendiği olaylar Berlin'de 1895 dolayında başladı. O sırada tanınmış bir teorik fizikçiydi ve fizik jargonunda "kara cisimler" olarak bilinen yüksek sıcaklıktaki özel fırınların saldırdığı ışık ve ısı radyasyonunun teoriyle uğraşmaktaydı. Biçimsel bir tanımla, kara cisim ısıtıldığı zaman kendi radyasyonunu salan ama kapalı radyasyonu yansıtmayan bir nesnedir. Bu basitleştirici özellikler radyasyonun dışarı çıkmasını ve gözlemlenmesini sağlayan küçük bir delik dışında çevresi kalın duvarlarla tamamen kapatılmış bir fırında yaratılabilir.

Kara cisim yapısında (ve başka yapıda) fırınlarca salınan radyasyonun rengi, bilindiği üzere fırının sıcaklığına bağlıdır: Fırın 550 °C'de koyu kırmızı, 750 °C'de parlak kırmızı, 900 °C'de turuncu, 1000 °C sarı, 1200 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda beyaz görünür. Bu radyasyonun ilginç bir evrensel karakteri vardır: Duvarları içerdikleri radyasyonla dengelenmiş bir kara cisim fırınında, renk tayfi yalnızca fırının sıcaklığına bağlı olur. Fırının içinde ne bulunursa bulunsun, ancak fırının sıcaklığıyla birlikte değişen tekdüze bir renk salınır. Bu temel gözlemleri kısmen açıklayan bir teori 1859'da Kirchhoff tarafından ortaya konmuştu.

Planck'a göre, bu olayda "mutlak bir şey"in, termodinamik çalışmalarında bulmaya çalıştığı yüce varlığın şaşmaz belirtileri vardı. Kara cisim fırını, maddey-

le etkileşime giren radyasyonun idealleştirilmiş ama deneysel düzeyde erişilebilir bir durumunu somutlaştırıyordu. Önceki yıllarda kara cisimle ilgili teorik çalışmaların hızla ilerlemesinin ardında, kara cisim tayflarını, yani salınan renklerin gökkuşağını analiz etmeye yönelik deneysel yöntemlerin hızla geliştirilmesi yatıyordu. Bu teori kara cisim fırını duvarlarının ısı enerjisi ile fırının içinde yer alan radyasyon enerjisi arasındaki dengeli enerji dönüşümler sürecini gözler önüne seriyordu. Planck'ın bu konudaki araştırmalarına başladığı sırada, kara cisim radyasyonu problemi belirgin biçimde olgunlaşmış meyveleri bulunan bir teorik ağaç haline gelmişti.

Planck elinde kesin deneysel veriler bulunan her teorisyenin çoğunlukla yaptığı şeye yöneldi önce: Verilere uyacak bir ampirik denklem türetti. Bu girişimde kılavuzu, kara cisim radyasyon alanının entropisi ve enerjisi arasındaki bir termodinamik bağlantıydı. Enerji-entropi ilişkisinin sınırlayıcı ve aşırı uçtaki iki versiyonunu tanımladı ve ardından genel bağlantının iki aşırı ucun belirli bir doğrusal bileşimi olduğu tahminini yürüttü. Bu çarpıcı basit yaklaşımla, istediği her şeyi yapan bir radyasyon formülüne vardı. Bulduğu formül arkadaşları Heinrich Rubens ve Ferdinand Kurlbaum'un derlediği kara cisim verilerini öylesine doğru yansıtıyordu ki, tayf verilerinden bile daha kesindi: "Kullanılan ölçüm yöntemleri daha incelikli hale geldikçe" diye anlatır bize Planck, "formülün daha doğru olduğu görüldü."

Talihsiz h

Planck'ı izleyen teorik fizikçiler kuşağı içinde yer alan ve onun attığı temeller üstünde modern kuantum teorisi yapısının kurulmasına katkıda bulunan Max Born, Planck'ın radyasyon formülüne varmasını sağlayan aldatıcı ölçüde basit manevralar için şöyle bir gözlemlerde bulunur: "[Bu formül] fizik tarihinde araya konmuş en belirleyici ve en önemli çıkmalardan biridir, neredeyse tekinsiz bir fiziksel sezgiyi açığa vurur." Tayf verilerini kontrol etmeye ve karşılıklı ilişkilerini belirlemeye yarayan basit ve doğru bir ampirik formülden ibaret değildi bu. Planck'ın zihninde, bunun ötesinde bir anlama sahipti. Sırf bir radyasyon formülü değil, asıl radyasyon formülü, kara cisim radyasyonunu düzenleyen ve son sözü söyleyen yasa idi. Bu yönüyle bir teorinin, hem de sonradan görüldüğü gibi devrimci bir teorinin temeli olarak kullanılabilirdi. Planck hiç duraksamaksızın bu teorinin peşine düştü: "Daha [radyasyon yasasını] formüle ettiğim ilk günde" diye yazar otobiyografisinde, "buna gerçek fiziksel anlamını kazandırma görevine hasretmeye başladım kendimi."

Planck bu probleme yaklaşırken, bilim tarihçisi Martin Klein'in deyişiyle, bir kez daha "entropi perisi"nden ilham aldı. "Max Planck'ın uzun ve verimli bilimsel kariyerini birleştirecek tek bir kavram varsa" diye devam eder Klein, "o da entropi kavramıdır." Planck entropiyi ve termodinamiğin ikinci yasasını incelemeye uzun yıllarını vermişti. Radyasyon yasasını türetmesinde temel bir entropi-enerji ilişkisi can alıcı bir rol oynamıştı. Daha da iddialı hedefi, kara cisim problemine uygulanabilecek *teorik* bir entropi-enerji bağlantısı bulmaktı.

Daha önce 13. Bölüm'de belirtildiği gibi, Ludwig Boltzmann termodinamiğin ikinci yasasını bir "olasılık yasası" olarak yorumlamaktaydı. Vardığı sonuca göre, bir sistemin durumu için göreceli olasılık ya da düzensizlik W olduğunda, sistemin bu durumdaki S entropisi W 'nin logaritmasıyla orantılıydı.

$$S \propto \ln W$$

Planck bu ilişkiyi kara cisim problemine uygulamak üzere, kara cisim fırının duvarlarında "rezonatör" diye adlandırdığı titreşen moleküllerin toplam entropisini ustaca bir matematiksel dokunuşla

$$S = k \ln W \quad (1)$$

biçiminde yazdı. Burada k bir evrensel sabittir, W ise düzensizliğin ölçüsüdür. Bu entropi denklemini bulma payesinin çoğu kez Boltzmann'a verilmesine ve k 'nin günümüzde "Boltzmann sabiti" olarak anılmasına rağmen, hem denklemin hem de sabitin temel önemini kavrayan ilk kişi Planck'tı.

Planck bu denkleme gönulsüzce ulaştı. Denklemin entropiyi ele alışı Boltzmann tarafından geliştirilen istatistiksel yaklaşıma dayanıyordu. Boltzmann'ın teorisi, termodinamiğin ikinci yasasına aykırı biçimde, her makroskobik sürecin anlaşılabilir ama son derece elverişsiz ihtimaller içinde kalan bir gelişmeyle, tersine dönebileceği ve doğal olmayan, entropi azaltıcı doğrultuda ilerleyebileceği yolundaki savı öngörüyordu. Hatta Boltzmann'ın niceliksel teknikleri inanılmaz ölçüde elverişsiz ihtimallerin nasıl hesaplanacağını da gösteriyordu. Gerçi Boltzmann'ın vardığı sonuçlar Planck'a hayali geliyordu ama kara cisim rezonatörlerinin entropisini hesaplamak için kabul edilebilir bir yol bulma çabası 1900'de gittikçe umarsız, hatta pervasız bir hal alıyordu artık. Planck çeşitli yanlış istikametlere sapmış, yorumda temel bir hataya düşmüş ve teorik repertuarını tüketmişti. Daha önce bildiği teorik yollardan hiçbirisi sonunda varacağına emin olduğu yere, yani ampirik radyasyon yasasının bir türevine götürmüyordu onu. Son bir çare olarak, Boltzmann'ın yanında yer aldı, entropiye ve ikinci yasaya ilişkin olasılıkçı versiyonu benimsedi.

Planck açısından, daha sonraları bir meslektaşına yazdığı gibi, "çaresizlikten gelen bir davranış"tı bu. "Mizaç olarak sükûnete eğilimli biriyimdir ve sonu şüpheli her türlü maceraya karşı çıkarım" diye belirtiyordu mektubunda, "ama o sıralarda radyasyon ile madde arasındaki bu denge problemiyle altı yıl boyunca (1894'ten beri) boğuşmamdan bir sonuç alamamıştım ve bu problemin fizik açısından temel öneme sahip olduğunu biliyordum. Ayrıca normal tayflardaki enerji dağılımını ifade eden formülü [ampirik radyasyon yasasını] biliyordum. Bir teorik yorum bulmak şarttı, hem de ne pahasına olursa olsun."

Planck, denklem (1)'de W düzensizliğini hesaplamak için kullandığı döküm prosedürünü Boltzmann'ın bir başka teorik tekniğinden aldı. En azından geçici bir ölçü olarak, rezonatörlerin toplam enerjisinin her biri ε büyüklüğünde küçük

ve *bölünmez* “eleman”lardan oluştuğunu kabul etti. Bu durumda W 'yi belirli sayıda enerji elemanınin belirli sayıda rezonatöre dağılabileceği yolların sayısına ilişkin bir döküm olarak değerlendirmek mümkündü; matematikçilerin uzun süreden beri aşına olduğu basit bir kombinasyon hesaplamasıydı bu.

Entropi denklemi (1), enerji elemanları aracına dayalı döküm prosedürü ve termodinamikten alınma standart entropi-enerji denklemi Planck'ı -tam olmasa bile- aşağı yukarı hedefine, yani radyasyon yasasının bir teorik türevine ulaştırdı. Bir adım daha atmak gerekiyordu. Elemanların ε enerjisinin rezonatörleri titreştiren frekansla orantılı olduğunu, yani $\varepsilon \propto \nu$ durumunu ya da h bir orantılılık sabiti olmak üzere

$$\varepsilon = h\nu \quad (2)$$

denklemini varsaymadığı sürece, savı başarıya ulaşmış olmayacaktı. Enerji elemanlarının büyüklüğünü bu biçimde ifade etmesi halinde, radyasyon yasasını nihayet türetebilecek, böylece h ve k teorik sabitleri için sayısal değerleri hesaplamak üzere kara cisim verilerini kullanabilecekti.

Planck'ın radyasyon yasasına varmak için izlediği teorik yol, Alman Fizik Derneği'ne 1900 sonlarında sunduğu kısa rapora göre özetle böyleydi. Planck kopardı için uğraştığı teorik meyvenin, yani radyasyonun maddeyle etkileşimine ilişkin bir genel teorisinin sonunda avcunda olduğu umudunu besliyordu. Ancak bu meyveye ulaşmak için pek de sağlam olmayan bir teorik dala binip elini uzatmayı göze aldığı bilincinde olmanın sıkıntısı içindeydi. Boltzmann'ın istatistiksel entropi hesaplamasından, hâlâ tartışmalı bir yaklaşımdan yararlanmıştı. Üstelik Boltzmann tekniğini günümüz yorumcularının tartışmaya açık saydığı yollarla biraz değiştirmişti. Kuantum teorisi tarihinin en son vakanüvislerinden Abraham Pais, Boltzmann metodundan Planck'ın yaptığı uyarılmanın “çılğınca” olduğunu söyler.

Daha da büyük çılgınlık, Planck'ın istatistiksel savı geliştirirken ε enerji elemanlarını kullanmasıydı. İzlediği prosedür enerjinin, en azından maddi rezonatörlerde bulunan ısı enerjisinin ε niceliklerinde somutlaşan için ve indirgenemez bir tanelilik taşıdığı varsayımını gerekli kılmaktaydı. Klasik fiziğin genel kabul gören literatüründe bu fikri en ufak bir biçimde doğrulayacak tek bir şey bile yoktu. Planck'ın da daha önceleri herkes kadar sadakatle bağlı olduğu yerleşik öğretisi, her türden enerjinin bir kesintisizlik içinde varolduğu yönündeydi. Buna göre bir rezonatör ya da başka bir şey enerjisini değiştirdiğinde, bunu Planck'ın tablosunda öngöröldüğü gibi kesintili paketler halinde değil, sürekli değerler yoluyla yapardı.

Boltzmann'ın uygulamasında, enerjiyi parçacığa benzer küçük elemanlara dağıtma tekniği olasılıkları bulmaya yönelik basit bir hesaplama hilesinden ibaretti. Sonuç olarak, Boltzmann enerji elemanlarının çok küçük olduğunu varsayarak kesintisizliği yeniden yerine oturtmayı başarmıştı. Haliyle Planck da aynı stratejiden yararlanarak klasik kesintisizlik öğretisiyle çatışmaktan kaçınmayı umu-

yordu. Ne var ki, onu şaşkına çeviren bir gelişmeyle, teorisi elemanların keyfe ke-
der biçimde küçükmüş gibi varsayılmasına olanak vermiyordu. Denklem (2)'de-
ki h sabitine bir sıfır değeri vermek mümkün değildi.

Planck talihsiz h 'nin ve öngördüğü enerji yapısının matematiksel savının gereksiz yapıntıları olduğu ve daha ileri teorik çalışmaların daha az çarpıcı var-
sayımlarla istediği sonucu getireceği umudu içindeydi. Yaklaşık sekiz yıl boyun-
ca, klasik bakış açısının eninde sonunda üstün çıkacağı inancını ısrarla sürdür-
dü. "Bir şekilde h [sabitini] klasik teorisinin çerçevesine kaynak etmeye [çalıştı].
Ancak sabit, bu tür girişimlere inatla karşı koydu." Sonunda Planck eski fizikten
yeni fiziği türetme uğraşlarının, ne yaparsa yapsın, boşa çıktığını kavradı. Ancak
ona göre bu başarısızlık "tam anlamıyla aydınlanmaydı. ... Işın doğrusu şu ki
[enerji elemanlarının] ... fizikte ilk başta içime doğan kuşkuyla sandığımdan çok
daha önemli bir rol oynadığını biliyordum artık ve bu kavrayış atom problemlerini
ele alışıta tamamen yeni analiz ve akıl yürütme metotlarını gündeme getirme
gereğini açıklıkla görmemi sağladı."

Her ne kadar h sabitinin fiziksel anlamı saklı kalsa da, Planck ona eşlik eden
 k sabitinden önemli fiziksel sonuçlar çıkarmada pek fazla sıkıntı yaşamadı. Boltz-
mann'ın ideal bir gazın entropisine ilişkin istatistiksel hesaplamasına başvurarak,
Avogadro sayısını, yani saf bir maddenin standart ya da mol miktarındaki mole-
kül sayısını hesaplamak için k 'nin değerini kullanmanın bir yolunu buldu. Bu he-
saplama o dönemde mevcut Avogadro sayısı değerlendirmelerinin hepsinden
çok daha iyiydi ama bu üstünlük ancak çok sonraları anlaşıldı. Planck'ın Avo-
gadro sayısına ilişkin değeri ayrıca bir elektrondaki elektrik yükünü hesaplama-
ya olanak vermekteydi ve bu sonuç da dönemin ölçümleriyle türetilen diğer de-
ğerlerden üstündü.

Bütün bu sonuçlar Planck için en az radyasyon yasasını türetmesi kadar
önemliydi. Teorisinin kara cisim radyasyonuna uygulamanın ötesine geçen çok
daha geniş bir anlam taşıdığının belirtileriydi bunlar. "Eğer teori bir biçimde doğ-
ruysa" diye yazmıştı Planck 1900 tarihli makalesinin sonunda, "bütün bu ilişki-
ler yalnızca yaklaşık olarak değil, mutlaka geçerli olmalıdır." Avogadro sayısını
ve elektron yükünü hesaplamada teorisinin sonunda "mutlak bir şey"in içyüzü-
nü yakaladığını sezebiliyordu.

Kısmen Planck'ın kimi zaman ikircimli çabaları, kısmen de yeni ve daha az
sakin bir bilimsel kuşağın çabaları sayesinde Planck'ın enerji kesintililiklerini
içeren teorisi sapa sağlam ayakta durdu. Ama tam benimsemeye giden yol uzun ve
dolambaçlı oldu. Terminolojinin gelişmesi bile yavaş bir süreç izledi. Planck'ın
enerji "eleman"ları zamanla enerji "kuantum"larına dönüştü, Latince'de nicelik
anlamına gelen bu yeni terim daha önce de Planck tarafından başka bir bağlam-
da kullanılmıştı. Planck'ın başka çalışmalarla kapsamı önemli ölçüde genişleyen
teorisinin resmen "kuantum teorisi" adıyla kendine özgü bir yer edinmesi aşağı yu-
karı 1910 yılını buldu.

Başka Bir Görüş

Planck'ın çalışmalarına ilişkin bu kabataslak yorum, uzun yıllardan beri bilim tarihçilerince benimsenmiştir. Hikâyedeki can alıcı evre Planck'ın kara cisim rezonatörlerine dağılmış enerji elemanlarının büyüklüğünü hesaplamaya yaran $\epsilon = h\nu$ denkleminde ulaşmasıdır. Enerji elemanlarının belirli bir büyüklük ve bölünemez bir nitelik taşımaları nedeniyle, bir rezonatör ancak ve ancak $0, \epsilon, 2\epsilon, 3\epsilon, \dots$ biçiminde enerjilere sahip olabilir. Her türlü enerji değişiminin kesintili olması gerekir, çünkü bir birimden daha düşük bir değişime olanak yoktur. Rezonatör enerjisi, günümüz terminolojisiyle belirtmek gerekirse, “kuantumlara ayrılmış” durumdadır.

Acaba Planck rezonatörler ve taşıdıkları enerji konusunda bu görüşü savunuyor muydu? Çoğu bilim tarihçisi böyle olduğunu varsayarken, Planck'ın ilk makalelerinde enerji kesintililiği kavramını benimsediğine dair hiç denecek kadar az bulguya rastlandığını belirten Thomas Kuhn bu anlayışa karşı çıkmıştır. Kendi görüşünü doğrulamak için Kuhn'un başvurduğu yol, Planck'ın rezonatör enerjilerinin kesintisiz değiştiği yolundaki klasik tablodan vazgeçmeksizin Boltzmann istatistiksel hesaplamasını nasıl kullandığını göstermektir. Ona göre, Planck bugün kabul edilen biçimiyle enerji kesintililiğine yer veren ikinci bir teoriyi formüle etmeye başladığı 1908'e kadar bu klasik görüşe bağlı kalmıştı. 1908'de yazılmış bir mektuptan yaptığı şu alıntı, Kuhn'un kanısınca Planck'ın enerji kesintililiğini ilk kabul edişidir: “Belirli bir eşik söz konusu: Rezonatör çok küçük kızıltırmalara hiç mi hiç karşılık vermez, daha büyüklerine karşılık verdiğinde ise, bunu ancak enerjinin $h\nu$ enerji elemanının bir entegral katı olacağı biçimde yapar, öyle ki enerjinin anlık değeri her zaman böyle bir entegral katıyla ifade edilir.”

Kuhn gözden geçirici bir yaklaşımla Planck'ın eserlerini okumasının Planck'ın büyüklüğünü azaltmadığını vurgular. Ona göre bu görüş “hiçbir biçimde Planck'ın katkısını yeniden değerlendirmeyi getirmez. Tam tersine, Planck'ın ünlü kara cisim dağılım yasasını türetmesini geçmişte sanıldığı kadar uyurgezer bir ilerleyiş olmaktan çıkarak fiziğe daha çok yaraşır hale getirir.”

Böylece Planck'ın buluşunun hikâyesi konusunda elimizde iki versiyon var. Ama belki de bir tercihte bulunmamıza gerek yok. Her iki versiyon da önemli olan noktayı öne çıkarıyor: Planck'ın gerek eski gerek yeni fiziğe bağlılığının yonunluğu. Aslında kuantumlara ayırma kavramını ister 1900'de, isterse sekiz yıl sonra kabul etmiş olsun, yeni teorini baştan biçimlendirerek klasik ilkelere tekrar sığdırmaya dönük olası her türlü çabayı göstermedikçe bununla hiçbir biçimde tatmin olmadığı açıktır. Devrimcilerin en gönülsüzü Planck'a, bu yabancı dünyaya gözü ilişen ilk kişi olma fırsatının verilmesi yaman bir ironiydi. Ne kendi inançlarına uygun geleneksel fiziğin yolunda gitme ne de yeni fizik diyarında açılarak onunla bütünleşme özgürlüğüne sahipti. Mizaç bakımından tutucuydu ve kader ona asi rolünü biçmişti. Planck'ın zekâsının ve tutarlılığının en iyi ölüsü bu rolü hakkıyla oynamış olmasıdır.

Einstein'ın Enerji Kuantumları (Fotonlar)

Planck'ın kuantum teorisıyla ilgili ilk makalelerini kavrayarak okuyabilen birkaç kişiden biri, Bern'deki kıdemli patent uzmanı Albert Einstein'dı. Enerji elemanları postulası, Einstein'a göre, "insanı altındaki toprak çekilip alınmışçasına, tutunup ayakta kalabileceği sağlam zeminden yoksun bırakacak kadar" sarımsı olsa bile, capcanlı ve gerçektir. Nitekim, "sağlam zemin" arayışı geri kalan ömrü boyunca Einstein'ı meşgul etti. Ama tatmin edici bir kavramsal temel bulamasa bile, Einstein kuantum teorisini Planck'ın çalışmalarını izleyen ikinci büyük adımı atma noktasına taşıyacak güçlü bir ilke bulmayı başardı. Kendi teorisini 1905'in "mucize yıl"ında yayımlanan makalelerin birinde ortaya koydu.

Planck, kuantum kavramını kullanmakta temkinliydi. Getireceği radikal sonuçları göz önünde tutan haklı nedenlerle, kuantumu gerçek bir varlık sayma konusunda duraksamıştı ve kara cisim fırınının içinde yer alan kısmen ışık, kısmen ısı radyasyonu biçimindeki radyasyon alanına ilişkin hiçbir çıkarsamada bulunmayacak kadar dikkatliydi. Sözü etti enerji kuantumları, fırının duvarlarındaki titreşen molekülere dayalı rezonatör modeline aitti. Einstein, 1905'teki makalelerinin birinde ve daha sonraki birkaç makalede, gerçek kuantumların varolduğu ve en azından bazı deneylerde ışık ve başka türden radyasyon alanlarının bileşenleri olarak bunlara rastlandığı yolundaki "iz sürdürücü" bakış açısını sundu. Kendi görüşünü şu karakteristik berrak ve cüretkâr anlatımla belirtti: "Burada göz önünde tutulması gereken varsayım uyarınca, bir ışık ışınının enerjisi ... gittikçe artan bir uzay boyunca kesintisiz dağılmaz, uzayda lokalleşmiş halde yer alan, bölünmeksizin hareket eden ve ancak tam birimler halinde üretilip emilebilen sonlu sayıda enerji kuantumundan oluşur."

Her ne kadar "iz sürdürücü" gibi kaçamak bir sığara sığınmış olsa da, Einstein'ın ortaya koyduğu tablo cazip sayılacak kadar basitti: Radyasyon alanlarında, özellikle ışıktaki yer alan enerji kesintisiz dağılmak yerine, parçacığa benzer varlıklar olarak lokalleşmiş halde yer alıyordu. Einstein bu radyasyon parçacıklarına "enerji kuantumları" adını verdi. Einstein'ın teorisinin değişen akıbetiyle çapraşıklılaşan modern kullanımda bunlara "fotonlar" denmektedir.

Einstein fotonlar kavramını bir ölçüde Planck'ın 1900 tarihli makalesindeki üslupla yazılmış bir dizi kısa ve akıllıca savla geliştirdi. Termodinamikten alınma entropi kavramı ve temel denklemler, bir kez daha kuantum alanına giden kapıyı açtı. Bir radyasyon alanına ilişkin entropi denklemleri, bu alanın çok, ama sonlu sayıda bağımsız parçacığı barındıran bir ideal gaz gibi görünmesini sağlar. Bu radyasyon parçacıklarının, yani modern jargondaki ifadeyle fotonların her biri, Planck'ın $h\nu$ enerji elemanlarından birinin verdiği enerji miktarını taşır ve burada ν artık bir radyasyon frekansını temsil eder. Eğer elimizde N foton varsa, toplam enerji şu olur:

$$E = Nh\nu \quad (3)$$

Einstein bu denklemden tıpkı ideal gaz gibi radyasyon alanının N kadar parçacık, yani foton barındırdığı ve tek bir fotonun enerjisinin

$$\varepsilon = \frac{E}{N} = h\nu$$

olduğu sonucunu çıkardı.

Hiç kuşku yok ki Einstein bu akıl yürütmeye inanmıştı ama dünyada onun inanışlarını paylaşan başka bir kimsenin olduğu kesin olarak söylenemezdi. Yıl 1905'ti. Planck'ın kuantum postulasına karşı genel tutum hâlâ onu gözardı etmekte ve Einstein bizzat Planck'ın on yıl daha yaşamayacağı bir adımı atarak, bunu ışığa ve diğer radyasyon biçimlerine uygulamıştı. Planck'ı ve Einstein'ın 1905 tarihli makalesini okuyan başkalarını tedirgin eden şey, parçacıklara ayrılmış ışık kavramının neredeyse bir yüzyıldan beri fizikçilerce hiç ciddiye alınmamış olmasıydı. O sıralarda ve 19. yüzyılın büyük bölümünde ağır basan optik teorisi, ışığı durgun suya atılmış bir taşın yarattığı dairesel dalgalarla belirli bir benzerlik taşıyan ve birbirlerini izleyen dalga cepheleri olarak tasarlamaktaydı. Thomas Young ve Augustin Fresnel'in 19. yüzyıl başlarındaki çalışmalarından beri, özel olarak hazırlanmış iki ışık demeti bir araya getirildiğinde ortaya çıkan çarpıcı ışık deseninin ve koyu şeritlerin ışık dalgalarıyla açıklanabileceği varsayılmıştı. Diğer optik fenomenler, özellikle kırılma ve ayrılma da dosdoğru bu dalga teorisiyle açıklanmaktaydı.

Young'ın ilk makalesinden yüz yıl kadar sonra, Albert Einstein bir zamanlar Newton'un ortaya attığı gözleme, yani ışığın bir parçacıklar sağanağı gibi davranabileceği gözlemine dönmenin iz sürdürücü bir değer taşıyabileceğini ileri sürece kadar atılgan bir tutum takındı. Kuantum postulasını kendine özgü bir yaklaşımla kullanırken ışık parçacıklarının varlığını saptamıştı. Daha da önemlisi, 1905 makalelerinin birinde deneysel sonuçların ışık parçacıklarının varlığına dair çarpıcı kanıtlar sunduğunu gösterdi; bu sonuçlar sarsılmaz gibi görünen dalga teorisinin ardında yatan daha önceki deneylerle şaşırtıcı bir tezat içindeydi.

Einstein'ın aktardığı en önemli deneysel kanıt, bir boşlukta hazırlanan saf bir metal yüzeyin üstüne morötesi ışık tutarak bir elektrik akımının yaratılmasına dayanan "fotoelektrik etki"yle ilgiliydi. Philipp Lenard 1890'ların sonlarında ve 1900'lerin başlarında bu fotoelektrik akımını incelemişti. (Bu kişi daha sonraları Einstein'a karşı kudurmuşça bir anti-Semitik nefret besleyen ve Einstein'ın sonunda Almanya'dan sürülmesine yol açacak kampanyayı hararetle destekleyen Lenard'ın ta kendisiydi.) İncelemelerin ortaya koyduğu sonuç, aydınlatılmış "hedef" metal tarafından salınan akımın kinetik enerjileri tam olarak ölçülebilen elektronlardan oluştuğu ve salınan elektronların enerjilerini metal yüzeyde parlayan ışık demetinden aldığıydı. Klasik bakış açısı, yani ışık dalgalarının metal yüzeyi tıpkı okyanus dalgaları dövdüğü ve elektronların tıpkı çakıl taşları gibi kumsala dağıldığı görüşü benimsenirse, aydınlatma daha şiddetli olduğunda, yani dalgalar daha büyük toplam enerjiyle çarptığında her elektronun daha fazla enerji aldığını varsaymak zorunlu gibi görünür. Oysa Lenard'ın saptadığı şey bu değildi. 1902'de Lenard metal yüzeyden bir saniye içinde ayrılan toplam elekt-

ron sayısının aydınlatma şiddetiyle orantılı olarak artmasına karşın, tek tek elektron enerjilerinin ışık şiddetinden bağımsız olduğunu belirledi.

Einstein, deneydeki aydınlatmanın parçacığa benzer fotonların bir derlemesi olarak anlaşılması halinde, fotoelektrik etkinin bu kafa karıştırıcı özelliğinin kavranabileceğini gösterdi. Fotonlardan gelen enerjiyi metalin elektronlarına aktarmak için basit bir mekanizma önerdi: "Bağlı ışığın $h\nu$ büyüklüğündeki [fotonlardan] oluştuğu anlayışı uyarınca ... ışığın elektronları fırlatmasını şöyle kavrayabiliriz. [Fotonlar] cismin [metalini] yüzey katmanına sızar ve enerjileri en azından kısmen elektronların kinetik enerjisine dönüşür. Bunu gözümüzde canlandırmanın en basit yolu, bir [fotonun] bütün enerjisini tek elektrona verdiğini düşünmektir; olup bitenin bu olduğunu varsaymak durumundayız."

Her foton, ölçülebilir bir şey yapması halinde, bir elektron tarafından kapılır ve bütün enerjisini o elektrona aktarır. Bir fotonu kapan ve onun özgün enerjisini kendi kinetik enerjisi olarak alıp götüren bir elektron, daha sonra metalden ayrılma yolunu bulmaya çalışır ve ölçülen fotoelektrik akıma katkıda bulunur. Metaldeki atom kalabalığı içinde etrafı itekleyerek kendisine yol açtığında enerji kaybeder; bu nedenle metal yüzeyden çıkarken kapmış olduğu enerjiden metal içinde kaybetmiş olduğu enerjinin çıkarılmasıyla ortaya çıkan tutarda enerjiyi taşır. Metalin bir elektrondan aşındırdığı enerjiye P denirse, fotonun kapılan özgün enerjisi, yani başlangıçta elektrona aktarılan enerji Planck'ın $h\nu$ terimiyle ifade edilirse (burada ν artık aydınlatıcı morötesi ışığın frekansıdır) ve fotoelektrik süreçte enerji korunursa, hedeften çıkan bir elektronun E enerjisi şu biçimde yazılabilir:

$$E = h\nu - P \quad (4)$$

Einstein'ın elektronların metal hedeflerden tek foton-elektron karşılaşmaları halinde dışarıya toslandığını öngören tablosu, Lenard'ın saptamış olduğu anomaliyi kolayca açıklar. Her etkileşim, ışık şiddetinden bağımsız olarak, fotondan elektrona aynı enerji akımına yol açar. Dolayısıyla metal hedefin belirli bir kısmından gelme fotoelektrik akıma katılan elektronlar aynı enerjiyi taşır. Bir saniye içinde metale çarpan fotonların yalnızca bir tane ya da çok sayıda olması durumu değiştirmez. Hayranlık duyulacak kadar basit olmasına rağmen, bu açıklama Einstein'ın kuşkucu okurlarına diğer savları kadar uçuk görünmüş olmalıdır herhalde. Tek fotonun tek elektron tarafından kapılması kuralı, İngiliz teorisyen James Jeans'in belirttiği gibi, "yalnızca tek taşla iki kuşun vurulmasının değil, iki taşla tek kuşun vurulmasının da önünü keser."

Einstein'ın foton teorisi, fizikte başardığı diğer şeylerle karşılaştırıldığında, çok daha büyük güvensizliğe ve kuşkuculuğa maruz kaldı. Günümüzün standart terimi "foton" ancak 1926'da Gilbert Lewis tarafından ortaya kondu. Einstein'ın sırf hayal ve sezgi gücünü çalıştırarak bariz olarak gördüğü şey, yirmi yıl sonra hâlâ ciddi biçimde tartışma konusu yapılıyordu. Fotonların kuantum teorisi dünyasında kalıcı bir yer kazanması ancak dağ kadar kanıtın yığılmasıyla mümkün oldu.

Einstein'ın kuantum diyarında cüretkâr keşif gezilerine çıkmaya başladığı sıralarda, Planck kendi teorisinin başta gelen muarızı olma yolunda ilerliyordu. Planck'ın kuantum teorisini kurma işinin Einstein'a ve yeni bir kuşağa geçmesi ne pek esef etmediği, hatta belki de sevindiği söylenebilir. İleri yaşlarında kişisel ironi duygusundan yoksun bir ifadeyle şunu yazacaktı: “Yeni bir bilimsel doğru, hasımlarını ikna ederek ve ışığı görmelerini sağlayarak zafere ulaşmaz, daha çok ... doğruya aşına yeni bir kuşağın yetişmesiyle olur bu.”

En Büyük Kazanç

Planck vicdanına göre hareket eden biriydi. En son biyografisini yazan John Heilbron bunu şöyle ifade eder: “Gerek duyduğu tek pusula temiz vicdanıydı.” Birçok alanda zafer ve trajediyi yaşadığı hayatı boyunca bu pusula rehberlik etti ona. Sadık bir aile erkeği, usta bir konuşmacı, yetenekli bir müzisyen, yorulmaz bir dağcı, sağlam bir idareci, genç meslektaşlarının saygı duyduğu bir akıl hocası ve herkes için bir ilham kaynağıydı. Kişiliğiyle ve geçmişiyile neredeyse tam karşı kutbunu oluşturan Einstein, Berlin'de bulunmaktan hoşlanmasının nedenlerini Max Born'a sayarken, sözlerini şöyle bağlamıştı: “Ama en başta geleni şu: Planck'a yakın almak bir keyiftir.”

Planck en mutlu anlarını ailesiyle birlikteyken yaşırdı. “Her şeyi bir tarafa bırakmak ve tamamen aile içinde yaşamak ne kadar harika” diye yazmıştı. İkinci karısı Marga'nın görüşü de şöyle: “En insanca niteliklerini ancak aile içinde sergilerdi.” Planck 1909'de ölen ilk karısı Marie'yle birlikte, Karl ve Erwin adlı oğullarını, Emma ve Grete adlı ikiz kızlarını yetiştirdi. Yetenekli, kararlı ve utangaç bir kadın olan Lise Meitner, (o dönemde bir kadın için tamamen olanaksız denebilecek bir amaçla) fizik alanında bir kariyer yapmak üzere 1907'de Berlin'e yerleştikten sonra Planck'ın dostluğunu kazanmış ve aile içine alınmıştı. Onun Planck'a ilişkin bir anısı şöyle: “Planck keyifli, art niyetsiz muhabbetten hoşlanırdı ve evi bu tür sosyal buluşmaların bir odağıydı. İleri seviyede öğrenciler ve fizik asistanları düzenli olarak Wangenheim Caddesi'ndeki eve davet edilirdi. Davetler yaz sömestrine rastladığında, bahçede 'elim sende' oynardık. Planck bu oyunlara neredeyse çocukça bir tutkuyla ve müthiş bir atiklikle katılırdı. Ona yakanmamak neredeyse olanaksızdı.”

Ancak, hoş talih Planck'ın hayatında sürekli bir durum değildi. En büyük oğlu Karl, I. Dünya Savaşı'nda aldığı yaralar sonucunda öldü. Daha birkaç yıl geçmişti ki, ikiz kızlarından Grete doğum yaptıktan kısa bir süre sonra öldü. Bebek hayatta kaldı, diğer ikiz Emma çocuğun bakımını üstlendi, dul damatla evlendi ve aynı biçimde çocuk doğururken öldü. Planck bu kayıplar yüzünden helak oldu. İkizlerin ölümünden sonra, Hendrik Lorentz'e yazdığı bir mektupta şunu belirtiyordu: “Canım kadar sevdiğim her iki çocuğumun yasını acı bir hüznle tutuyorum şimdi. Elinden her şeyi alınmış ve beş parasız bırakılmış gibi hissediyorum kendimi. Hayatın yaşanmaya değer olup olmadığından kuşkuya düştüğüm anlar oldu.” Gene de teselli bulmak için muazzam iç ve dış kaynakları vardı. Çalışmalarına her zaman sığınabiliyordu. Yalnızca teorik fizik üzerine tek başına

yürüttüğü incelemeleri değil, üniversite hayatının ve güçlü Alman bilim akademilerinin, derneklerinin ve komitelerinin kamusal uğraşlarını da kapsıyordu bu çalışmalar.

Planck yetkin bir hocaydı. Viyana'dan gelen ve Boltzmann'ın sınıftaki çöküşü performansını bilen Meitner, ilk başlarda Planck'ın dersleri karşısında hayal kırıklığına uğramış ama çok geçmeden Planck'ın özel ve kamusal ortamlardaki üsluplarının farklılığını kavramıştı: "Planck'ın olağanüstü durulukla anlattığı dersler önceleri bana biraz ruhsuz, hatta yavan geldi. Ama ilk izleniminin Planck'ın kişiliğiyle pek uyuşmadığını çok çabuk anladım."

Planck İngiliz Kraliyet Bilim Derneği'nin Almanya'daki dengi sayılan Berlin Akademisi'nde, önde gelen fizik dergisi *Annalen der Physik*'in koruyucusu Alman Fizik Derneği'nde ve özel kaynakları araştırma enstitülerine aktarmak için kurulmuş Kayser Wilhelm Derneği'nde uzun yıllar etkili bir rol oynadı. "Emekliye" ayrılmasından üç yıl sonra, 1930'da Kayser Wilhelm Derneği'nin başkanlığına seçildi. Heilbron, ulaştığı bu en yüksek makamda Planck'ın "bakan ve milletvekilleriyle, ticaret, bankacılık ve sanayi erbabıyla, gazetecilerle, diplomatlarla ve yabancı ekâbirlerle" yakın ilişkiler içinde olduğunu belirtir. Planck artık "Alman bilimsel araştırmalarının sözcüsü" olarak biliniyordu. Öte yandan, Berlin Akademisi'nin başat üyeleri arasında yer aldı, Fizik Derneği'nde aktif çalışmalarına devam etti ve üniversitede bir ders dizisi verdi. Heilbron'un işaret ettiği gibi, "besbelli ki zamanını tam bir tutumlulukla kullanan biriydi."

Planck eğlenceye de bir biçimde zaman buluyordu ama hafifmeşrepliğe hiç kaçmadan. Mükemmel bir piyanistti, hatta bir ara müzik kariyeri yapmayı bile düşünmüştü. Müzik onun için duygusal bir deneyimdi. Schubert, Schumann ve Brahms gibi romantik bestecileri, Bach'ın entelektüel müziğine (Aziz Matta Pasyonu'nun bazı bölümleri dışında) yeğ tutardı. Müzikli akşamlar Planck konutunun değişmez bir unsuru. Planck'ın ünlü konser kemancı Joseph Joachim'e eşlik etmesi ya da Joachim ve Einstein'la üçlü müzik çalması sık yaşanan bir olaydı. Bedensel dinlenme yolu olarak seçtiği dağcılığı "hiç durmaksızın ya da konuşmaksızın ve konforlu ya da özel bir Alp barınağını kullanmaksızın yaptığını" yazar Heilbron. Dağlarda geçirdiği bir günden en az bir Brahms senfonisi kadar haz alırdı.

Planck yaklaşık doksan yıl yaşadı. İki dünya savaşına, iki Reich rejimine ve Weimar Cumhuriyeti'ne tanık oldu. Oluşmasına katkıda bulunduğu büyük Alman bilim çevresinin, Nazi yönetimi altında anti-Semitik ırkçı siyasetlerle ve başka çılgınlıklarla yok edildiğini gördü. Naziler'in yaptıklarını hiçbir biçimde onaylamamasına karşın, bütün olup bitenlerin atlatılmasından sonra kalan parçaları derleyip toparlama umuduyla Almanya'da kalma yolunu seçti. Bir hava akını sırasında kıl payıyla ölümden kurtuldu ve Berlin banliyölerinden Grunewald'deki evi hasar gördü. Bütün bu olaylar sırasında geleceğe dönük umudunu hiç elden bırakmadı. Ama daha kötüsünü de görecekli.

Şubat 1944'te Grunewald yoğun bir hava akını sırasında yerle bir edildi. Planck'ın evi yıkıldı ve yanında kütüphanesi, mektupları ve günlükleri de yok

olup gitti. Bir yıl kadar sonra, ilk evliliğinden hayatta kalmış tek oğlu Erwin, Hitler'e yönelik bir komploya karıştığı gerekçesiyle idam edildi. "Varlığımın değerli bir parçasıydı" diye belirtiyordu iki yeğenine yazdığı bir mektupta. "O benim günışığımdı, gururumdu, umudumdu. Onunla birlikte neler kaybettiğimi hiçbir söz anlatamaz."

İleri yaşlarında şöyle yazmıştı: "Mutlak bir güvenceyle sahip çıkabileceğimiz tek şey, dünyadaki hiçbir gücün bizden alamayacağı ve bize her şeyden fazla kalıcı mutluluk verebilecek en büyük kazanç ruh dürüstlüğüdür; kesin bilimin yapısını kurmada işbirliğine girme kısmetine erişmiş olan kişi, doyumunu ve iç mutluluğunu, büyük şairimiz Goethe'yle birlikte, araştırılabilir olanı araştırdığını ve araştırılabilir olmayana sessizce hürmet ettiğini bilmekte bulacaktır." Son ibarenin bir uyarlaması olan "Araştırılabilir olanı araştırdı ve araştırılabilir olmayana sessizce hürmet etti" sözleri pekâlâ Max Planck'ın mezar kitabesi olabilirdi.

Sohbetli Bilim

Niels Bohr



Selam Sana Niels Bohr

Kuantum teorisi bir gecede başarıya ulaşmadı. Tarihçesinin ilk on yılında ikircimli bir kabul gördü ve uygulayıcıları çok sınırlı kaldı. 1910'a varıldığında, Planck postulları az çok benimsenmişti ama uygulama büyük ölçüde radyasyona ve katı duruma ilişkin problemlere dönüktü. Atomlar ve moleküller alanına pek girilmemişti. Bir genel kuantum fiziği formüle etme yönünde bir hareket yoktu.

Derken 1913 yazında *Philosophical Magazine*'de gidişata yeni bir yön veren makaleler dizisinin ilki çıktı. Makalenin yazarı Niels Bohr, az rastlanır kişiliğe sahip ve yirmi altı yaşında Danimarkalı bir fizikçiydi. Bohr'un teorisi Planck postulları ile Kepler ve Newton'un klasik mekaniğinin dikkatle harmanlanmış bir bileşimi temelinde atomların, özellikle de hidrojen atomlarının davranışını açıklamaktaydı. Bohr bu teoriyi elektriksel yoldan kızıltırılan hidrojen gazının saldı-ğı harikulade tayf desenlerine çarpıcı bir başarıyla uyguladı. (Başvurulan fiziksel aygıt günümüzde neon ışıklandırmasında kullanılaben benziyordu.) Dönemin fizikçileri için inanılmaz bir atılımdı bu. Spektroskopi uzmanları, yani atomların ve moleküllerin saldı-ğı ışık dalga boylarındaki (tayflarındaki) aykırılıkları inceleyen deneyciler çalışmalarını uzun süreden beri bulunacağından artık umutlarını kestikleri bir teoriden yoksun olarak yürütmüşlerdi. Bohr'un makaleleri spektroskopiye ve ayrıca kuantum teorisine yeni bir umut getirdi.

Bu alanda Bohr'un oynadı-ğı rol bir ölçüde şans eseri idi. Kuantum teorisi 1913'te öylesine bir endama ulaşmıştı ki, atom fiziği için taşıdı-ğı değer artık gözardı edilemezdi. Bununla birlikte Bohr'un soyundu-ğı iş hiç de basit bir alıştı-

ma değildi. Klasik fiziğin ve kuantum fiziğinin işe yarar bir bileşimini geliştirmek için büyük çapta beceriye ve sezgi gücüne gerek vardı. Einstein benzer fikirler taşıdığını “ama bunları geliştirmeye yüreğinin yetmediğini” belirtmişti. Ona göre, Bohr’un kuantum teorisince sağlanan “kaypak ve çelişkili temel”i atom problemlerine duyarlılıkla uygulaması bir mucizeydi, “düşünce alanındaki musikin en yüksek biçimiydi.”

Bohr teorik şaheserler yaratmanın ötesinde bir iş başardı. Kopenhag’da teorik ve deneysel fiziğe yönelik büyük bir okulu neredeyse tek başına kurdu. Bohr Enstitüsü (resmi adıyla Teorik Fizik Üniversite Enstitüsü) 3 Mart 1921’de faaliyete geçti ve çok kısa bir sürede genç Alman, İngiliz, Rus, Hollandalı, Macar, Hintli, İsveçli ve Amerikalı fizikçilerden oluşan olağanüstü bir topluluk için çekim merkezi haline geldi. Bohr akademik kadroların sınırlı ve teorik fizikçilerin tıpkı zanaatkarlar gibi fakir olduğu bir dönemde onlara barınacakları ve çalışacakları bir yer sundu.

Enstitüdeki faaliyetler arif bir çevreden her zaman beklenecek türden değildi: Kütüphanede pinpon oynamak, kızları dikizlemek ve kovboy filmleri izlemek gözde meşgalelerdi. Ama gevşek gibi görünen bu ortamda bir yığın zahmetli ve parlak iş yapıldı. Bohr Enstitüsü’nün konukları arasında Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Paul Dirac, Lev Landau, Felix Bloch, Edward Teller, George Gamow ve Walter Heitler vardı: Bu adlar ve başardıkları işler kritik öneme sahip 1920’li ve 1930’lu yıllarda kuantum fiziği alanında neler olup bittiğini epeyce açıklar niteliktedir. Robert Oppenheimer bu dönemden ve Bohr’un vazgeçilmez rolünden şöyle söz eder: “Destansı bir zamandı. Tek bir kişinin marifetiyle olmadı bu; birçok farklı memleketten gelmiş bir sürü bilimcinin işbirliği söz konusuydu. Yine de başından sonuna kadar girişimi yönlendiren, dizginleyen ve sonunda kalıba döken Niels Bohr’un yaratıcı ve eleştirel derin ruhuydu.”

Bohr böylesine etkili bir kişiden beklenecek karakter özelliklerinin çok azına sahipti. Dersleri “gerek akustik gerek başka yönlerden tam anlaşılır” olmaktan uzaktı. Olağanüstü titiz bir çabaya rağmen, makaleleri ve kitapları çoğu kez tekrarlarla doluydu ve muğlaktı. Herkesçe bilinen konularda bıkip usanmadan sorular yöneltmesiyle ilgili anekdotlar ortalıkta dolaşırdı. Fıkra dağırdığı hiçbir zaman yarım düzineyi sınırını geçmezdi. Bununla birlikte kişiliği güçlü ve içe işleyiciydi. Yumuşak bir dolaysızlık ve içtenlik taşıyan konuşma tarzıyla öğrencilerini, meslektaşlarını ve devlet başkanlarını aynı biçimde etkilerdi. Çalışma arkadaşlarından Leon Rosenfeld, Kopenhag’a akın eden ziyaretçilere ilişkin şöyle bir saptamada bulunmuştu: “Neymiş şu bilim adamı diye gelirler ama tam dünyevi anlamıyla adamı bulurlar karşılarında.”

Bohr’un yüce gönüllülüğü dikkate değer bir karşılık gördü. Anlaşıldığı kadarıyla yanında insanlar olmadan yaratıcı biçimde düşünemeyen biriydi o. Bütün meslek hayatı boyunca bilimsel fikirlerini küçük ve eleştirel dinleyici topluluklarıyla sohbet ederek tasarladı, biçimlendirdi ve son hale getirdi. Bunlar çoğunlukla o an enstitüde hazır bulunanlar arasından seçtiği kişilerdi. Düşünceleri canlı bir varoluşa öylesine yatkındı ki, hiçbir aşamada yaratma süreci bir insan mi-

hengi olmaksızın ilerleyemezdi. Makaleleri ve ders notları kırırdak, fırdöndü dikte ettirme oturumlarıyla yazıya geçirilirdi. Asistanlarından Oskar Klein, onun bir dersin notlarını nasıl kotardığına dair şöyle bir sahneyi aktarır bize: “Önümde biraz yazı kâğıdı ve kurşunkalemle bir masaya oturtulurdum. Masanın etrafında dolanan Bohr, kâh İngilizce cümleler yazdırır, kâh Danca açıklamalarda bulunur, ben de bunları İngilizce olarak kâğıda dökmeye çalışırdım. Kimi zaman daha sonra söyleyeceklerine kafa yorduğu ya da aklından geçen tema dışı bir şeyleri bana anlatmaya kalkıştığı için araya uzun kesintiler girerdi. ... Ayrıca çalışmamız kısa koşu turlarına çıkması ya da ailesiyle birlikte yüzmek üzere bisikletle sahile inmesi yüzünden de sıkça kesintiye uğrardı.”

Bohr'un bir makaleyi kusursuz hale getirme yönündeki enerjisi ve direşkenliği neredeyse insanüstüydü. Her kelime, cümle, kavram ve denklem mutlaka gözden geçirilip düzeltilirdi. Sonu gelmeyecek gibi görünen (ve sonuncusu muhtemelen matbaacının prova sayfalarında yer alan) beş ya da altı taslaktan sonra, Bohr yanından hiç ayırmadığı yazıcılarıyla birlikte enstitünün sakin bir köşesine çekilirdi ve didişme orada devam ederdi. Sonunda, inanılmaz bir gelişmeyle, Bohr tatmin olurdu. Her zaman sempatik olmasa bile değerli bir eleştirmen olarak verdiği hizmetlerden dolayı sıkça Kopenhag'a çağrılan Wolfgang Pauli, bu davetlerin birine şöyle cevap vermişti: “Eğer son prova gönderilecekse, söyleyin de ona göre geleyim bari.”

Bohr berraklık konusundaki amansız ısrarıyla ve maraton sohbetlerde tatlı dille başkalarının ağzından eleştiriler koparmadaki üstün maharetiyle, kuantum fiziğindeki en zorlu problemlerden bazılarının inceliklerine kadar inmeyi başarırdı. Bunlar arasında kavramsal ve felsefi nitelikte problemler de vardı. Savları cüretkârı ve öyle kolayca üstüne gidilemeyecek bir yetkinlik taşırdı. Kuantum teorisine, özellikle de içerdiği paradokslara ilişkin yorumu, Einstein'ın bakış açısıyla ters düşer ve çoğu kez çelişirdi. 1927'deki bir Solvay konferansında başlamak ve yirmi yıl sürmek üzere, Bohr ve Einstein kuantum fiziğinin anlamı konusunda dostça bir tartışma yürüttüler. Einstein atomlara ve moleküllere dayalı mikro dünyanın belirli olduğunu öne süren Bohr'un bu vargısını asla kabul etmez ve onun gerekçelerini boşa çıkarmak için elinden gelen her şeyi yapardı. Ama Bohr, her zaman Einstein'ın eleştirilerine bir cevap bulurdu ve savları üstün çıkardı.

Bu kitapta hikâyeleri anlatılan diğer bazı fizikçiler gibi, Bohr da imrenilecek bir ideal evlilik yaptı. Margrethe Norlund Bohr cana yakın ve zeki bir kadın, becerikli bir idareci ve ev sahibesiydi. Bohr çiftinin altı oğlu oldu. Bunlardan ikisi daha çocukken öldü ve en büyükleri Christian da bir tekne kazasında boğuldu. Karı koca 1932'den sonra, Danimarka'nın birinci yurttaşı için inşa edilmiş Carlsberg “Onur Evi”nde kaldı. Rosenfeld bu çapraşık varoluşta Margrethe'nin hayati yerini şöyle anlatır bize: “Margrethe'nin rolü hiç de kolay değildi. Bohr hassas bir mizaca sahipti, sevecen ve anlayışlı bir uyarıcılığa sürekli gerek duyardı. Çocuklar geldiği zaman ... aile reisliği görevini çok ciddiye alırdı. Karısı ev sahibeliği konumuna pek zorlanmaksızın ayak uydururdu ve Bohr evindeki akşamlar sıcak dostluğun ve neşe saçan sohbetin damgasını taşırdı.”

Bohr Nobel Ödülü kazandı. ABD başkanlarından Roosevelt ile Truman'a, İngiltere başbakanı Churchill'e danışmanlık yaptı, fizik dünyasının her köşesinde tanınan bir sima haline geldi. Hayatı, kişiliği ve özlemleri efsaneleşti. Yirminci yüzyıl bilimcileri arasında yalnızca Einstein ve Marie Curie böylesine bir şöret düzeyine ulaşabildi. Ama her şeyden önce Bohr'un yeri dalgacı ama işine bağlı ve hünarlı enstitü üyelerinin yanındaydı. Tek derdi onların eleştirilerinden yararlanmak ve takılmalarının keyfini çıkarmaktı:

Selam sana Niels Bohr saygıdeğer milletlerden!
 Bize yol gösteren efendimizin sen, .
 Huşu duyarız şifreli ve mağrur tespitlerinden,
 Hepimizde vardır az buçuk çatlaklık,
 –Yine de buluruz her sözünde bir gerçek,
 –Haddimize mi düşmüş sana kış demek,
 Yutarız teorilerini baştan sona kadar,
 –Kusurumuza bakmasın ama-
 (Haydi içelim onun şerefine,
 –Maşrapalar çınlasın hep birlikte!)

Tek bir kelime çakmayız söylediklerinden!

Bohr-Rutherford Atomu

Niels Bohr'un kariyerine “dünyanın dört bir yanından gelerek ‘harika adam’ın enerjik ve ilham verici nüfuzu altında hep birlikte şen şakrak çalışan karakterlerle dolu” bir laboratuarda pratisyen bir fizikçi olarak başlamış olması hiç kuşkusuz önemliydi. Bohr'un çıraklığının geçtiği bu laboratuardaki “harika adam”, çevresindeki kişilerce “Baba” ya da “Prof” olarak anılan ve bize atom çekirdeği kavramını kazandıran Ernest Rutherford'du. Sonradan İngiltere'ye yerleşmiş Yeni Zelandalı bir bilim adamı olan Rutherford, nükleer fiziğin en yaratıcı ve sonrakı gelişmeler ışığında en masum ve en mutlu denebilecek yıllarında bu bilim dalının sorumluluğunu üstlendi.

Atom çekirdeği pozitif bir yük ve atom kütesinin çoğunu taşıyan yaklaşık 10^{-13} santimetre çapında bir parçacıktır. Yaklaşık 10^{-8} santimetrelilik bir toplam atom yarıçapı içinde dolanan dengeleyici bir negatif yükü çevrilidir. Bir başka deyişle, atom kendi çekirdeğinden yüz binlerce kat daha büyüktür. Atom içindeki çekirdek, Rutherford'un attığı temeller üzerinde nükleer fiziğin kurulmasına katkıda bulunan Ernest Lawrence'ın deyişiyle, boyut olarak “bir katedral içindeki sinek” gibidir. (Ama inanılmaz ölçüde lök bir sinektir bu, katedralden birkaç bin kat daha ağırdır.)

Rutherford atom modelini, daha sonraları “Geiger sayacı”yla ünlenen ve Rutherford'un yanındaki deneycilerin en yeteneklileri arasında yer alan Hans Geiger ile genç bir öğrenci olan Ernest Marsden'in 1913'te yayımladığı devasa deneyler dizisindeki kanıtlara dayanarak geliştirdi. Geiger ve Marsden alfa parçacıklarının (radyoaktif maddelerle üretilen helyum iyonlarının) saçılışını ince me-

tal yapraklarla gözlemlemişlerdi. Alfa parçacıklarının çoğu, beklendiği gibi, ince yaprakların içinden çok az saparak ya da hiç sapsmadan geçiyordu ama birkaçının izlediği yol köklü biçimde değişikliğe uğruyordu ve metal yapraktaki çok küçük, çok yoğun bir şeye çarpmış gibi bir izlenim veriyordu-ışte Rutherford'un modelindeki atom çekirdekleriydi bunlar.

Bohr nükleer atomun henüz yeni belirmeye 1912'de Manchester Üniversitesi'ndeki Rutherford ve "kabile"sine katıldı. (Daha önce de Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda J. J. Thomson'ın yanında kısa bir süre çalışmıştı. Bohr'un yetersiz İngilizce'sinin ve eleştirel tartışmalarda her zaman incelik taşımayan ısrarcılığının, bilimsel konularda her nedense mesafeli davranmaya eğilimli olan Thomson'ı soğuk bir tavra yöneltmiş olmalıdır herhalde.) Manchester laboratuvarı ve başındaki kişi Bohr'un zevkine daha uygundu: "Rutherford insanın güvenebileceği bir adam, düzenli biçimde uğrayarak işlerin nasıl gittiğini yokluyor ve en ufak ayrıntıları bile konuşuyor, işte Rutherford böylesine olağanüstü bir adam ve çevresindeki kişilerin çalışmalarına gerçekten ilgi duyuyor" diye yazmıştı erkek kardeşi Harald'a. Her ne kadar Bohr bir teorisyen, yani Rutherford muhitinde pek hoş karşılanmayan bir fizikçi cinsi belirtileri göstermiş olsa da, kabiliyetiyle, aşîkâr samimiyetiyle, yapmacıklıktan uzaklığıyla -ve de daha önce futbolcu olarak kazandığı şöhretle- derhal Rutherford üzerinde olumlu izlenim bıraktığı anlaşılıyor: "Bohr farklı. O bir futbolcu!"

Bohr nükleer atom modeline hayran kaldı, bunun nedeni yalnızca Geiger-Marsden metal yaprak deneylerini açıklamadaki çarpıcı başarısı değil, aynı zamanda en bariz aksaklığıydı. Nükleer atomun hiçbir basit versiyonunun normalde atomların taşıdığı sonsuz kararlılığı gösteremeyeceği apaçıktı. Örneğin, çekirdeği çevreleyen negatif elektriği çekirdek etrafında gezegenimsi yörüngeler içinde hareket eden elektronlar olarak tasarlamak akla uygun görünmekteydi. Ancak, yörüngeler içinde dolanan elektronların bir radyo anteninde dolanan ya da salınan elektriksel yük gibi davranması ve dolayısıyla yörüngesel elektronlar barındıran bir atomun tıpkı anten gibi sürekli enerji yayması gerekirdi. Bu durumda elektronların er ya da geç çekirdeğe çarparak atomu yok etmesi gerekirdi.

Klasik elektrodinamik teorisi uyarınca Rutherford'un nükleer atomu için öngörülen olağandışı akıbet işte böyleydi. Ancak atomların kendi içlerinde çökmelerine bağlı bu problem, bizzat çekirdeğe karşı bir itiraz getirmiyordu: Geiger-Marsden metal yaprak deneyleri Rutherford'un çekirdek tasarımının doğru olduğuna hiçbir şüphe bırakmıyordu. Çözülmesi gereken ve Geiger-Marsden verilerinin hiçbir ipucu sunmadığı esrar, çekirdeği çevreleyen elektronların konumuyla ilgiliydi.

Bohr'a ve ondan önce probleme kafa yormuş birkaç kişiye göre, atomlar içinde nasıl bir yerleşim düzeni içinde olurlarsa olsunlar, elektronların radyo antenlerine ve makro dünyadaki başka nesnelere özgü yasalardan köklü biçimde farklı fizik yasalarına uymak zorunda olduğu apaçıktı. Bohr atomun yapısına ilişkin "Atomların ve Moleküllerin Doğası" başlıklı ilk makalesinde "klasik elekt-

rodinamiğin atom büyüklüğündeki sistemlerin davranışlarını açıklamadaki yetersizliklerini genel olarak kabul etme gereği"ne işaret etti.

Peki ama yalnızca makroskobik alanda uygulanıp test edilmiş klasik teorelin enerji yaymayan atom elektronları etrafında bir esrar yaratmasına, üstelik bu alanda geçerli olduğuna inanmak için bir neden yokken, niçin izin verelim? Neden klasik teoriye bağlı kalalım ve atomlardaki elektronların enerji yayması gerektiğini varsayalım? Bohr'un teorisinin başardığı en önemli işlerden biri, elektronların "bekleme yerleri" ya da "durağan durumları" olduğu, bu durumlarda elektronların enerji yaymak yerine sabit, kararlı enerji taşıdığı varsayımını ortaya atmasıydı. Bohr'un 1913-1915 arasında yayımlanan beş uzun makale boyunca yeni baştan irdelediği ve ifade ettiği bu postula sonunda şöyle bir saptamayabüründü: "Bir atom sistemi hiçbir enerji salımının meydana gelmediği bir dizi durumu barındırır; parçacıkların birbirlerine göre hareketli olması ve olağan elektrodinamik açısından böyle bir salımın beklenmesi halinde bile geçerlidir bu. Böyle durumlar söz konusu sistemin 'durağan' durumları olarak ifade edilir."

Bohr'un durağan durumlar kısıtlamasına uygun olarak bir atomun çevresinde hareket eden elektronlar nasıl açıklanabilirdi? Tıpkı Planck gibi, Bohr da klasik fiziğin mümkün olduğu kadar korunması gerektiği kanısındaydı. Yörüngedeki elektronların enerji yayması gerektiği yolundaki güçlüğü klasik elektrodinamiğin yaratmasına karşın, gezegenlerin yörüngesel hareketini düzenleyen klasik mekanik yasalarını reddetmek için görünürde bir neden yoktu. Dolayısıyla Bohr durağan durumlardaki elektronların Newton ve Kepler mekanikince öngörülen dairesel ya da eliptik yörüngelerde hareket ettiğini tasarladı. Buna karşılık bir elektronun bir durağan durumdan bir başka durağan duruma geçtiğinde, bunu klasik mekanik yasalarının düzenlemediği kesintili bir "sıçrayış"la yaptığını öngördü. Böylece ikinci bir postula ortaya koydu: "Durağan durumlardaki sistemlerin dinamik dengesi her ne kadar olağan mekanik yasalarınca düzenlenirse de, bu yasalar bir durumdan ötekine geçişte geçerli değildir."

Bohr durağan durumlardan birini işgal eden bir elektronu karakterize etmek için, bu elektronun yörüngedeki E "bağlayıcı enerji"sini, yani elektronu bağlı olduğu atomdan ayırmak için gerekli enerjiyi ve ω dolanım frekansını, yani bir saniyede tamamlanan yörüngesel dolanım sayısını belirlemeyi uygun bir yol olduğu düşüncesine vardı. Böylece E ile ω 'yı değerleri kesin olarak ölçülmüş çeşitli sabitlerin bir bileşkesi olan R ile ilişkilendirerek şu klasik denklemi türetti:

$$E^3 = R\omega^2 \quad (1)$$

Şu anda incelediğimiz versiyonda, Bohr ikinci bir enerji-frekans bağlantısını, bilim tarihçileri John Heilbron ve Thomas Kuhn'un yerinde ifadesiyle, "mekanik ötesi buyruk" uyarınca ortaya atarak teorisini ustaca bir manevrayla kuantum bakiş açısına oturttu. Bohr'un ikinci denklemi şöyleydi:

$$E = n\hbar\omega \quad (2)$$

Burada E , daha önce olduğu gibi, bir elektronun bağlayıcı enerjisi, n ise “kuantum sayısı” denen ve daha sonra ele alacağımız bir pozitif tam sayı ve bir orantılılık faktörüdür. Bu denklem uyarınca, $n = 1, 2, 3, \dots$ olduğunda, bir atom elektron ancak ve ancak şu “kuantumlu” enerji değerlerini taşıyabilir:

$$E = \alpha h \omega, 2\alpha h \omega, 3\alpha h \omega, \dots$$

Bohr burada bir kara cisim fırınının duvarlarındaki atomların ancak kuantumlara ayrılmış enerjiler taşıyabileceği yolundaki Planck kuralıyla biçimsel analogi kurmaktaydı.

$$E = 0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots$$

Kuantum salıcı bir dinamik oluşum yapısındaki atom, ikinci ve köklü biçimde farklı bir Bohr frekans kuralıyla biçim aldı. Bu kural bir atomun daha yüksek E_1 enerjisine sahip bir durağan durumdan daha düşük E_2 enerjisine sahip bir durağan duruma $E_1 - E_2$ enerji değişimiyle sıçradığını ve ν frekansı Planck sabiti h 'ye göre enerji değişimiyle bağlantılı olan bir radyasyon saldıgını öngörüyordu:

$$E_1 - E_2 = h\nu \quad (3)$$

İlki bir elektronun dolanım frekansını, ikincisi ise bir radyasyon frekansını ifade eden ω ve ν frekansları Bohr'un teorisinde birbirinden ayrılmıştı. Normalde yürügedeki bir elektronun dolanım frekansına eşit bir frekansla radyasyon saçacağını öngören klasik teoriden köklü bir kopuştu bu.

Bohr'un teorisinde ω dolanım frekansı ile ν radyasyon frekansının *genelde* ayrı olmasına karşın, bu teori bir atomun boyut olarak *iyice* gerilip klasik bir nesne haline geldiği, böylece olağan bir radyo anteni gibi davranarak elektron dolanım frekanslarına eşdeğer frekanslar saldıgı abartılı duruma da gerçekten olanak vermekteydi. Bu özel durumda, $\omega = \nu$ olur ve kuantuma özgü teorik yasalar klasik yasalarla kaynaşır.

Kuantum ve klasik fizik alanlarını birbirine bağlayan, Bohr'un deyişiyle “denk” hale getiren teorik araç, Bohr'un en değerli ve özellikle gurur duyduğu katkılardan biriydi. Bohr'un kuantum teorisi üzerine çalışmalarının büyük bir bölümünde kullandığı bu “denklik ilkesi”, sonunda Werner Heisenberg'in yarattığı kuantum mekaniğinde bir köşe taşı haline geldi.

Denklem (1) ve denklem (2) ω 'yı bertaraf etme yoluyla bir araya getirildiğinde, elektronun E bağlayıcı enerjisini n kuantum sayısı ile ilişkilendiren basit bir denklem ortaya çıkar:

$$E = \frac{R}{\alpha^2 h^2 n^2}$$

Bu denklemi E_1 ve E_2 enerjileri ile n_1 ve n_2 kuantum sayılarına sahip iki durum için iki kez yazdığımızda,

$$E_1 = \frac{R}{\alpha^2 h^2 n_1^2} \text{ ve } E_2 = \frac{R}{\alpha^2 h^2 n_2^2}$$

denklemlerini elde ederiz; bu sonuçları denklem (3)'teki yerlerine koyduğumuzda ise şuna varırız:

$$h\nu = \frac{R}{\alpha^2 h^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

ya da

$$\nu = \frac{R}{\alpha^2 h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (4)$$

Bohr denklik savına başvurarak, α sabitinin $1/137$ değerine sahip olduğunu kanıtladı. Böylece Bohr'un frekans denklemi (4) şu nihai biçimi aldı:

$$\nu = \frac{4R}{h^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (5)$$

Balmer Formülü

Bohr bu denklemleri teorik yaklaşımla kafadan bulup çıkarmamıştı. Ona yol gösteren şey, başta atom hidrojeni olmak üzere element maddelerinin saldıgı radyasyon tayflarında gözlemlenen kalıplardı. Hidrojen salım tayfının bileşenleri spektroskop denen bir aletle seçilip ayrıldığında, gözlemlenen frekanslar düzenli diziler içinde yer alır. Hidrojen tayf dizilerinden biri Bohr'un çalışmalarından otuz yıl kadar önce, karmaşık fiziksel verilerden kesin sayısal formüller süzme ustalığına sahip Johann Balmer adlı bir İsviçreli öğretmen tarafından bulunmuştu. Balmer hidrojen salım tayfındaki görünür çizgilerin şu formüle uyan frekanslar taşıdığını saptamıştı:

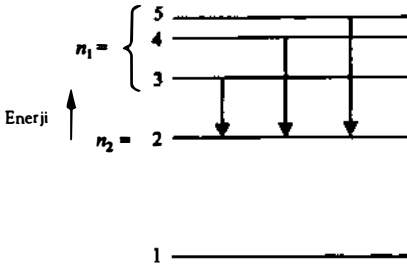
$$\nu = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Bu denklemde R' değeri tayf verileriyle belirlenen bir parametreyi ifade eder, n ise 2'den büyük herhangi bir tam sayıdır, yani $n = 3, 4, \dots$ durumu söz konusudur. Balmer bu formülünden genel nitelikte şöyle bir formül çıkarılabileceğini kavradı:

$$\nu = R' \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (6)$$

Bu tayf dizisinde n_1 2 değerini taşır, ama diğer dizilerde başka değerler taşıması da mümkündür.

Balmer formülü ve özellikle (yukarıda Balmer formülü versiyonu aktarılan) İsveçli spektroskopist Johannes Rydberg'in katkıda bulunduğu başka birçok ampirik spektroskopi kuralı uzun yıllardan beri bilinmekle birlikte, atom yapısına ilişkin basit ipuçları barındırdıkları kuşkusunu hiç kimsede uyandırmamıştı. Bohr bir keresinde Balmer-Rydberg formülüne ve benzerlerine bakışı şöyle nitelemiştir: "Kelebek kanatlarındaki sevimli desenler [gibi görülürler]; güzelliklerine hayranlık duyulabilir ama herhangi bir temel biyolojik yasayı açığa vurdukları düşünülmez."



Çizim 16.1. Balmer hidrojen dizilerinin üç çizgi için salınım geçişlerini gösteren bir enerji düzeyi diyagramı.

Hidrojen salınım tayfının "sevimli desenleri" Bohr'un teorisinin özüydü. Türettiği denklemlerin gözlemlenen tayf kalıplarına uymasını sağlamak için, savlarında yönlendirmeye ve kimi zaman zorlamaya başvurmaktan kaçınmazdı. Balmer-Rydberg'in vardığı denklem (6)'daki sonucu aynen veren denklem (5)'i türettiğinde, Bohr acil teorik hedefine ulaşmış oldu. Denklem (5)'te teorik yoldan türetilmiş $\frac{4R}{h^3}$ sabitin denklem (6)'daki ampirik R' karşılığıyla mukayese edilmesi, teorisinin nihai ve can alıcı testten geçmesini sağladı. İlkini bilinen temel sabitlere (e elektron yükü, m kütlesi ve Planck sabiti h) dayanarak hesaplanmasıyla varılan sonuç, ikincisinin ölçülmüş değerlerine yüzde birler civarındaki farkla yakındı. Çarpıcı bir başarıydı bu. Bilim tarihinde bir teorisyenin, arsız öğrencilerce "uyduruk faktörler" diye anılan elverişli sayısal araçların yardımına başvurmaksızın teoriyi deneyle bir araya getirmesi sık görülen bir durum değildir.

Bohr'un ortaya koyduğu denklem (5) Çizim 16.1'de bir enerji düzeyi diyagramı olarak gösterilmektedir. Her yatay çizgi bir durağan durumun enerjisini ifade etmekte ve kuantum sayısının n_1 ya da n_2 gibi bir değeriyle adlandırılmaktadır. Balmer dizilerinde salınan frekanslardan üçünü yaratan aşağıya doğru sıçramalı atom geçişleri oklarla belirtilmiştir.

Görüntüler ve Bağlantılar

Bohr'un teorisi bize soyut bir tablo sunar: Atomları olağan nesneler dünyasında kavranamayan davranış biçimleriyle gözler önüne serer. Bohr atom elektronlarının yörüngesel hareket halinde olduğunu ama yörünge içindeki bu elektronların tuhaf biçimde sınırlı, kuantumlara ayrılmış bir enerji taşıdığını ve bir yörüngeden diğerine bu teorinin tam açıklayamadığı kesintili sıçrayışlarla geçtiğini anlatır bize.

Ne anlama gelir bu? Bizzat Bohr'un teslim ettiği gibi, her türlü cevabın, en azından sözel cevapların sınırlılıkları vardır. Asıl sıkıntı uygun bir dilden yoksun oluşumuzdur. Heisenberg'le bir sohbetinde, şunları belirtmişti Bohr:

... Atom yapısının betimleyici bir açıklaması olamaz. Bu tür açıklamaların hepsi artık geçerli olmayan klasik kavramlara dayanmak zorundadır ister istemez. Anlayacağın, böyle bir teori geliştirmeye çalışan biri aslında olanaksız denemektedir. Çünkü atomun yapısı üzerine bir şeyler söylemeye kalkıştığımızda, anlaşılmanızı sağlayacak bir dilden yoksun durumdayız. Daha önce bildiği şeylerden köklü biçimde farklı koşullara sahip olan ve daha da kötüsü yerli sakinleri tamamen meçhul bir dil konuşan bir adada tek başına bırakılmış bir denizciyle aşağı yukarı aynı konumdayız. Bu denizci düpedüz derdini anlatmak zorundadır ama bunu başarmasının bir yolu yoktur. Böyle bir durumda bir teorinin her şeyi kelimenin alışılmış dar bilimsel anlamıyla "açıklama"sı mümkün değildir. En fazla umulabilecek şey, teorinin bağlantıları gözler önüne sermesi ve olabildiğince el yordamıyla ilerlemek üzere geri kalan işi bizlere bırakmasıdır.

Bohr'a göre atom fiziğinin dili bir bakıma şiir diline benzer: "Şiir olguları betimlemekten çok, görüntüler yaratmakla ve bağlantılar kurmakla uğraşır."

Peki, özünde betimleyici olmadığına, bir atomun içinde olup bitenlere dair güvenilir bir açıklama sunmadığına göre, Bohr'un atom teorisinin yararı neydi? Niçin o kadar çabuk tuttu? Bohr'un teorisinin kökleri, kuantum fiziğinin başka birçok yönü gibi, deneysel bulguların dünyasında yatmaktaydı. Teorisince yaratılan modellerin "teorik temellere değil, deneylere dayalı çıkarsamayla, eğer daha uygun bir ifade sayılacaksa, tahminle ortaya konduğunu" belirtiyordu Bohr. Saf matematiksel düşünce alanında fiziksel gerçekliği arayan ve çoğu kez teorilerine ilişkin deneysel testlere aldırmayan Einstein'ın tersine, Bohr temel ampirik bulgulardan geriye doğru giderek sonuç alıcı ve akla yakın bir postullar dizisine ulaşmaya eğilimliydi. Einstein "yaratıcılık ilkesi"ni matematikte bulurken, Bohr'un yaratıcılık ilkesi daha çok kilit bir deneysel sonuçtu. Atom teorisini kurarken Bohr'un yararlandığı başlıca ilham kaynaklarından biri, hidrojen tayf çizgilerine ilişkin Balmer-Rydberg formülüydü.

Bohr atom teorisi üzerine ilk makalelerinin yayımlanmasından yalnızca birkaç ay sonra Britanya Bilim İlerletme Derneği'nin 1913 toplantısına katıldığında, teorisinin sempatiyle ve anlayışlı bir tavırla ele alındığını gördü. James Jeans radyasyon problemlerine ilişkin görüşmeyi açarken, Bohr'un "tayf dizileriyle ilgi-

li açıklamasını ... dahicc, düşündürücü ve sanırım aynı zamanda inandırıcı" diye nitelendirdikten sonra, alışılmamış postulalar hakkında şu yorumu yaptı: "Bu varsayımlar için halihazırda ileri sürülen tek dayanak bizzat tutulmuş olmasından gelen ağırlıktır." 1913'te Bohr'un teorisini duyan Einstein ise şaşkınlığını şöyle ifade ediyordu: "Demek ki ışık frekansı hiçbir biçimde elektronun [dolanım] frekansına bağlı değil ... ve bu da olağanüstü bir atılım. ... En büyük buluşlardan biri bu." Ama aynı postullaları ve denklik savını zorlama ve inandırıcılıktan uzak bulanlar da vardı. Bohr'u muarızlarına karşı savunan ve bu nedenle "Bohr modelinin bir fedaisi" kesilen Göttingen matematikçilerinden Richard Courant, yine bir Göttingen spektroskopisti olan Carl Runge'nin şunu söylediğini aktarır: "Doğrusu, Niels oldukça hoş bir izlenim bıraktı ama besbelli ki o makaleyle delice olmasa bile tuhaf bir numara çekti."

Muarızlar zamanla fikir değiştirdi ya da Bohr'un gittikçe büyüyen genç, yetenekli tilmizler grubu karşısında düpedüz azınlığa düştü. Bohr'un teorisi ve Münihli teorisyen Arnold Sommerfeld tarafından geliştirilen ayrıntılı versiyonu, yaklaşık on yıl boyunca atom fiziği araştırmalarında başat ve yol gösterici bir konum taşıdı. Aynen tasarladığı gibi, Bohr'un teorisi daha önceleri ampirik yapıda olan spektroskopi bilimi için birleşik bir temel düzenlemeye başladı. Teorinin ve elde ettiği kazanımların doruk noktaya yaklaştığı 1919'da, Sommerfeld atom spektroskopisine uygulandığı biçimiyle kuantum teorisinin güzelliklerine şöyle bir övgü düzüyordu: "Şimdilerde tayflardan kulağımıza çalınan sesler kürelerin katıksız bir atom müziği, kusursuz tam sayı ilişkilerinin bir çan ezgisi, çoğulluk içinde gittikçe artan bir düzen ve uyumdur."

Haberimiz Yoktu

Bohr'un teorisi spektroskopiye dönük uygulamaların ötesinde, bütün büyük teorilere özgü bir görevi üstün bir başarıyla yerine getirdi: Yeni deneysel ve teorik araştırma alanlarını ortaya çıkarıp birleştirdi. Bohr'un kavramlarına ilişkin en sarsıcı ve şaşırtıcı deneysel doğrulamalardan biri, 1914'te Berlin'deki Kayser Wilhelm Fiziksel Kimya Enstitüsü araştırmacıları James Franck ve Gustav Hertz (Heinrich Hertz'in yeğeni) tarafından bildirildi. Franck-Hertz deneyi atomların içkin bir özelliği olarak durağan durumların varlığını kesin ve çarpıcı bir biçimde ortaya koydu. Franck ve Hertz değişken ama kontrollü miktarda kinetik enerji taşıyan elektron demetleri yaratmayı sağlayacak bir metot geliştirdiler. Gaz halindeki cıva atomlarını bir elektron demetinin yolu üstüne yerleştirerek, elektronlardan atomlara enerji aktarımını mümkün hale getirdiler. Demet enerjisinin belirli bir kritik değere ulaşmasıyla birlikte, demetten cıva atomlarına neredeyse eksiksiz bir enerji aktarımı meydana geldiğini ve demet akımının birdenbire düştüğünü saptadılar. Bohr'un teorisine göre bakıldığında, kritik demet enerjisi-ne sahip elektronlar, cıvanın iki durağan durumu arasında bir geçişe yol açmaktaydı.

Franck-Hertz deneyinin planı Bohr'un durağan durumlara ilişkin öngörülerini öylesine doğrudan izler ki, Franck-Hertz makalesini okuyan biri yazarların

Bohr'dan öğüt aldığı sanısına kapılabilir. Nitekim bazı ders kitabı yazarları öyle sanmıştır. Oysa bilimsel ilerlemenin yolları pürüzlüdür: Franck ve Hertz aslında Bohr'un 1913 tarihli makalesini görmemişlerdi, kaldı ki vardıkları sonuçları derlemeden önce bu makaleyi görmüş olsalardı, okudukları şeylere inanmayacaklardı herhalde. Franck'ın o sıralarda Berlin'deki tutuma ilişkin içten görüşleri, büyük bilimsel buluşlara vuran ışığın bazen ne kadar loş olabileceğini gösteriyor. Franck'la 1960'ta yapılan bir röportajdan bilim tarihçisi Gerald Holton şu alıntıyı yapıyor:

O deneyleri yaptığımız sırada literatürü yeterince okumamış olmamız belki ilginç gelebilir size, böyle şeylerin nasıl olduğunu bilirsiniz. Öte yandan, başka insanların bize bundan söz ettiği düşünülebilir. Sözgelimi, o sıralarda Berlin'de bütün önemli makalelerin görüldüğü bir kolokyum düzenlenmişti. Kimse Bohr'un makalesi üzerinde durmadı. Neden? Nedeni şu: Elli yıl kadar önce o sıradaki mevcut bilgilerle kimsenin tayf çizgisi salımını anlayamayacağı kanısı öylesine güçlüydü ki, birisi bu konuda bir makale yayımladığında, "bunun muhtemelen doğru olmadığı" varsayılırdı. İşte bu yüzden haberimiz yoktu.

Yeterince Delişmen Değil

Dönemin teorik fizikçilerinden olan ve bilimsel camiadaki hayata dair cin gibi yorumlarıyla tanınan Jeremy Bernstein, 1958'de Wolfgang Pauli'nin ABD'ye yaptığı ziyaretle ilgili bir hikâyeyi anlatır. Ziyaretinin amacı parçacık fiziği konusunda dostu ve tartışmalardaki cenk ortağı Werner Heisenberg'in yeni sandığı bir genel teorisini tanıtmaktır. Olay Pauli'nin Columbia Üniversitesi'nde aralarında Bohr'un da bulunduğu bir kitleye teoriyi sunması sırasında yaşanır.

Pauli konuşmasını bitirdiğinde [diye yazar Bernstein], Bohr'dan görüşünü bildir-mesi istendi. Pauli teorisinin ilk bakışta "biraz delişmen" görüncbileceğini belirtmiş-ti. Bohr asıl problemin "yeterince delişmen" olmayıştan kaynaklandığı biçiminde bir karşılık verdi. ... [Derken] Pauli ve Bohr konferans salonunun ön tarafındaki koskoca sunuş masasının etrafında birbirlerini kovalamaya başladılar. Pauli masanın önünde boy gösterdiğinde, dinleyicilere teorisinin yeterince delişmen olduğunu anlatıyordu. Bohr ise söz sırası kendisine geldiğinde öyle olmadığını söylüyordu. Modern fiziğin iki devinin esrarengiz bir kapışmasıydı bu. Fizikçi olmayan bir ko-nuğun böyle bir şeye nasıl bir anlam vereceğini merak etmekten kendimi alıkoyamadım.

Bohr herhalde Heisenberg'in teorisi üzerine Pauli'nin açıklamaları kadar kendisinin daha önceki teorilerini de düşünüyor olmalıydı o sırada. Gerçi Bohr'un atom teorisinin delişmen olduğu birden fazla meslektaşınca tescil edilmişti ama sonraki gelişmelerin de gösterdiği gibi yeterince delişmen değildi. Bohr atom yapısı üzerine çalışmalarına başladığında, Planck-Einstein kuantum teorisinin aklı getirdiği bütün açık zırvallıklara ve çelişkilere düşünsel düzeyde boyun eğmeyi

içine sindiremiyordu. Enerji kuantumları kavramına dayanması mümkündü, ancak onun için foton kavramının ve buna bağlı olarak görünüşteki irrasyonel dalga-parçacık ikiliğinin pek yararı yoktu. Elektronların bir durağan durumdan ötekine kesintili olarak sıçradığını tasarlayan bir “mekanik ötesi” postula ortaya atsa bile, sürekli yörüngesel hareket halindeki elektronlar üzerine kurulu klasik tasarımdan vazgeçemezdi. Sonuçta Bohr’un önerdiği şey tam bir atom teorisinin ancak yarısıydı, yani ancak yarı yarıya delişmen bir teoriydi bu.

Bu yorumları günümüzden geçmişe bakarak yapıyoruz. Buradan Bohr’un daha iyisini yapabileceği sonucunu çıkarmamak gerekir. Fiziği yirmi beş yıl kadar kargaşaya sürükleyen bir devrimi tek başına yürütmesi çok zordu. Einstein bile ilk kuantum teorisinin sağladığı tartışmalı temeller üstünde bir an atom teorisi kurma cesaretinden yoksundu.

1920’lerin başlarında, Bohr-Sommerfeld atom teorisi ve onunla beraber geri kalan kuantum teorisinin büyük bölümü derin bir sıkıntı içine girdi. Bohr metodu hidrojen atomuyla ilgi çalışmalarda harikalar yaratmakla birlikte, hidrojen-den daha çapraşık yapıya sahip atomlarla karşı karşıya geldiğinde aşırı güçlükleri pek aşamıyordu. Bilim tarihçisi Max Jammer’in sözleriyle, kuantum teorisi 1925’ten hemen önce “metodolojik bir bakış açısından, mantıklı ve tutarlı bir teoriden ziyade haline acınacak berbat bir hipotezler, ilkeler, teoremler ve hesap işlemleri aşıresiydi.” Problemlerin çoğu önce klasik fizik metotlarıyla çözülüyor, ardından denklik ilkesinden zekice yararlanılarak kuantum fiziği diline çevriliyordu. Bu çevirme işi sıklıkla “sistematik akıl yürütmeden çok ustalıklı tahmin ve sezgi gücünü” gerekli kılıyordu.

Bir süre kuantum fizikçileri camiası bir teorisyen felcine duçar kaldı. En büyük eserini vermek üzere olan Max Born, 1923’te Einstein’a şöyle yazıyordu: “Her zamanki gibi, kuantum teorisine umutsuzca kafa yorarak, helyum ve diğer atomları hesaplamaya yönelik bir formül bulmaya çalışıyorum. Kuantumlar gerçekten umutsuz bir keşmekeş içinde.” Pauli farklı bir uğraş alanını denemeyi düşünüyordu: “Fizik şu sıralar bayağı arapsaçına dönmüş durumda. Ne yapayım, fazlasıyla ağır geliyor bana bu ve içimden keşke bir film komedyeni ya da buna benzer bir şey olsaydım, fizik hakkında hiçbir duymamış olsaydım diye geçiriyorum.” Bohr’un ilk asistanı ve kendi çapında yetkin bir teorisyen olan Hendrik Kramers, yaygın endişe havasını şöyle özetliyordu: “Kuantum teorisi başka zaferlere çok benzer bir yolda. Birkaç ay yüzünüz güler ve ardından yıllar boyunca ağlarsınız.”

Ancak, büyük bilim adamları basit, dayanıklı bir iyimserlikten nasip almışlardır. Bu sayede en ezici, en feci başarısızlıkları doğru istikametteki yararlı adımlar olarak görürler, ardından er ya da geç yeni gelişmelerin ve genel evrimci ilerlemenin geleceğini bilirler. Planck kendi teorisini klasik kalıba oturtmak için sekiz yıl boş yere boğuşmaktan geri kalmadı, ta ki bütün bu görünüşte beyhude çabanın “tam aydınlanma”yı getirdiği sonucuna varana kadar. Einstein birleşik alan teorisine doksan dokuz yanlış yaklaşımı denemekten gocunmadı ve “en azından doksan dokuz yolun işe yaramayacağını biliyorum” diye avundu. Bütün hasımlarına karşı teorisini son mevsisine kadar savunmakta hiç de aşağı kalma-

dığı söylenebilecek Bohr da, yeni bir teori geliştirip eskisini çöpe atmak için herkes kadar sıkı çalışmaktaydı. Her ne kadar atom teorisinin daha geniş kapsamlı problemlerinin üstesinden gelme çabası sonuçsuz kaldıysa da, kendi teorisinin bütün iyi teoriler gibi en azından kısmen doğru olduğuna inanmaktaydı. Sonraki teorilerce ne kadar garip kavramlar ortaya atılmış olursa olsun, Bohr'un ve büyük öncelleri Planck ile Einstein'ın önceden gördüğü bağlantılar olmaksızın böyle teoriler geliştirilemezdi. Einstein bir keresinde "tumdengelim bir olguyla çürütülmesi"nin yarattığı "trajedi"yi şöyle yorumlamıştı: "Her teori eninde sonunda bu biçimde çürütülür. Ama teorinin iyi bir tarafı varsa, bu sonraki teoride de yer alıp sürer."

Tehlike ve Umut

Bilimsel çalışmanın bir tuhaflığı -ve de potansiyel tehlikesi- duygulardan arınmış, nesnel bir bakış açısına özgü disiplini gerekli kılmasıdır. Çoğu fizikçi için, duygulardan arınmak zorunludur, çünkü sıradan insan deneyimleri fiziksel ilkelere varmada her zaman güvenilir bir kılavuz değildir. İşin tehlikeli tarafı bilimcilerin bazen nesnellik zırhına aşırı biçimde bürünerek, bir bilimsel ilerlemenin insan bağlamına oturulduğunda yol açacağı sonuçları kestirmede ve belki de düşünmede yetersiz kalmasıdır.

Bu tehlikenin açık bir örneği, II. Dünya Savaşı öncesinde ve sırasında nükleer bilimcilerin yürüttüğü çalışmalarındaki ilkelerde hepimizin karşısına belirgin olarak çıkar. Henüz işin içine duyguların girmedığı bir dönemde, nükleer bilimciler U^{235} olarak bilinen ender bir uranyum izotopundaki atomların nötron kaptamasıyla birlikte uranyumun fizyon (yani aşağı yukarı eşit kütleli iki parçaya bölünme) sürecinden geçtiğini, böylece büyük miktarda bir enerjinin açığa çıktığını saptadılar. Bu süreçte ayrıca daha fazla sayıda nötron açığa çıkar, bir çetele tutulursa, kapılan her nötron için ikiden fazla nötronun açığa çıktığı görülür.

Bu nesnel buluşla birlikte, nükleer fizik masumiyetini kaybetti. Tek bir fizyonda elde edilen nötronların başka fizyon süreçlerine yol açtığı bir zincirleme nükleer tepkime olanağı çok geçmeden fark edildi. Bu zincirleme tepkime nükleer reaktörlerde kontrollü, nükleer silahlarda ise kontrolsüz bir şekilde gerçekleştirildi.

Nükleer silah teknolojisini geliştiren nükleer bilimcilerden bazıları bu çalışmayı vicdan duygusuyla, bazıları ise vicdan duygusu olmadan yürüttü. İlk başlarda, Naziler'in elinde nükleer silah bulunma ihtimali nedeniyle, vicdan neredeyse anlamsızdı. Ömrünün büyük bölümünde barış yanlısı olan Einstein bile nükleer bomba projesinin ivediliğini kabul etti. Leo Szilard ve Eugene Wigner adlı iki Macar teorik fizikçiyle birlikte 1939'da ABD başkanı Roosevelt'e bir mektup yazarak, korkunç tehlikeleri ve hemen önlem alma gereğini anlattı. Savaşın sonra ise bizzat nükleer silahların kendisi bir tehdit haline geldi.

Nükleer tehditle mücadele eden bütün bilimciler arasında, yaklaşık altmış yıl sonra bugün en uzak görüşlü ve en cesur tavırlı olarak öne çıkan kişi Niels Bohr'dur. İnsanlar açısından doğacak sonuçları neredeyse anında, daha ilk nükleer

leer bombanın yapılıp test edilmesinden önce bütün açıklığıyla görmüştü o. Robert Oppenheimer'ın "yalnızca büyük bir tehlike değil, aynı zamanda büyük bir umut" diye nitelendirdiği şeyi kavrayacak vizyona sahipti. Özellikle kaygı duyduğu şey dizginsiz bir silahlanma yarışı olasılığıydı. Üstelik yalnız değildi: Savaşın sonra bilimsel camiadan başka birçok kişi katıldı ona.

Bohr ve enstitü mensupları 1920'li ve 1930'lu yıllarda nükleer teoride önemli işler başarmışlardı. Bohr ve John Wheeler 1939'da fizyon süreci teorisi üzerine klasik bir makale yazdılar, 1941'e doğru Bohr yeterince büyük kitlede izotopun bir araya getirilmesi halinde, U^{235} ile bir nükleer patlamanın mümkün olduğu kanısına vardı. Önceleri, U^{235} izotopunu ayırmak gibi son derece zor bir teknolojik işin üstesinden gelinemeyeceği görüşündeydi. Ama ABD'de "Manhattan Projesi" mensuplarının New Mexico'nun ücra kasabası Los Alamos'taki ve başka yerlerdeki olağanüstü çabalarını görünce, bu düşüncesi değişti.

Bohr nükleer bombaların geliştirilmesine büyük çaplı katkılarda bulunmadı. Bir süre Los Alamos'ta kaldı ama teknik konulardan çok siyasi konulara kafa yordu. Bomba projesi teknolojik açıdan ne kadar etkileyici olursa olsun, doğuracağı siyasi sonuçların daha da çapraşık ve önemli olduğunu görebiliyordu. İngiliz ve Amerikalı bilimciler el ele vermişlerdi, oysa Bohr'un siyasi meselelerle yüzleştiği 1944'te Sovyetler Birliği'nin bomba projesi hakkındaki bilgisi çok az ya da hiçti. Bohr'a göre, Doğu ve Batı arasında vahim bir nükleer silahlanma yarışının önüne geçmek için tek şans vardı: Stalin yakında bir nükleer bombanın yapılacağından haberdar edilmeli ve denetimde ona bir söz hakkı verilmeliydi. "Sırf böyle bir jestte bulunmak ve bunu kabul etmek" diye yazar Alicc Kimball Smith, "belki de ... oyundaki aktörlerin dünyaya bakışında köklü bir değişim sağlayabilir ve uluslararası ilişkilerde bir düzen yaratabilirdi. Gittikçe hızlanan yarıştan, ancak sahici bir 'açıklık' siyasetiyle kaçınmak mümkündü."

Savaş sonrasındaki nükleer cepheleşme ortamında, Bohr'un önerisi ayakları havadaymış gibi görünse de, Smith'in işaret ettiği gibi, "son derece gerçekçi bazı yargılara dayanmaktaydı." Bohr yüksek düzeydeki Sovyet bilim yeteneğine aşinaydı. Bir nükleer patlama haberinin yoğun bir Sovyet çabasını harekete geçireceğini ve bunun da en fazla birkaç yıl içinde başarıya ulaşacağını biliyordu. Batı cephesi açısından ilk avantajın geçici olacağı kesindi ve aksini düşünmek tehlikeli olabilirdi.

Bohr olaya yaklaşım tarzını İngiliz ve Amerikan hükümetlerinin yüksek mevkilerindeki bazı adamlara benimsetecek ikna gücüne ve inatçılığa sahipti. Britanya'da Maliye Bakanı Sir John Anderson ile Churchill'in bilim danışmanı ve sır ortağı Lord Cherwell onun yanında yer aldı. (Cherwell, asıl adıyla Frederick Lindemann onun eski bir öğrencisiydi.) ABD'deki en etkili müttefiki ise Yüksek Mahkeme başyargısı ve Roosevelt'in yakın dostu Felix Frankfurter'di.

Bohr böylesine yüksek seviyede bir siyasi desteği arkasına aldıktan sonra, önerisini ciddiye almaları için Churchill ve Roosevelt'i ikna etmek gibi daha çetin bir işe soyundu. Önce Cherwell'i araya koyarak Churchill'le görüştü ama sonuç fiyasko oldu. Anlaşıldığı kadarıyla Churchill neredeyse Stalin'e duyduğu ka-

dar bir güvensizlik içindeydi Bohr'a karşı. Toplantıda hazır bulunan Kraliyet Bilim Derneği Başkanı Sir Henry Dale, aynen korktuğu gibi, "yumuşak, felsefi ifade bulanıklığıyla ve anlaşılmaz fısıltılı konuşmasıyla" Bohr'un "hiçbir şeyi takmayacak kadar meşgul Başbakan"a derdini anlatamadığına tanık oldu. Önerisinin ana dayanaklarını sunmasına bile fırsat bırakmadan Bohr'la görüşmeyi sona erdirdi Churchill. "Aynı dili konuşmuyorduk" diyecekti Bohr daha sonraları. Churchill'in Cherwell'e aktardığı görüş ise şöyleydi: "Daha bana gösterdiğin anda o adamdan hoşlanmadım, herifin kafasından tek bir saç teli bile dökülmemiş yahu."

Bohr'un Roosevelt'le görüşmesi daha uygarca geçti ama daha verimli olduğu pek söylenemezdi. Roosevelt'in gayri resmi bilim danışmanı Vannevar Bush, onu toplantıya hazırlamıştı. "Sence onu anlayabilecek miyim?" diye sormuştu Roosevelt. Bush da "Hayır, pek anlayacağınızı sanmıyorum" karşılığını vermişti. Roosevelt bir buçuk saat kadar kibarca dinledi ve Bohr "sevinçle çekip gitti." Ne var ki, diye belirtir Bush, "Başkanın, tek kelimesini bile gerçekten anladığından şüpheliyim."

Böylece sonuçta Bohr'un açık bir nükleer siyasi vizyonundan hiçbir şey çıkmadı ve daha da kötüsü, güvenilirliği tartışmalı hale geldi. Churchill bunu Cherwell'e şöyle ifade etmişti: "Başkan ve ben Profesör Bohr konusunda çok kaygılıyız. Bu işin içine nasıl girdi? Halkı bilgilendirmenin acayip bir savunucusu. Başyargıç Frankfurter'e yetkisi dışında sırlar vermiş ve o da bütün ayrıntıları bildiğini söyleyerek Başkan'ı ürkütmüş. ... Neler oluyor öyle? Bana öyle geliyor ki Bohr bir yere kapatılmalı ya da müthiş suçlar işlemenin çok yakınına geldiği bir biçimde kafasına sokulmalı."

Bohr'un umutları hiçbir zaman gerçekleşmedi ama onun başarısızlığı insanlığa ilişkin yargımızın biçimlenmesinde önem taşıyor artık. Bilim ve siyaset dünyalarını bir araya getirmek için başka hiçbir bilimci böylesine kahramanca bir uğraş vermedi. Bohr açısından bir kahramanlık değildi bu. Her zaman yaptığıнын bir tekrarıydı yalnızca. İkna edici sohbet, önemli bir görüşü belirlerken ve savunurken başvurduğu değişmez yordamdı. Bu sohbet bir öğrenciyle, bir asistanla, bir meslektaşla ya da gerekirse meşgul bir başbakanla ya da bihaber bir başbakanla olabilirdi. Bilim adamının insan sorunlarından fazlasıyla kopmasının yol açacağı meslek kazası, Bohr'un çalışmalarında asla bir tehlike olmadı. Bohr için bilimsel sorunlar dosdoğru insan sorunlarıydı, ne daha çok, ne daha az.

Eleştirmen Bilimci Wolfgang Pauli



Pauli Bu İşe Ne Der?

Kuantum teorisinin günümüzde “kuantum mekaniği” olarak bilinen modern versiyonu yalnızca beş yıl içinde, 1925-1930 arasında doğup olgunlaştı. Bu beş yılda önceki beş yıla ya da bu konu açısından sonraki yetmiş yıla oranla daha fazla iş başarıldı. 1925’ten önce kavramsal kuşklar ilerlemenin önünü sürekli tıkamaktaydı. Dalga-parçacık ikiliği, yani klasik dalga teorisi ile Einstein’ın ışığa ilişkin parçacık teorisi arasındaki çelişki gibi paradokslar rahatsız edici ve sınırlandırıcıydı. 1925’e varıldığında, belki de aşinalık nedeniyle, bu güçlükler artık daha az köstekleyiciydi. Teorisyenler kuantum alanının kavramsal tuhaflığından kaygılanmayı bir yana bırakıp, tuhaflığı bünyesinde barındıran yeni bir fizik oluşturmaya yöneldiler. Kavramsal engellerin aşılmasıyla birlikte, ilerleme şaşırtıcı bir hızla ulaştı. Vizyonu olanlar için sanki büyük bir sis kalkmıştı. Birdenbire daha önce kimsenin kestiremediği bir berraklıkla birçok yön görülebilir hale geldi.

Yeni türden kuantum fizikçileri mesleğe 1920’lerin başlarında atıldılar. Bunların çoğu ikinci kuşak kuantum fizikçisiydi ve Planck’ın 1900’de Berlin Fizik Derneği’nde ünlü bildirisini okumasından sonra doğmuştu. (Planck’ın bildirisi bir hünerli fizikçi ordusunun doğumuna dönük sinyal gibi de düşünülebilir: 1900’de Wolfgang Pauli, Frederic Joliot ve George Uhlenbeck; 1901’de Werner Heisenberg, Enrico Fermi ve Ernest Lawrence; 1904’te Robert Oppenheimer, John von Neumann ve George Gamow.) Bu yetenekli grubun en parlak ve en etkili üyelerinden biri, yalnızca kendi başına önemli katkılarda bulunmakla kalmayan, tıpkı Bohr gibi uzun, eleştirel görüşmelerle meslektaşlarının çalışmalarına biçim veren

Wolfgang Pauli'ydi. Hayati öneme sahip 1920'li ve 1930'lu yıllarda, birçok kuantum fizikçisi, Pauli'yle ve onun amansız eleştirileriyle karşı karşıya gelmeden çalışmasını bitmiş saymazdı. Onun yokluğunda bile, "Pauli bu işe ne der?" sorusunu yöneltirdi kendi kendisine.

Pauli'nin asistanlarından Rudolf Peierls, onun eleştirmenlik rolünü şöyle anlatır: "Bitmemiş bir çalışmayı ya da yeni ve spekülatif bir fikri Pauli'yle tartışmak harika bir deneyimdi, çünkü kavrayış düzeyi ve yüksek entelektüel dürüstlüğü baştan savma ya da yapay bir savın aradan kaynayıp geçmesine asla izin vermezdi." Pauli'nin eleştirmen olarak sözünü dinletir olmasının nedeni büyük ölçüde meslektaşlarının çocukça hassasiyetleri karşısındaki efsanevi umursamazlığıydı. "Bazı insanların çok hassas nasırları var" demişti bir seferinde, "onlarla birlikte yaşamının tek yolu, alıncaya kadar nasırlarına basmaktır." Eften püften ve biraz tutarsız bir makaleyi okuduğunda, Pauli'nin tipik saptaması "Yahu, yanlış bile değil" olurdu. Makaleleri pek üst kalitede sayılamayacak bir meslektaşına ilişkin yorumu ise şöyleydi: "Yavaş düşünmene bir diyeceğim yok ama düşündüğünden daha çabuk yayımlamaya kalkarsan hop derim bu işe."

Pauli sivri dilli yorumları için her uzmanlık ve önem seviyesinde hedefler bulurdu. Eserleri kendisinininki kadar parlak olmakla birlikte aynı ifade gücüne ulaşamayan Rus teorisyen Lev Landau'yla uzun bir tartışmadan sonra, Landau'nun, söylediği her şeyin saçma olduğu yolundaki saptamaya itiraz etmesine şu karşılığı vermişti: "Yok, canım. Hiç de öyle değil. Söylediğin şeyler o kadar karışık ki, kimse saçma olup olmadığını anlayamaz." Pauli'nin otoriteyi hiçe sayma tutumunun başlangıcı Münih'te öğrenci olduğu yıllara kadar indirilebilir. Bir kolokyumda Einstein'ın bir yorumu üzerine, kalabalık salonun arka sıralarında şöyle bir katkıda bulunmuştu: "Bakın işte, Bay Einstein'ın söylediği, o kadar da ahmakça değil."

Anti-Metafizik Nesep

Pauli gençliğinden beri toparlak suratlı ve şişkin gövdeliydi. Düşünsel sakarlıktan azade oluşuyla tam bir tezat içinde bedensel sakarlığı vardı. Bir biyografi yazarı onun sürücü ehliyeti sınavından ancak yüz kadar sürücülük dersi aldıktan sonra geçebildiğini ileri sürer. Pauli efsanesine örülmüş en kalıcı katkılardan biri "Pauli Etkisi" denen şeydi. Buna göre Pauli sırf mevcudiyetiyle laboratuvar kazalarına ve her türlü faciaya yol açabilirdi. Peierls bize Pauli'nin bir laboratuvara girmesiyle birlikte makinelerin bozulduğuna, vakum sistemlerinin sızıntılar yaptığını ve cam aygıtların çatladığına dair sağlam belgeli örnekler olduğunu bildirir. Pauli'nin yıkıcı sihrinin gücüne öylesine inanılırdı ki, tam treninin Göttingen Garı'nda durduğu anda bir Göttingen laboratuvarında patlamaya yol açtığı iddia edilirdi. Ama bu tür talihsizliklerin hiçbirisi bizzat Pauli'nin başına gelmezdi. Pauli bir resepsiyona geldiği anda bir avizenin düşmesini sağlayacak biçimde hazırlanan tefferruatlı bir tuzaktan sonra, bu durumun Pauli Etkisi'nin doğal bir sonucu olduğuna artık kimsenin şüphesi kalmadı. Pauli kapıda göründü, bir palanga sıkıştı ve avize yerinden kımıldamamakta diretti.

Pauli'nin entelektüel mirası güçlüydü. Babası Wolfgang Joseph, Viyana Üniversitesi'nde profesör ve proteinlerin fiziksel kimyası konusunda bir uzmandı. Annesi Bertha Schutz bir gazete muhabiri ve Viyana İmparatorluk Operası şarkıcılarından birinin kızıydı. Baba Wolfgang Joseph, Prag'ın Pascheles adlı saygın bir Yahudi ailesindendi. Prag'daki Karlova Üniversitesi'nde tıp öğrenimi görmüştü ve sınıf arkadaşlarından biri Ernst Mach'ın oğluydu. Mach'ın Viyana Üniversitesi'ne geçtiği sıralarda, Wolfgang Pascheles de orada profesörlüğe atandı, soyadını Pauli olarak değiştirdi ve Katolik mezhebine döndü.

Pauli'nin tek oğlu 1900'de doğdu ve Wolfgang Ernst Friedrich adıyla vaftiz edildi. İkinci adı vaftiz babası olan Ernst Mach'tan geliyordu. Kendisine dini sorulduğunda, oğul Pauli şöyle bir cevap vermekten hoşlanırdı: "Vaftiz sırasında [Mach] Katolik rahipten daha güçlü bir kişiliğe sahipmiş ve öyle anlaşıyor ki bu yüzden Katolik yerine 'anti-metafizik' diye vaftiz edilmişim. ... [İşte bu] halen üstünde taşıdığım bir etiket, yani 'anti-metafizik nesep' olarak duruyor."

Genç Wolfgang okul öğreniminin bütün kademelerinde harika çocuktu. Yalnızca matematik ve fizikte değil, klasik antik çağ tarihinde de üstün başarıliydi. Lise sınıfındaki çalışmaları sıkıcı bulmaya başlayınca, Einstein'ın genel görelilik üzerine makalelerini (hem de yazılmalarından birkaç yıl sonra) okumaya yöneldi ve görelilik konusunda yayımladığı üç makaleyle tanınmış matematikçi Hermann Weyl'in dikkatini çekti.

Pauli birkaç yıl sonra kuantum mekaniğinin önünü açan devrimi başlatacak olan Werner Heisenberg'le birlikte, Münih Üniversitesi profesörlerinden ve ünlü teorik fizik hocalarından Arnold Sommerfeld'in yanında bir araştırma öğrencisi olarak kariyerine başladı. Heisenberg'le konuşmalarında Sommerfeld'in asker bıyığıyla ve haşın tavrıyla dalga geçmekten keyif alırdı: "Şuna bak, tipik eski hafif süvari subayına ne kadar da benziyor, değil mi?" Ama öğrencinin hocasına saygısı bu tür takılmalardan daha kalıcı oldu. "Sonraki yıllarda" diye yazar Peierls, "Sommerfeld [onu] ziyarete gittiğinde, eski hocasına karşı tutumunda sergilediği saygı ve huşu şaşılacak bir şeydi. Özellikle normalde ürkek davranmaya yatkın olmayan bir adam açısından çarpıcıydı." Üstelik Sommerfeld de yetenekli öğrencisini takdir ederdi. On dokuz yaşındaki Pauli'ye görelilik üzerine bir ansiklopedi maddesi yazma gibi zorlu bir görevi vermekten kaçınmamıştı. Sommerfeld yazıyı "epeyce ustaca" bulmuş ve Einstein da bu görüşe katılmıştı.

Münih'ten sonra Pauli parlak ve iğneleyici kişiliğiyle Göttingen'de nam saldı. 1921'de, Göttingen Üniversitesi'ni teorik fizik alanında Bohr'un Kopenhag Enstitüsü'yle boy ölçüşecek bir araştırma merkezi haline getirmiş olan Max Born'un yanına asistan olarak girdi. Born onu "fazlasıyla bitirim" buldu. Ama sorunlar da vardı: Pauli "geç vakitte yatmayı severdi" ve Born'un yerine sabah on birdeki derse girmesi gerektiğinde her zaman hazır bulunmazdı. Sonunda Born çifti "hizmetçilerini saat on buçukta yanına göndererek yataktan çıkmasını sağlama" gibi bir tedbir almak zorunda kaldı. Pauli'yle birlikte çalışan çoğu insan gibi, Born da bu davranışına dikkate değer bir güler yüzle katlandı. Bilimsel yetenekleri anında seçme konusunda en az Bohr kadar tecrübeli olan Born'a göre, Pauli "hiç kuşkusuz en üst düzeyde bir deha"ydı.

Pauli bir yıl Göttingen'de kaldıktan sonra Bohr'un enstitüsüne geçti. Böylece modern fizikte en verimli ve kalıcı ortaklıklardan biri kurulmuş oldu. Gerçi Bohl ve Pauli yazar olarak hiç işbirliği yapmadılar, belki de hiç görüş birliği içinde olmadılar ama her ikisi de kendince eleştirel sohbete ihtiyaç duyuyordu. Bohr çevrede gördüğü her kişiyle tartışarak fikirlerini geliştirme tekniğinde ustalaşmıştı. Kimi zaman öğrencileriyle ve asistanlarıyla giriştiği "tartışma" Bohr için düpedüz sesli düşünmeydi. Einstein ve Erwin Schrödinger'le görüşmelerinde olduğu gibi, tartışmanın çetin kavramsal problemlere takılıp çıkmaza girdiği de olurdu. Ancak Pauli, eleştiriye dönük aşılmaz dehasıyla, Bohr'un gözde tartışma ortağıydı. Savlarının ardı arkası gelmezdi ama her zaman ilerleme sağlardı. Bohr için bu tartışmalar vazgeçilmez hale geldi. Bohr'un asistanlarından Lear Rosenfeld'in anlattığına göre, Pauli'nin şahsen hazır olmadığı zamanlarda Bohr bu sefer onun mektuplarına dikkat kesilirdi: "Pauli'den bir mektubun gelmesi epeyce bir olaydı. Bohr işleriyle uğraşırken bunu yanında taşırdı ve yeniden göz atmak ya da gündemdeki probleme ilgi duyanlara göstermek için hiçbir vesileyi kaçırmazdı. Cevabın taslağını hazırlama bahanesiyle, sanki [Pauli] orada oturup yüzünde alaycı gülümsemesiyle onu dinliyormuşçasına bir canlılık içinde, uzaktaki dostuyla günlerce süren hayali bir diyalog içine girerdi."

Pauli, kuantum fizikçilerinin en gezginlerinden biriydi. Münih, Göttingen ve Kopenhag'dan sonra, Hamburg'a giderek akademik basamakları tırmanmaya başladı. 1928'de, henüz yirmi sekiz yaşındayken Zürich'teki İsviçre Teknik Üniversitesi'nde (ETH) fizik kürsüsüne atandı. Princeton'daki Yüksek Araştırma Enstitüsü'nde geçirdiği beş yıl (1940-45) dışında hep bu görevde kaldı.

Yaklaşık 1934'e kadar Pauli'nin kişisel hayatı çapraşık bir seyir izledi. 1929'da evlendiği Keathe Deppner aldı genç bir dansçı kısa bir süre sonra onu bırakarak bir kimyacının peşine takıldı. Bu durum Pauli'yi kızdırdı: "Bir boğa güreşçisini seçseydi anlardım ama sıradan bir kimyacıyı bulması olacak şey değil..." Ardından gelen bunalım dönemini Carl Jung'un gözetimindeki psikanalizle ve 1934'te Francisca (Franca) Bertram'la kurduğu istikrarlı hayat ortaklığıyla atlattı.

Dışlama İlkesi

Pauli, kuantum teorisinin hüsrانlarına ve gizemlerine öğrenciliğinde Sommerfeld'in derslerini dinlerken kapıldı. Sommerfeld tarafından genişletilmiş kapsamıyla Bohr'un teorisile kısa sürede haşır neşir oldu ve bu teorinin hidrojen molekülünün yapısına yönelik karmaşık bir uygulamasını geliştirdi. Öte yandan Bohr-Sommerfeld teorisine eleştirel bir tutumla yaklaşarak, öğrenci arkadaşı Werner Heisenberg'e bütün işin "atom mistisizmi" olduğu yolundaki görüşünü açtı. Biçimsel sav uyumlarına, bir tür kusursuz matematiksel ses perdesine son derece duyarlı bir kulağı olan Pauli'ye göre, dönemin kuantum teorisi "arapsacı"na dönmüş" gibiydi. "Herkes hâlâ kalın bir sis içinde el yordamıyla ilerliyor" diye yakınıyordu Heisenberg'e. "Üstelik bu sisin kalkması daha birkaç yılı bulacak. Sommerfeld deneylerin bazı yeni yasalar bulmamıza yardımcı olacağını umuyor. Neredeyse bir sayı mistisizmiyle sayısal bağlantılara inanıyor."

Bohr'un ilk çalışmasından beri, atom davranışını ifade eden belirli durumların "kuantum sayıları" denen tam sayılarla hesaplanabilecek ayrı enerjiler taşıdığı ve bir atomun enerjisini bu "durağan durumlar" arasındaki "kuantum sıçrayışları"yla değiştirdiği biliniyordu. Bohr'un 1913 makalelerini izleyen on yıl boyunca, kuantum teorisi üzerine çalışmalar büyük ölçüde kuantum sayıları temasına odaklı kaldı. Kuantum sayılarına dayanan atom modelleri oluştururken her zaman cevap verilmesi gereken sorulardan biri, atomların gözlemlenen fiziksel ve kimyasal davranışını açıklamak üzere her elektron durumu için kaç kuantum sayısının gerektiği idi. Önce (Bohr modelinde) tek bir kuantum sayısı vardı, derken bu ikiye, ardından üçe ve nihayet Pauli'ye göre dörde çıktı.

Pauli bir atomun elektronları açısından elverişli her durum için saptanmış kuantum sayılarından oluşan dört katmanlı bir yelpazeyle harika işler yapabileceğini gördü. Modelin anahtarı her elektronun kuantum sayısı seçeneğini belirleyen bir dizi kuraldı. Bohr'un ortaya koymuş olduğu iki kural geçerli sayılabilir: Bütün atomlarda bütün elektronlar için aynı kuantum sayısı saptamaları dizisi elverişlidir ve elektronlar enerji açısından önce en düşük konumda yer alan elverişli durumları kaplarlar. Pauli bunlara daha sonraları "dışlama ilkesi" ya da "Pauli ilkesi" denen daha kapsamlı bir ilke ekledi. Atom ve molekül teorisinin açıklığa kavuşmasında bu ilkenin katkısı, sonraki daha sofistike teorilerden hiç aşağı değildi. Pauli kuantum fiziğinde pek alışılmamış bir yalınlıkla, bir atom elektronunun kapladığı bir durumu tanımlayan dört kuantum sayısı dizisinin o elektrona özgü olması gerektiğini ortaya koydu: Verili bir atomda iki elektronun dört kuantum sayısı açısından tam tamına aynı değerler dizisiyle ayırt edilen bir durumu kaplaması olanaksızdır.

Daha sonraki teorik çalışmalarda Pauli ilkesinin her türlü elektron sisteminde geçerli olduğu belirlendi. İster atomlarda, ister moleküllerde, isterse katı maddelerde olsun, bir araya gelen elektronların Pauli ilkesi uyarınca düzensiz girmeleri gerekir. Yakın konumdaki iki elektron, tam tamına aynı kuantum sayısı dizisini taşıyan durumları kaplamaya yetecek ölçüde bir fiziksel benzerlik içinde olamaz. Bu da çoğu kez elektronların düpedüz birbirlerinden kaçınmaları anlamına gelir; atomlarda elektronlar eşmerkezli kabuklar içinde toplanırlar.

Spin

Elektron olayının tamamlanmasında niçin üç değil de, dört kuantum sayısına gerek olduğu meselesi bir süre derin bir teorik muamma olarak kaldı. Daha önceki teorik çalışmalarda kuantum sayısının bir elektron durumuna denkliğinin bir elektronun içinde hareket ettiği boyutların sayısını yansıttığı açıklığa kavuşturulmuştu. Bir çekirdek etrafında yörüngesel hareket halindeki bir atom elektronu üç boyut içinde hareket eder ve dolayısıyla tanımlanması açısından üç ama yalnızca üç kuantum sayısını gerektirir. Dördüncü bir kuantum sayısına nasıl bir fiziksel anlam yüklenebilir? Klasik fizikle analogilerin güvenilir sayılması halinde, tek bir bariz spekülasyon cevabı vardı bunun. Tıpkı gezegenler gibi, elektronlar da yörüngesel harekete ek olarak bir iç eksen etrafında *spin* (fırl) hareketi içinde olabilirdi.

Bu fikir Arthur Compton, Heisenberg, Bohr ve Pauli gibi çeşitli teorisyen-

lerin aklına gelmişti ama beraberinde problemler getirmekteydi. Her şeyden önce, gezegenlerin ve beyzbol toplarının olağan *spin*'i üç boyutlu dolanım hareketidir. Elektronların eksen etrafındaki dönüşünün de böyle olması halinde, dördüncü bir kuantum sayısına gerek olmamalıydı. Belki de elektronlar beyzbol toplarına benzer bir *spin* içinde değildi. Esrarengiz bir biçimde elektron *spin*'i klasik fiziğin temelinde yatan bildik üç uzay boyutu dışında bir hareket olabilir miydi acaba? *Spin* kavramı konusunda kuşkucu olmasına karşın, Pauli ortaya attığı dördüncü kuantum sayısının “klasik bakış açısıyla açıklanamayacak” bir şeyle ilişkili olduğu kanısındaydı.

B. L. van der Waerden'in deyişiyle “büyünün çözüldüğü” 1925 sonlarında, konunun gelip dayandığı nokta işte buydu. İtibarlı teorisyenlerin el atmaktan çekindiği şeyi, Leiden Üniversitesi'ndeki iki Hollandalı yüksek lisans öğrencisi, George Uhlenbeck ve Samuel Goudsmit çarçabuk ve kolayca yaptı. Pauli'den ilham alan bu ikili, elektron *spin*'i kavramının esaslarına ulaştı. Uhlenbeck başlangıçtaki akıl yürütmelerini şöyle açıklıyor:

Goudsmit ve ben bu fikre Pauli'nin bir makalesini incelerken vardık. Makalede meşhur dışlama ilkesi formüle ediliyor ve ilk kez elektrona dört kuantum sayısı veriliyordu. Bu işte gayet kuralcı bir yaklaşım izleniyordu. Hiçbir somut tabloyla bağlantı kurulmuyordu. Bize göre bu bir esrardı. Bir yandan her kuantum sayısının bir hareket serbestliği derecesine denk düştüğü önermesine, öte yandan besbelli ki [yalnızca] üç hareket serbestliği derecesine sahip nokta halindeki [gezegenler ve beyzbol topları gibi üç boyutlu yapısı olmayan] elektron fikrine öylesine alışmıştık ki, dördüncü kuantum sayısını bir türlü bir yere oturtamıyorduk.

Yüksek lisans öğrencisi iki genç, dördüncü kuantum sayısını alışılmış üç uzay boyutunun ötesindeki bir alanda elektronlar için uygun özel türde bir *spin* hareketiyle özdeşleştirmenin avantajlarını derhal fark etti. Dezavantajları görmeleri ise daha yavaş bir süreç izledi. Leiden'de teorik fizik profesörü olan akıl hocaları Paul Ehrenfest'e danıştılar. Ayrıca Leiden Okulu'nun kurucusu (ve Ehrenfest'ten önce aynı kürsünün başında) olan Hendrik Lorentz'ten yardım aldılar; teşvik edici bir tutuma varmamakla birlikte yakın ilgisini gördüler. Ehrenfest'e sunmak üzere bulgularının bir özetini hazırladıktan sonra, konuya biraz daha kafa yordular ve çalışmayı yayımlamama kararlarını Ehrenfest'e bildirdiler. Ancak bilimsel kariyer edinme yolları konusunda Ehrenfest onlardan daha açık gözdü. Makaleyi bir dergiye çoktan gönderdiğini söyledi onlara. Daha namlı teorisyenlerin *spin* kavramının tuhaf ayrıntılarına tedirginlikle baktıkları bir ortamda, Uhlenbeck ve Goudsmit'in önünde güzel bir fırsat vardı: “Her ikiniz de bir ahmaklığı kaldıracak kadar gençsiniz” dedi Ehrenfest onlara.

Başarılı bir elektron *spin*'i teorisi yazma yarışından yenik çıkan çok sayıda kişiden biri de Pauli'nin asistanı Ralph Kronig'di. Uhlenbeck-Goudsmit makalesinin Ehrenfest aracılığıyla bir dergiye ulaşmasından birkaç ay önce, Kronig benzer sonuçlara varmış ve bunları Pauli'yle görüşmüştü. Ama Hollandalı, ak-

ranları kadar şanslı değildi. Amansız bir eleştirmen olan Pauli, çalışmasını yayımlamaktan caydırdı onu. Peierls sonraki yıllarda "Pauli'nin bu hikâyesinin hatırlatılmasından hoşlanmadığını" belirtir. Elektron *spin*'i hiç kuşkusuz yirminci yüzyıl fiziği ve kimyası açısından çığır açıcı fikirlerden biridir. Ne var ki, Uhlenbeck ve Goudsmit ortaya koydukları teoriden dolayı Nobel Ödülü alamadılar. Böyle bir ihmal Kronig'in iddialarına bağlanabilir herhalde.

Yalnızca elektronlar değil, bütün diğer temel parçacıklar da (örneğin protonlar, nötronlar ve pozitronlar) *spin* hareketi içindedir ve çoğu için yalnız iki *spin* durumu elverişlidir. Teori, *spin* durumlarını belirleyen kuantum sayılarının $+1/2$ ve $-1/2$ olduğunu öngörür. (Çoğu kuantum sayısı tam sayı değeri taşır. Yarım tam sayı değerine sahip *spin* kuantum sayıları bir istisna oluşturur.) İki *spin* durumu kabaca tasarlanırken, *spin* eksenini bir durumda "yukarı"ya, diğer durumda ise "aşağı"ya dönük gösterilir.

Elektronların hareket ettiği boyutları ortaya koyan kuantum sayıları üzerine şimdiye kadar söylenenler ışığında, hidrojen atomu elektronunun durumu okurun merakını çekebilir. Bu elektron kesinlikle üç boyut içinde hareket eder ve aynı zamanda *spin* hareketini sergiler; ancak Bohr'un teorisinde doğru bir yaklaşımla *tek* kuantum sayısı *n*'ye göre tanımlanır. Başka atomlardaki diğer bütün elektronlar gibi, hidrojen elektronu da dört kuantum sayısı ile ifade edilir. Ama hidrojen özel bir olgudur. Başka hiçbir atomda görülmeyen bir özellik olarak, hidrojeninde elektron durumu enerjileri makul bir yaklaşık hesapla yalnızca tek kuantum sayısı *n*'ye bağlıdır ve diğer üçüne bağlı değildir. Bohr şanslıydı, çünkü hidrojen atomu modelini sanki tek boyutluymuş gibi kurabildi.

Eleştiri Sevdası

Pauli fizik problemlerini kavrayışıyla çağdaşları arasında üstün bir yere sahipti. Hatta Einstein'ın bile gerisinde olmadığı söylenebilirdi. Born'un ona ilişkin izlenimi şöyledir: "Göttingen'de benim asistanlığımı yapmaya başlamasından beri, onun bizzat Einstein'la karşılaştırılabilecek bir dâhi olduğunun farkındaydım. Aslına bakılırsa saf bilim bakış açısından, büyük olasılıkla Einstein'dan da daha büyüktü." Pauli'nin başardığı işler, dışlama ilkesini ortaya koyuşu, nükleer fiziğe ve parçacık fiziğine çeşitli önemli katkıları elbette modern fizik ustalarının başarılarıyla aynı çaptadır. Bununla birlikte Einstein, Bohr ya da Heisenberg'in düzeyine varacak tam büyüklüğe sahip değildi.

Bir ölçüde Pauli'nin önünü kesen şey bizzat keskin zekâsıydı. Kimi zaman fiziği gereğinden fazla iyi anlardı. Eleştirel duyusu öylesine süzme ve geniş kapsamlı hale gelirdi ki, yaratıcı güçlerini çağdaşlarından bazılarının sahip olduğu hayal gücüyle ve sezgi yetisiyle işletmeyi başaramazdı. Pauli klasik fizik ilkelerinden pervasız kopuşuyla kısa bir süre sonra olağanüstü başarıya ulaşacak Heisenberg'e şöyle demişti: "Klasik fiziğin görkemli bütünlüğüyle fazla haşır neşir olmayan birinin kendi yolunu bulması belki de çok daha kolaydır. Bu konuda kesin bir avantajın var." Ardından takdir dolu bir tavırla, "Bilgiden yoksunluk hiçbir şekilde başarı güvencesi değildir" diye eklemişti.

Gelgelelim, kendisi için bir köstek olsa bile, Pauli'nin ince eleştirel duyusu birçok meslektaşı için ilham kaynağıydı. Büyük bir edebiyat eleştirmeni gibi, kulak vermeye yetecek kadar zekâyâ sahip olanlar için, tecrübenin ve vukufun içe işleyici, kimi zaman acı verecek kadar keskin, ama dengeli sesini dile getirirdi. Modern fizikteki en yetkin teorik çalışmaların büyük bir kısmı Pauli'nin şahsen ya da ruhen "orada oturup yüzünde alaycı gülümsemesiyle dinleyerek" hazır bulunduğu ortamlarda gerçekleşti.

Matris Mekaniği Werner Heisenberg



İkizler

Günümüzde “kuantum mekaniği” olarak bilinen kuantum teorisinin dayandığı şahane sentezin doğumu normalde beklenecek ölçüde mutluluk yaratmadı. Herkesin şaşkın bakışları arasında, dünyaya tek değil, iki bebek gelmişti, yani bir ikiz doğmuştu. Daha da kötüsü, iki doğum arasına aylar girmiş, farklı doktorlar ebelik etmişti: Hatta iki yavrunun nesebi konusunda çirkin rivayetler dolaşıyordu ortalıkta. “Dalga mekaniği” adını verdikleri çocuğa sahip çıkan Erwin Schrödinger ile Münih ve Berlin’deki meslektaşları, Werner Heisenberg ile Göttingen ve Kopenhag’daki dostlarının sahip çıktığı “matris mekaniği” adlı diğer çocukta pek matah bir taraf bulmuyorlardı. Matris mekaniği hakkında Schrödinger’in söylediği şuydu: “Hiçbir görselleştirmeye olanak vermeyen, epeyce alengirli deneyüstü cebir metodunu andıran bu şey, tiksindirici olmasa bile, sinir bozucu geldi bana.” Heisenberg ise Wolfgang Pauli’ye yazdığı bir mektupta dalga mekaniği hakkında şunu belirtiyordu: “Schrödinger teorisinin fizik paçavrası üzerine düştükçe, daha da itici buluyorum bunu. ... Schrödinger’in görselleştirmeye uygunluk hakkında yazdığı şeyler ‘muhtemelen pek doğru değil’ [Bohr’un gözde ince dokundurmalarından biri], bir başka deyişle fasa fiso.” Bir süre için, miras ve unvan meselelerinde rahatsız edici bir husumetle birlikte, fizik dünyası sanki kuantum mekaniğinin iki körpe versiyonundan birine destek vermek durumunda kalacakmış gibi göründü. Neyse ki, her iki çocuğu da beğenip anlayacak birileri çıktı ortaya. İkizlerin sağlıklı, meşru olduğunu ve kuantum mekaniği soyadını hak ettiğini görmek herkesi rahatlatmıştı.

Harika Çocuk

Geniş kapsamlı teorileri kuluçkadan çıkarmadaki maharetiyle matris mekaniğini (Schrödinger'in dalga mekaniğinin doğumuna gözeticilik etmesinden birkaç ay önce) dünyaya getiren Werner Heisenberg, 1901 sonlarında Almanya'nın Würzburg şehrinde doğdu. O sırada Werner'in babası August, Würzburg'daki Altes Lisesi'nde antik diller öğretmeniydi. En son Heisenberg biyografisinin yazarı David Cassidy'ye göre, "August Heisenberg ailesi, amirleri ve öğrencileri üzerinde gayet sert, sıkı denetimli ve otoriter bir kişi izlenimini bırakmıştı. Eski bir öğrencisi onun 'göreve sarsılmaz bağlılık, mutlak özen ve titiz kesinlik' istediğini hatırlıyordu." Heisenberg'in annesi Annie, kocasının mesleğine odaklı bir evdeki hayata alışkındı. Çok az yardım görerek iki oğluna bakıyor ve ev işlerini düzgünce çekip çeviriyordu. O dönemde kadınların Alman üniversitelerine alınmaması nedeniyle resmi eğitimi sınırlıydı ama kendini eğiterek ve Münih'teki saygın bir lisenin müdürü olan babasından dersler alarak, birçok ev işi arasında öğrencilerin ödevlerini okuyup not vermesine yetecek ölçüde bilgi birikimini geliştirmişti. August Heisenberg çalışma alışkanlıkları bakımından aynı ölçüde hımarattı. Günümüzün birçok öğretmenin insanlıkdışı bulacağı ağır ders yükünün yanı sıra, eğitimle ilgili siyasal çalışmalara geniş çapta katılıyor ve kapsamlı bilimsel ürünler yaratıyordu. Nitekim bu çabalarının karşılığını gördü ve 1910'da Münih Üniversitesi'nde önemli bir ağırlığı olan Yunan filolojisi kürsüsüne atandı.

Heisenberg rahat ama her zaman sağlam olmayan bir aile ortamında yetişti. Cassidy'nin yazdığına göre, evdeki psikolojik gerginliğin belirtilerinden biri Werner ile ağabeyi Erwin arasında "August'ün körüklediği" delice rekabetti. "İki kardeş çocukken sık sık birbirleriye kıyasıya kavgalara tutuşurdu. Yaşları büyüdükçe, bu kavgaları daha sık ve şiddetli hale geldi. Sonunda, tahta sandalyelerle birbirlerini dövdükleri son derece kanlı bir kavganın ardından, bir ateşkese vardılar ve her ikisi kendi yoluna gitti. Bu olaydan sonra, birer yetişkin olarak ara sıra aile ziyaretlerinde bir araya gelme dışında birbirleriyle pek ilgilenmediler."

Heisenberg'in kişiliğinin oluştuğu ergenlik çağında, Avrupa kıtası I. Dünya Savaşı nedeniyle darmadağın olmuştu. Savaşı izleyen siyasal ve ekonomik kaos sırasında, genç yaşlı bütün Almanlar başıboş ve çaresizdi. "İktidar dizginleri derin bir hayal kırıklığı içindeki yaşlı kuşağın elinden çıkmıştı" diye yazar Heisenberg otobiyografisinde. "Daha genç olanlar yeni yollar açma ya da en azından ortalığı sarmış karanlıkta adımlarını atarken gözlerini dikecekleri yeni bir yıldız keşfetme çabasıyla toplaşıyordu." Heisenberg yol gösterici yıldızını Deutscher Neupfadfinder [Yeni Alman İzçileri] adlı gençlik hareketinin romantik ideallerinde buldu. Geri kalan ömürlerinde sıkı dost olarak kalacak bir delikanlı grubunun lideri konumuna yükseldi. Bu arkadaş grubu yürüyüşlere çıkıyor, dağları tırmanıyor, kamplar kuruyor ve hararetle Almanya'nın geleceğini tartışıyor.

August Heisenberg Eski Yunanlı filozof-bilginlerin kurgusal görüşleriyle tanışmasını sağlayarak oğlunun bilimsel eğitime katkıda bulundu. Eski Yunanlıların bilimsel yazıları küçük çocuğa, kancalar ve gözler biçiminde çizilmiş bağlar taşıyan garip molekül resimlerinin yer aldığı ders kitaplarından daha inandırıcı

geldi. Heisenberg henüz gençken, Boltzmann, Planck ve Einstein gibi usta bir müzisyen oldu. Önceleri meslek olarak piyanistliği düşünüyordu ama Einstein'ın yaratımlarını Mozart'ın eserlerinden daha yakın ve daha heyecan verici buldu. Böylece 1920'de, daha on dokuz yaşındayken Münih Üniversitesi'nde bir teorik fizik öğrencisi adayı olarak Arnold Sommerfeld'in karşısına çıktı.

Sommerfeld'in biraz Planck'ı andıran sert görünüşü heybetliydi ama göz korkutucu değildi. "Gür asker bıyıklı ufak, tıknaz adam oldukça haşın biçimde baktı bana" diye aktarır bu karşılaşma anını Heisenberg. "Ama daha ilk cümlesi genç insanlara, özellikle de kendisinden rehberlik ve tavsiye istemeye gelmiş delikanlıya karşı iyiliksever, içten ilgisini açıkça gösterdi." Liseyi daha yeni bitirmiş olan Heisenberg, öngördüğü şeyin güçlüğüne pek aldırmaksızın, Sommerfeld'e Einstein'ın genel görelilik teorisini araştırmak ve geliştirmek istediğini söyledi. Sommerfeld onun ileri düzeyde seminere katılmasına izin verdi ama standart fizik müfredatından da dersler almasını salık verdi.

Heisenberg bir gün Sommerfeld'in ders salonuna girdiğinde, "biraz ketum suratlı ve kapkara saçlı bir öğrenci" dikkatini çekti. Sonraları "çoğu kez çok sert bir eleştirmen" gibi davranmakla birlikte yakın dostu haline gelecek olan Wolfgang Pauli'ydi bu. Heisenberg ve Pauli aralarında Sommerfeld'le dalga geçiyorlardı. Pauli üstelik Sommerfeld'in geliştirdiği biçimiyle Bohr'un atom teorisi hakkında pek övücü olmayan görüşler ortaya atıyordu. Pauli'ye göre baştan aşağı şahane bir "arapsaçı"ndan ibaretti bu teori.

Heisenberg fizik eğitiminde en üst noktaya dördüncü sömestride, Sommerfeld'in bu parlak öğrencisini Niels Bohr'un teorisi üzerine vereceği bir dizi dersi takip etmek üzere Göttingen'e götürmesiyle yaşadı. Bu olay öğrenciler arasında "Bohr Şenliği" olarak anılırdı. Heisenberg'in derslere ilişkin anıları, Bohr'un üzerinde bıraktığı neredeyse Mesih izlenimini yansıtır:

İlk dersi asla unutmuyacağım. Salon ağzına kadar doluydu. Endamından İskandinav kökeni hemen anlaşılan büyük Danimarkalı fizikçi, kürsüde ayakta duruyordu. Başı birazcık yana eğikti ve dudaklarında dostça ama biraz huzursuz bir gülümseme vardı. Yaz güneşinin ışıkları ardına kadar açık pencerelerden içeriye süzülüyordu. Bohr hafif bir Danimarka aksanıyla oldukça yumuşak bir tonda konuşuyordu. Teorisinin dayandığı varsayımları teker teker açıklarken, kelimelerini çok dikkatlice, Sommerfeld'in genellikle gösterdiğinden çok daha büyük bir özenle seçiyordu. Üstelik, özenle seçilmiş cümlelerinin her biri daha önce şöyle bir değinilmiş, ama hiçbir zaman tam ifade edilmemiş temel düşüncelerin, derin felsefi görüşlerin uzun bir silsilesini ortaya koyuyordu. Bu yaklaşımı son derece heyecan verici buldum. Söylediği şeyler sanki hem yeniydi hem de pek yeni değildi. Hepimiz Bohr'un teorisini Sommerfeld'den öğrenmiştik ve neler içerdiğini biliyorduk ama Bohr'un ağzından döküldüğünde sözler kulağa hayli farklı geliyordu. Ortaya koyduğu sonuçlara hesaplama ve gösterimden çok, sezgiyle ve esinle varmış olduğunu hepimiz açık seçik hissediyorduk.

Heisenberg gençliğin fütursuzluğu içinde Bohr'la konuşmakta duraksamadı ve hatta onun derslerde bildirmiş olduğu çalışmalardan bazılarını karşı çıktı. Bu görüşmelerden birine kendilerini iyice kaptıran usta ve büyülenmiş öğrenci, Göttingen'in dışına çıkarak yakındaki Hainberg Dağı'na kadar yürüdüler. "Bu yürüyüş bilim kariyerim açısından köklü sonuçlar doğurdu" diye aktarır Heisenberg otobiyografisinde. "Belki de gerçek bilim kariyerimin o öğleden sonra başladığını söylemek daha doğru olur. ... Gelecek bir anda umutla ve yeni olanaklarla dolu göründü bana. Geleceği kendimce en görkemli renklere boyamaya koyuldum." Heisenberg yaklaşık bir yıl sonra Bohr'un Kopenhag'daki enstitüsünü ziyaret etti ve sakinlerinin müthiş dost canlısı, hep atom fiziğiyle yatıp kalkan kişiler olduğunu gördü. Çok geçmeden kendini evindeymiş gibi hissetti ve birkaç hafta boyunca Bohr'la uzun, "son derece öğretici" sohbet ve yürüyüş turlarını kaldığı yerden sürdürdü.

Heisenberg ilk akademik görevini Göttingen'de aldı. 1922'de Max Born'un yanına asistan olarak girdi, ondan önce Pauli de aynı görevde bulunmuştu. Born pek bel bağlanamaz olsa bile Pauli'nin yeteneklerinden etkilenmişti ama yeni asistanı daha da dikkate değerdi. "Bu kış (Sommerfeld'in Amerika'da olması nedeniyle) Heisenberg yanımda kaldı" diye belirtiyordu Einstein'a yazdığı bir mektupta. "Pauli kadar istidatlı olduğu rahatça söylenebilir ama daha sevimli bir kişiliği var. Ayrıca çok iyi piyano çalıyor." Pauli'yle zıt yönlerine dikkat çeken Born'a göre, "kısa kesilmiş sarı saçlarıyla, parlak gözleriyle ve şirin yüz ifadesiyle basit bir çiftlik delikanlısı"nı andırıyordu.

Heisenberg, tıpkı Bohr'un on yıl önce yaptığı gibi, atom fiziği kariyerine kritik bir dönemde başladı. "Kuantum teorisindeki güçlükler gittikçe daha can sıkıcı hale geliyordu. İç çelişkiler görüldüğü kadarıyla her geçen daha da ağırlaşıyordu ve bizi bir krize doğru sürüklüyordu." Bohr teorisi hidrojen atomuyla ilgili problemde harika işler başarmış ve çok-elektronlu atomlar teorisini geliştirmede elinden gelen her şeyi yapmıştı. Hiç de küçümsenmeyecek bir katkıydı bu. Bohr da dahil çoğu teorisyen yeni bir teori bulmanın uğraşısı içindeydi. Heisenberg tıkanıklığı aşma yönünde ilk adımı Göttingen'de *privatdozent* (okutman) olarak Born'un yanında bulunduğu sırada attı.

Büyük ilhamların çoğunda olduğu gibi, Heisenberg'in içine doğan ilham da zorunlu bir ortam değişikliğiyle geldi. Bunu şöyle anlatır Heisenberg:

Mayıs 1925 sonlarına doğru saman nezlesi yüzünden öylesine hasta düştüm ki, Born'dan on dört günlük bir izin istemek zorunda kaldım. Dosdoğru Helgoland'ın [Kuzey Denizi'nde küçük bir ada] yolunu tuttum. Çiçeklerden ve çayırlardan uzakta, temiz ve zindelik verici deniz havasıyla çabuk toparlanmayı umuyordum. Adaya vardığımda şişkin suratımla epey berbat bir görüntü vermiş olmalıyım herhalde. Yanında kalacağım pansiyoncu kadın bana bakar bakmaz, başımdan bir kavga geçtiği kanısına vardı ve yan etkileri atlatmam için hemşirelik yapacağına söz verdi. Odam ikinci kattaydı. Ev kayalık adanın güney kenarındaki yüksek bir yerde bulunduğu için, aşağıdaki köyü, kum tepciklerini ve ötedeki denizi gören şahane

bir manzaram vardı. Balkonumda otururken, sonsuzluğun bir ölçüde denizi ufka doğru seyredenlerin kavrayışı içinde yattığını belirten Bohr'un görüşü üzerine bolca düşünme fırsatım oldu. Günlük yürüyüşler ve uzun süreli yüzmeler dışında, ilgi mi dağıtıp beni kafamdaki problemden uzaklaştıracak hiçbir şey yoktu. Böylece Göttingen'de olabileceğinden daha hızlı bir ilerleme gösterdim.

Yeni Bir Mekanik

Heisenberg çığır açıcı atılımını aşağı yukarı Pauli'nin dışlama ilkesini geliştirdiği sıralarda yaptı. Pauli'ye göre atom panoramasının sonuçta dışlama ilkesinin dayattığı koşullar uyarınca elektronların kapladığı ince dokulu bir durağan durumlar sistemi olarak görülebileceğini hatırlayacaksınız. Onun teorisi kuantumlaşma kavramının evriminde önemli bir adımdı. Planck enerji kuantumlarını ortaya koymuştu. Einstein radyasyon kuantumları ya da fotonlarına dayalı bir teori inşa etmişti. Bohr da kuantumlu durağan durumlarda mevcut olan atomlara ilişkin bir tablo oluşturmuştu. Pauli, durağan durumları kuantum sayılarıyla numaralandırarak bu teorik parçaları birleştirmeye yöneldi.

Gelgelelim, Pauli'nin çalışması da teorik bir yapı olarak parçalıydı, çünkü ortaya attığı dört katmanlı kuantum sayıları dizisi ampirik bilgiler kadar teorik türetmeye de dayalıydı. Kuantum sayılarını önermeden çok, çıkarsamayla ortaya koyacak bir genel teoriye acil ihtiyaç vardı. Fizikçiler birkaç matematiksel ifadenin yola çıkarak, bütün kuantum alanını kapsayacak şahane bir sentez arayışı içindeydi hâlâ.

Heisenberg bu teorik yolda ilk güvenli adımları attı. Sonuçta atomların dinamik işleyişine derinlemesine dalecek bir teorinin hareket noktalarını bir araya getirdi. Newton mekaniği paralelinde kurulmuş bir atom mekaniği idi bu ama benzerlik yalnızca biçimsel ve soyuttu. Heisenberg teorisini Leon Rosenfeld'in "formel virtüözlük" dediği yaklaşımla biçimlendirdi. Tıpkı Einstein gibi, yaratıcılık ilkesini matematikte buldu. Bir keresinde "Bazı bakımlardan bir estetik yargı olan formel matematiksel bakışı kullanmam doğaldı" demişti.

Heisenberg aksiyoma dayalı hareket noktalarını basitleştirerek ve matematiksel bir çerçevede ilerleyerek, Bohr'un teorisini sıkıntıya düşüren tuzaklardan kaçındı. Tekil atom elektronlarının fiziksel konumuna kafa yorma yoluna gitmeksizin, Newton mekaniğinin ve geliştirilmiş biçimlerinin matematiksel formunu andıran bir dinamik kurmayı başardı. Uсталıklı ve soyut bir yaklaşımla, olağan dünya ile atom dünyası arasında bir köprü kurdu. Bohr daha önce bu köprüden geçmişti ama aradaki fark atomların iç işleyişini gezegenlerin yörüngesel hareketi gibi büyük ölçekli nesnelere özgü bazı özellikleri yakıştırarak görselleştirmesiydi. Heisenberg'in atom diyarına bağlanan köprü ise formel ve tamamen matematiksel idi. Atomların iç yapısına ilişkin kolay anlaşılır görüntüler falan sunmamaktaydı.

Heisenberg atom fiziğinde alışılmamış bir teorik mimari üslupla taşları örmekeydi. Biçimsel olarak Newton'un hareket denklemlerini andıran ama başka bakımlardan ancak belli belirsiz klasik modellere ya da "tablo"lara dayanan ma-

tematiksel modellerin yön verdiği bir yaklaşımdı bu. Çok geçmeden kuantum teorisinde başat hale gelen ve bu konumunu koruyan temel tutum, daha sonraları Paul Dirac tarafından şu dolambaçsız anlatımla özetlenecekti: “Fizik biliminin ana hedefi tabloların sağlanması değil, fenomenleri düzenleyen yasaların formüle edilmesi ve bu yasaların yeni fenomenlerin keşfinde uygulanmasıdır. Elde bir tablonun olması elbette daha iyidir ama bir tablonun varlığı ya da yokluğu yalnızca ikincil öneme sahip bir konudur.”

Heisenberg’in analizi iki temel fiziksel bileşen üzerine kuruluydu. Fiziksel tabloları çerçevelemeye pek yaramamakla birlikte, bunların ikisi de basit ve gözlemlenebilir şeylerdi. Birincisi, Bohr’un ilk başta öngördüğü tarzda bir atomun durağan durumlar arasındaki sıçrayışlarda saldıgı frekanslar dizisiydi. Bir atom bu kuantum sıçrayışlarının birini daha yüksek E_2 enerjisinden daha düşük E_1 enerjisine geçmek üzere aşağıya doğru yaptığında bir tayf “çizgisi” salar. Bunun ν_{21} diye adlandırabileceğimiz frekansı, Bohr kuralı uyarınca şöyle belirlenir:

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

Bu ifade bir atomun E_m ve E_n enerjilerine sahip iki durağan durum arasındaki sıçrayışında saldıgı ν_{mn} frekansını belirleyecek şekilde şöyle genelleştirilir:

$$\nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h}$$

Bütün frekanslar dizisi $\{\nu_{mn}\}$ gözlemlenebilir bütün çizgileri atomun salım tayfında toplar.

Heisenberg’in analizindeki ikinci temel bileşenin kaynağı, Bohr teorisinin örtük biçimde değindiği ama çözmediği bir problemdi. Bohr atomların durağan durumlar arasında sıçraması kavramını kullanmıştı ama belirli bir atomun belirli türden bir sıçrayışı ne zaman ve nerede yapacağını nasıl anlaşılacağı probleminin üstesinden gelememişti. Bohr’un ilk makalelerini gördüğünde, Rutherford’un derhal saptadığı bir güçlülüğü bu. “Bana öyle geliyor ki” diye yazmıştı 1913’te Bohr’a, “[sıçramak üzere olan] elektronun nerede duracağını önceden bildiğini varsayman gerekecek.” Rutherford klasik fizikte bildiklerimize benzer determinist bir mekanizmanın olup olmadığını öğrenmek istiyordu.

Bohr teorisine bu yönde işlerlik kazandırmayı asla beceremedi ama daha sonraları Einstein’ın 1916’da yazdığı makaleden değerli bir ipucu elde etti. Kuantum sıçrayışları yapan atomların aynen çözülen radyoaktif atomlara benzediği fikri gelmişti Einstein’ın aklına. Tekil radyoaktif çözülmelerin zamanına ve yerine ilişkin kestirimlerden de bir sonuç çıkmamıştı. Daha iyi bir prosedürün olması nedeniyle, bir süre radyoaktivite yasaları bir radyoaktif atoma *olasılıkla* neler olabileceğine dair kestirimler çerçevesinde istatistiksel olarak formüle edilmişti. Tek bir atom açısından bakıldığında, belirsiz bir tanımlamadır bu, çünkü

istatistiksel saptama çok büyük sayıda atomdan elde edilmiş verilerden çıkarılan ortalama davranışın bir dökümüdür ve tekil süreçler hakkında kesin bir şey söylemez. Einstein bu istatistiksel açıklamanın bütün atom değişimlerini kapsayacak biçimde genişletilebileceğini gördü. Başka şeylerin yanı sıra, mümkün olan bütün atom geçişlerinin meydana gelme olasılıklarını tanımlayarak, “hayret verici basit ve genel bir yaklaşımla” Planck’ın radyasyon yasasına varmayı başardı. Bohr bu temayı benimsedi ve kendi atom teorisinde Einstein’ın “geçiş olasılıkları”na bir yer buldu.

Heisenberg’in 1925’te Einstein-Bohr kanonunu ileriye götürmesi işte bu gelişmelerin sonucuydu. Dayandığı analitik formülün tayf frekanslar dizisine $\{\nu_{mn}\}$ eşlik eden ikinci fiziksel bileşeni bir geçiş olasılıkları dizisiydi. A_{mn} diye adlandırabileceğimiz m’den n’ye geçiş olasılığı büyük olursa, bu geçiş genelde meydana gelir ve ν_{mn} frekansına sahip tayf çizgisi yoğun olur. Böylece geçiş olasılıkları gözlemlenebilir tayf çizgisi yoğunluklarının teorik göstergelerini ifade eder.

Heisenberg A_{mn} geçiş olasılıklarının ve ν_{mn} frekanslarının, 19. yüzyıl başlarında Joseph Fourier’nin analitik ısı teorisi için geliştirdiği ve “Fourier analizi” olarak bilinen köklü tekniği andıran bir hesaplama metodunda kullanılabileceğini gördü. Newton mekaniğinde bilinen her gözlemlenebilir nicelik için bir kuantum karşılığı buldu. Bu karşılık frekanslarla ve geçiş olasılıklarıyla formüle edilen bir “Fourier genleşmesi” olarak kabul edilebilirdi.

Sonraki gelişmelerde, birinci duruma ilişkin kayıtları birinci satıra, ikinci duruma ilişkin kayıtları ikinci satıra yerleştirmek ve bu biçimde devam etmek üzere, geçiş olasılığı dizileri karesel kümeler halinde düzenlendi. Toplam üç durum söz konusu olduğunda, karesel küme şöyle bir görünüm alır:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix}$$

Heisenberg büyük ölçüde matematiksel bir teknik olan Fourier prosedürünü kılavuz olarak ve kümelerin yerine denk düşen klasik değişkenler konduğunda biçimsel bakımdan Newton mekaniğini andıracak bir dinamik oluşturmaya çalışarak, işlerliği olan bir kuantum mekaniğine ulaştı.

Ilham

Göttingen’den Helgoland’daki ikinci kat odasına getirdiği “bütün matematiksel safra”yı kısmen dayandığı sonsuzluk görüşüyle birlikte “kafasından silip atmayı” başaran Heisenberg, ortaya koyduğu yeni mekaniğin biçimini çarçabuk gördü. Biçime bürünen bu mekaniğin fiziksel ve matematiksel açıdan tutarlı olduğunu görmek, yoğun bir heyecan ve hatta garip bir endişe nedeniyle ilgisinin dağılmasına yol açtı. “Sayısız hatalar yapmaya başladım. ... İlk başta derin bir telaşa kapıldım. Atom fenomeninin dış görünümünü aşarak garip bir güzelliğe sahip içyüzüne bakıyordum gibi bir his uyandı içimde. Doğanın büyük bir cö-

mertlikle gözlerimin önüne serdiği bu matematiksel yapılar zenginliğinin içine dalma düşüncesi neredeyse başımı döndürdü.” İlk başarılı hesaplamaları bir gün sabaha doğru saat üçte tamamladı. Gözü bir türlü uykuya tutmuyordu: “Bunun üzerine, yeni bir günün şafağı sökerken, adanın güney ucuna doğru yola çıktım. Orada denize doğru çıkıntı yapan bir kayalığa tırmanma arzusu öteden beri içimden geçiyordu. Nihayet bunu yaptım ... ve öylece güneşin doğuşunu bekledim.”

Ancak, ilk iyimserliğinin ve heyecanının ardından, Heisenberg yeni mekanik konusunda tedirginlik duymaya başladı, çünkü bu mekanik kendine özgü bir cebire göre işlemektedir. Heisenberg tarzında karesel kümeler halinde ifade edilmiş, x ve y diye anabileceğimiz iki değişken garip bir çarpma kuralına boyun eğmektedir: Ortaya çıkan xy çarpımı, faktörler tersine çevrildiği zaman, olağan cebirdeki gibi matematiksel olarak her zaman yx çarpımına eşdeğer değildir. “Doğrusu, xy ’nin yx ’e eşit olmaması bana çok aykırı geldi” diye yazar Heisenberg. “Bütün tasarıda bunun tek güçlük noktası olduğunu sezdim, bir de o olmasa keyfime hiç diyecek yoktu yani.” Heisenberg’in Cambridge’deki Cavendish Laboratuvarı’nda bir konferans vermeye çağrıldığı Haziran 1925’te, teoremin çatısı büyük ölçüde kurulmuştu. Önündeki seçenekler çalışmayı çarçabuk bitirmek ya da “ateşe atıp yakmak”tı. Eleştirmen olarak görüşlerine büyük değer verilen Pauli, metni okuduktan sonra “kutlayıcı” bir cevap yazdı ve çalışmanın kendisine “yeni umut ve zindelik kazanan bir yaşama keyfi” verdiğini belirtti. Heisenberg bildirisini Born’a sundu ama Cambridge’de son uğraşlarından hiç söz etmedi.

Matris Mekanik

“Heisenberg’in yakında yayımlanacak olan en son makalesi oldukça şaşırtıcı görünüyor ama kesinlikle doğru ve esaslı” diye yazmıştı Born, Temmuz 1925’te Einstein’a. Born’a göre, sahici bir kuantum mekanikinin belirlemekte olduğu apaçıktı. Bu nedenle teoremin eksiksiz bir matematiksel ifadesini geliştirmeye başladı. Özellikle merakını çeken nokta ilginç çarpma kuralıydı: “Heisenberg’in sembolik çarpma kuralı huzurumu kaçırdı, günlerce süren yoğun düşünme ve deneme faslından sonra, Breslau’da Rosanes adlı hocamdan öğrendiğim bir cebir teorisi aklıma geldi.” Bu cebir teorisi “matris” denen kümeye benzer matematiksel yapılarla ilgiliydi. Matrislere ilişkin cebir Arthur Cayley tarafından bir matematikçi öngörüsüyle yetmiş yıl kadar önce formüle edilmişti. Heisenberg’in keşfettiği tuhaf çarpma kuralı matris çarpmasıyla sıkı benzerlik göstermekteydi. Heisenberg kümelerini biçimsel bakımdan matris olarak nitelendirmek mümkündü. Born’un bu ipucunu yakalamasıyla birlikte, kuantum “matris mekanik”inin gelişmesinin önündeki engelleri temizleme yolu açıldı. Bu çalışmaya Born, Heisenberg ve genç bir matris uzmanı olan Pascual Jordan girişti.

Born ve Heisenberg dilini iyi sökemedikleri yabancı bir matematiksel dünyada buldular kendilerini. Jordan’la konuşurken, “Matrisin ne olduğunu bile bilmiyorum” diye yakınmıştı Heisenberg. Ne var ki, tahmin edileceği üzere, Göttingenli fizikçiler matematiksel güçlüklerin üstesinden nasıl gelecekleri konusunda yararlı öğütlerden mahrum kalmadılar. Büyük matematikçi David Hilbert

de Göttingen'deydi, üstelik fizikçilerin öğrenmesi gereken matematiksel dili bütün dünyada ondan daha iyi konuşan kimse yoktu. Göttingen'de olup bitenlere tanıklık etmiş bir Amerikalı olan Edward Condon, Hilbert'in öğüdüne nasıl başvurulduğunu şöyle anlatır: "Hilbert o sıralarda Born, Heisenberg ve Göttingenli teorik fizikçileri acayip gırgıra alıyordu, çünkü matris mekaniğiyle ilk tanıştıklarında başları bayağı dertteydi. Matrislerle problemleri çözmeye, matrisleri kullanıp gerçekten sonuç almaya çalışan başka herkesin karşılaştığı sıkıntıyı yaşıyorlardı haliyle. Bunun üzerine yardım için Hilbert'e başvurdular."

Hilbert matrislerin başka bir matematiksel anlatımla, yani diferansiyel denklem diliyle yazılmış problemlerin belirli biçimsel yönlerini ortaya çıkarmada elverişli bir araç olduğunu anlattı onlara. Fizikçilerin uzun yıllar başka problemlerde diferansiyel denklem dilinden büyük bir avantajla yararlanmış olmaları nedeniyle, Hilbert matrislerin belki de diferansiyel türden daha yararlı denklemlerin göstergeleri olabileceği görüşünü ileri sürdü. Condon'un aktardığına göre, Göttingenli teorisyenler bunun "budalaca bir fikir olduğunu ve Hilbert'in neden söz ettiğini bilmediğini" düşündüler. Oysa Hilbert nadiren yanılan biriydi. Tam altı ay sonra, Erwin Schrödinger onun öngördüğü denklemleri buldu ve matris mekaniğiyle elde edilenlerin aynısını ve daha fazlasını sağladıklarını ortaya koydu: Üstelik de, diferansiyel denklemlerin bildik metotlarıyla.

Savaş ve Sonrası

Heisenberg kariyerine atom fiziğinde büyük bir atılımın yaşandığı 1920'li ve 1930'lu yıllarda başladı. Bu çalışmaları yürüten teorisyenler ve deneyçiler gençti ve birçoğu daha yirmili yaşlardaydı. Dünyanın dört bir yanından gelerek Kopenhag, Göttingen, Berlin ve Münih'te buluşmuşlardı. Mensupları kendi anavatanları kadar bilime de sadakat yemini etmiş bir beynelmilel camiydi bu. Böyle bir camiaya katılma şansına eren bilimciler için, yaşadıkları ortam bir entelektüel cenneti olmalıydı herhalde.

Fizikçiler bu beynelmilelilik ruhuyla başarıdan başarıya koşarken, Almanya'da en şiddetli milliyetçilik duygularından beslenen siyasal güçler yükseliş içindeydi. Hareketin odağında Adolf Hitler yönetimindeki Nasyonal Sosyalizm (Nazi) Partisi vardı. 1933'te Hitler ile Naziler iktidara geldi. Almanya dünyanın geri kalan kesiminden hızla tecrit oldu, bu gelişmeyle birlikte en ünlü fizikçilerinin, kimyacılarının ve matematikçilerinin birçoğu ülkeden göç etmek zorunda kaldı.

Heisenberg 1927'de teorik fizik profesörü olarak atandığı Leipzig'de tatsız olayları yakından yaşadı. "1933 yaz döneminin başında görevli olduğum Leipzig Enstitüsü'ne döndüğümde" diye yazar otobiyografisinde, "çürüme yayılmaya başlamıştı. En becerikli meslektaşlarımdan çoğu Almanya'dan ayrılmıştı, diğerleri de kaçmaya hazırlanıyordu." Heisenberg hiçbir zaman Nazi Partisi'ne girmede ve 1930'lerin başlarında ideallerine ya da taktiklerine hiç de sempati duymuyordu. Bununla birlikte göç etmeyi ciddi biçimde düşünmedi. Ülkesini seviyordu ve bu ölçüde de bir milliyetçiydi.

Almanya'nın büyük fizikçilerinin ve kimyacılarının birçoğu olmasa bile, birkaç ülkede kaldı. Heisenberg dışındaki kişiler şunlardı: Fritz Strassmann'la birlikte yürüttüğü deneylerle nükleer fizyonun bulunmasının yolunu açan radyo-kimyacı Otto Hahn, daha çok röntgen kristalografisi üzerine çalışmalarıyla tanınan Max von Laue, bir de Max Planck. Artık yaşlanmış olmakla birlikte idealerinden ve dürüstlüğünden hiçbir şey kaybetmemiş Planck'ı görmeye giden Heisenberg izlenimlerini şöyle aktarır: "Planck beni bir parça kasvetli ama diğer yönleriyle sıcacık ve eski tarzda döşenmiş oturma odasında kabul etti. Eksik olan tek şey orta masa üstünde bir idare lambasıydı. Planck son görüşmemizden beri sanki birkaç misli yıl kocamıştı. Zarif hatlar taşıyan yüzünde derin kırışıklıklar belirmişti, gülümserken ıstırap çekiyor gibiydi ve müthiş yorgun görünüyordu."

Planck bir süre önce Hitler'le görüştüğünü ve Alman üniversitelerini yok edici tutumlarını artık anlamasını sağlamaya çalıştığını aktardı: "Yahudi meslektaşlarımızı ülkeden kovmakla ... muazzam bir tahribata yol açtığına ikna olacağınızı ummuştum. Kendilerini Alman olarak gören ve diğer herkes gibi hayatlarını Almanya'nın hizmetine koşan insanları mağdur duruma düşürmenin ne kadar anlamsız ve kesinlikle ahlak dışı olduğunu göstermekti amacım." Girişim boşa çıkmıştı. "Meramımı anlatamadım" diyordu Planck. "Böyle adamlarla konuşabileceğimiz ortak bir dil yok vesselam."

Planck'ın cesaret vermek için söyleyebileceği pek fazla söz yoktu ama öğüdü ülkede kalmak ve artık en değerli varlık olan öğrencilere sahip çıkmaktı: "Felaketin önüne geçmeniz mümkün değil ve hayatta kalmak taviz üstüne taviz vermek zorunda kalacaksınız. Ama başkalarıyla kenetlenmeye ve sağlam adacıklar oluşturmaya çalışabilirsiniz. Genç insanları etrafınızda toplayabilir, onlara iyi birer bilimci olmayı öğretebilir ve böylelikle eski değerlerin korunmasına yardımcı olabilirsiniz. ... Böyle grupların oluşturacağı tohum kristallerden yeni hayat biçimleri doğabilir."

Planck'ın öğüdü doğrultusunda hareket etmek azap çektirici ve çoğu kez tehlikeli bir oyundu. 1930'ların ortalarında "Ari fiziği" ya da "Alman fiziği" denen uyduruk bir akım gittikçe güç kazanmaya başladı. Akımı başlatan ve yayan ise Nobel Ödülü kazanmış iki deneyci, Johannes Stark ve Philipp Lenard'dı. İzledikleri tutum pervasızca bir anti-Semitizm'e dayanıyordu. Amaçları yaygın kabul gören teorik "Yahudi fiziği"ni, yani görelilik ve kuantum teorilerini sindirmek ve bunun yerine şeffaf ampirik temellere dayalı daha somut bir bilim geçirmekti. İlk saldırdıkları hedef olan Einstein artık Almanya'da değildi ama onlara göre "Yahudi formalizmi" Einstein'ın dostları Planck, Laue ve "özünde Einstein ruhunu yaşatan teorik formalist Heisenberg" in teorilerinde sürmekteydi.

Stark ve şürekasının Heisenberg'e karşı giriştiği alçakça karalama kampanyası 1936 ve 1937 yıllarında iyice yoğunlaşarak, sonunda akademik konumunu ve hatta can güvenliğini tehdit eder hale geldi. Bu "bitip tükenmez yalnızlık" döneminden sıyrılmayı ancak kendisinden on üç yaş küçük olan Elisabeth Schumacher adlı genç ve güçlü kadınla evlenince başardı. Bu evlilikten kısa bir süre sonra, Heisenberg cesur ve riskli bir karar alarak, SS (Schutzstaffel) örgütünün

ve fiilen Reich'in polis şefi Heinrich Himmler'e bir mektup yazdı. Mektupta kendisine yöneltilen suçlamaların resmen soruşturulmasını istedi. Aklanmaması halinde istifa etmeye ve gönüllü olarak askerlik yapmaya hazır olduğunu bildirdi. Toplam 88 soruşturma dosyasının incelenmesi uzun süreli ve onur kırıcı bir süreç getirdi ama siyasal açıdan güvenilir olduğu yolundaki hükümle lehine sonuçlandı. "Heisenberg'in karakteri temizdir" diye bildirdi SS soruşturmacıları. "Heisenberg tipik bir apolitik akademisyendir. ... Birkaç yıllık gelişim sürecinde, Heisenberg elde edilen başarıların da etkisiyle gittikçe Nasyonal Sosyalizm'e inanma eğilimine girmiştir ve günümüzde tutumu olumludur. Ancak siyasal faaliyetin bir üniversite hocasına uygun olmadığı görüşündedir, doktrin aşılama kamplarına ve benzer toplantılara ara sıra katılmayı bunun dışında tutmaktadır." Buna rağmen Heisenberg dikkatli olmak zorundaydı: Öğrencilerine verdiği derslerde ya da makalelerinde Yahudi fizikçilerin adlarına değinmemeliydi, ayrıca ara sıra Nazi Alınanyası'nı yurtdışında temsil etmeliydi.

Eylül 1939'da savaş patlak verince, Heisenberg'e Uranyum Projesi'ne katılma emri verildi. İçinde yer alanların "Uranyum Kulübü" olarak andığı bu girişimin amacı, Hahn-Strassmann nükleer fizyon deneylerinin ortaya koyduğu olanakların sonuçlarını izlemektir. Heisenberg ve meslektaşları 1939 yılı biterken, ağırsudan ya da grafitten oluşmuş bir "moderatör"de enerjisi had düşük düzeylere indirilmiş nötronlarla harekete geçirilmesi halinde, doğal uranyumda zincirleme bir nükleer tepkimenin mümkün olduğu sonucuna vardı. Ayrıca uranyum 235 denen nadir izotopun bir nükleer patlayıcı olarak kullanılabileceği görüşünü bildirdi. Bunu yoğun çalışmalar izledi ve "1941'in sonuna doğru", Heisenberg'in ifadesiyle, "bizim 'Uranyum Kulübü' [nükleer bombalar içermeyen] atom enerjisinden teknik olarak yararlanmayla ilgili fiziksel problemleri büyük ölçüde kavramıştı." O aşamada Alınan nükleer araştırması İngiliz ve Amerikan nükleer girişimlerinden belki de bir yıl ilerideydi.

Uranyum Kulübü uzmanlarının saptadığı ama çözemediği problemlerden biri uranyum 235'in doğada çok daha bol bulunan uranyum 238'den nasıl ayrılacağıydı. Aşağı yukarı aynı kütleye sahip izotopları bu biçimde ayırmaya daha önce hiç girişilmemiş, hatta böyle bir şey tasarlanmamıştı bile. Küçük bir miktarda uranyum 235'in hazırlanması bile uzun yılları ve geniş kaynakları alacaktı. O sıralarda Hitler altı ay içinde sonuç verecek gibi görünmeyen hiçbir askeri donanım geliştirme projesine izin vermiyordu.

Nazi Almanyası'nda savaş yıllarına katlanmaya çalışan bir insan için mümkün olduğu ölçüde, Heisenberg şanslı sayılırdı. Besbelli ki katılmaktan korktuğu ve kaçınması gerektiğini bildiği nükleer bomba geliştirme çalışması Almanya'da olacak iş değildi. Uranyum Kulübü olguları çarpıtma yoluna gitmeksizin, hayata geçirilebilir tek nükleer girişimin ağırsu ya da grafit aracılığıyla işleyecek nükleer reaktör geliştirmek olduğunu tavsiye edebilecek durumdaydı. Ağırsu tasarımı üzerindeki çalışmalar Berlin'deki Kayser Wilhelm Fizik Enstitüsü'nde başladı.

Berlin'e yönelik ağır Müttefik bombardımanı üzerine, 1943'te reaktör araştırmasını daha güvenli bir yere taşıma gereği doğdu. Yeni yer olarak güneyde Stutt-

gart'a yakın Haigerloch köyü seçildi. Haigerloch yalnızca güvenli değil, sanki bu dünyadan kopuktu. Savaş dönemindeki Alman nükleer araştırmalarını incelemiş yazarlardan Robert Jungk şunu belirtir: "Bütün Almanya'da Haigerloch gibi böylesine operaya uygun romantik yerler çok azdı. ... Ortaçağ'dan pek az değişmiş olan bu yörede en modern Alman enerji santrali inşa edilmekteydi." Reaktör üzerine çalışmalar köyün "yarı Gotik, yarı Barok kilisesi"nin altındaki kayalıkta oyulan bir bölmede sürdürüldü. Deneysel çalışmalar ilerlerken, Heisenberg kimi zaman yukarıdaki kiliseye çıkar ve orgda Bach fügları çalırdı. "Hayatımın en fantastik dönemiydi bu" diye belirtmekte daha sonraları Heisenberg'in meslektaşlarından biri.

Acıklı bir gerçek olsa da, Heisenberg gerçekten şanslı bir adamdı. 1944'te Berlin'den ayrılarak Haigerloch'a gitmesinden kısa bir süre sonra, Hitler'e karşı bir suikast girişimi oldu. Plan başarısızlığa uğradı, Heisenberg'in dostlarından ve yardımcılarının bazıları (Planck'ın oğlu Erwin dahil) tutuklanıp kurşuna dizildi. Eğer Heisenberg, Berlin'de kalmış olsaydı, SS soruşturmasının "hayırhah hükümleri"ne ve rejimin taleplerini yerine getirmesine rağmen, hayatı kesinlikle büyük tehlikeye girecekti.

Nisan 1945'te Müttefik orduları Almanya'nın güney kesimine girdi. Haigerloch'u Fransızlar işgal edecekti ama Amerikan istihbarat subayları Heisenberg'in institüsünü oraya ve yakındaki Hechingen'e taşıdığından haberdardı. Elektron spini üzerine çalışmalarıyla tanınan Samuel Goudsmit'in danışmanlık yaptığı "Alsos Komisyonu" kod adlı küçük bir birim Fransız ordusundan önce harekete geçerek Alman bilimcileri, belgelerini ve donanımlarını kaptı. Ancak en çok ele geçirilmek istenen ganimet, yani Heisenberg bulunamadı. Heisenberg daha önce planladığı gibi son anda (bisikletle) Hechingen'den ayrıldı ve birkaç aydan beri Bavyera Alpleri'nde beklemekte olan ailesiyle buluştu.

Elisabeth Heisenberg kocasının yenik ve perişan Alman ordusunun geride bıraktığı kargaşa içindeki kaçış yolculuğunu şöyle anlatır: "Hechingen'de bütün bu olaylar [işgal harekâtı] yaşanırken, Heisenberg bisikletini doğruya doğru sürüyordu. Üç gün üç gece yol teptikten sonra sağ salim eve vardı." Yol boyunca "çapulcu çetelere, yabancı diller konuşan, bir tutsak ya da zorunlu çalışma kampından bırakıldıktan ya da kaçtıktan sonra kırsal alanlara dağılıp talanlara girişen yırtık pırtık giysili kişilere" yakalanmamaya çalışmıştı. Savaşın sonuna doğru askere alınan tüysüz Alman gençlerini "ne yapacağını bilemez halde, ağlamaklı, aç ve şaşkın bakışlarla yol kenarında konaklarken" görmüştü. Her tarafta yollara dökülmüş askerler vardı, "kimisi doğruya, kimisi batıya, kimisi kuzeye olmak üzere hepsi plansız, bitkin ve tehditkâr bir biçimde bir yerlere doğru gidiyordu." Yolculuğunun sonuna varan Heisenberg'in Alsos biriminin yetişmesinden önce pek bekleyecek zamanı olmadı. En sonunda tutsak alındığı zaman, "Artık takati kalmamış bir yüzücünün ayağını sağlamca toprağa bastıktan sonra hissettiği duygular içindeydim" diye yazacaktı daha sonraları.

Daha fazla istihbarat toplanabileceği beklentisiyle, Heisenberg ve diğer dokuz Alman bilim adamı altı ay boyunca gözetim altında tutuldu. Grupta Heisen-

berg'in yanı sıra Otto Hahn, Max von Laue, Walter Gerlach (Otto Stern'le birlikte spin durumlarının varlığını gösteren bir klasik deneyin tasarımcısı) ve Carl Friedrich von Weizacher (Heisenberg'in bir meslektaşı ve yakın dostu) vardı. On kişi Cambridge yakınında "Çiftlik Sarayı" denen büyük bir kır malikânesine götürüldü ve orada "hapis" tutuldu. Hahn nasıl el üstünde tutulduklarını şöyle anlatır: "İngiltere'deki yaşantımız gerçekten lükstü. Kahvaltıda yulaf lapası ya da mısır gevreği, pastırma ve yumurta, tost, tereyağı ve marmelat veriliyordu. Öğle ve akşam yemeklerinde çoğu kez yanında *pommes frites* [kızartılmış patates] olmak üzere but bifteği ya da rosto yiyorduk. Hepimizin kilo almaya başlaması hiç de şaşırtıcı değildi. Beş savaştı tutsağı bizim bakımımız için görevlendirilmişti ve aralarında çok iyi bir aşçı vardı. Evin ve çok geniş bahçenin içinde bu tutsaklar bizim kadar özgürdü."

Hep birlikte egzersiz yapıyor, iskambil oynuyor, Dickens okuyor ve seminerler düzenliyorlardı (odaya konan gizli mikrofonlar sayesinde Heisenberg'in nükleer bomba fiziği kavrayışının ilkel olduğu ortaya çıkmıştı); Heisenberg zarif bir piyanoda Beethoven sonatları çalıyordu. Eğer her şey bir hayal âlemi gibi görünmese ve Almanya'daki aileleri açlıkla ve daha kötü koşullarla yüz yüze olmasa, "altın kafes" olarak adlandırdıkları bu "hapishane"deki hayat bir mutlu bir ortam sayılabilirdi.

Vizyon

Altın kafesten bırakılan ve Almanya'ya dönen Heisenberg, hiç kuşkusuz rahatlamış olarak bir kez daha gerçeklikle yüzleşebildi. Göttingen'de Max Planck Enstitüsü'nün (eski Kayser Wilhelm Enstitüsü) direktörü oldu. Bir kuşak önce Planck'ın yaptığı gibi, Alman bilimini savaş sonrası yıkımdan çekip çıkarmak için büyük enerji ve vizyonla çalıştı. Göttingen'deki enstitüyü yeniden inşa etti. Ülke içinde ve uluslararası düzeyde, Batı Alınan şansölyelik makamında bilimsel konularda sözüne itibar edilen bir konum kazandı. Her zaman olduğu gibi, araştırmalarında en temel teorik problemlere odaklandı. 1950'lerden başlamak üzere, birleştiricilerin düşü olan geliştirilmiş bir alan teorisinin peşine düştü. Bütün temel parçacık fiziğini kapsayacak bir temel dalga denklemi bulmayı umdu. Özellikle umut verici bir olabilirlik yakaladığını sandığında, vardığı sonucu alışılmış mihenge, Pauli'nin eleştirilerine sundu. Elisabeth Heisenberg teorisinin anlamını enine boyuna gözden geçiren Heisenberg ve Pauli arasındaki kıyasıya mektup alışverişini şöyle anlatır: "Mektuplar sert ve acımasızdı. Gerçekten bir muharebe havası vardı. Her yayılım ateşe karşı taraftan aynı ölçüde şiddetli bir cevap geliyordu. Bu 'muharebe' ilk rauntta iyi sonuç verdi. [Heisenberg] sonunda fikirlerini Pauli'ye inandırmayı başardı."

Pauli teorisinin almakta olduğu istikamet konusunda coşkuluydu. Bir mektupta şöyle yazmıştı: "Sağlam malzeme bu. ... Kedi torbanın dışında ve pençelerini göstermiş durumda. ... Çok mutlu bir Yeni Yıl önümüzde. Sert adımlarla ona doğru ilerleyelim. Tipperary'ye giden yol çok uzun, daha gidilecek çok yol var." Pauli, ABD'ye gitme ve teori üzerine konferans verme kararını aldı ama Heisen-

berg endişeliydi: "Mevcut taşkın ruh haliyle Wolfgang'ın ağırbaşlı Amerikan pragmatistleriyle karşı karşıya gelmesi fikri hoşuma gitmedi ve onu gitmekten caydırmaya çalıştım." Bu "ağırbaşlı Amerikan pragmatistleri"nden biri Jereiny Bernstein'di. Pauli'nin Columbia Üniversitesi'nde aralarında Bohr'un da bulunduğu bir dinleyici kitlesi önüne çıkışıyla ilgili anlatımını önceki bölümde aktarmıştım.

Pauli sonunda Bohr'un saptamasına katılarak, teorinin "yeterince delişmen olmadığını" kabul etti. Desteğini çekti ve bunu Heisenberg'e yazdı: "Kendi bildiğin yolda gitmekte serbestsin ama bu işe daha fazla karışmak istemiyorum." Abraham Pais modern teorik fizik tarihini anlatan *Inward Bound* [İç Dönük] adlı kitabında teorinin ve varyasyonlarının "uzun vadede etkili olmadığını" belirtir.

Böylece Heisenberg'in müthiş teorik girişiminin hikâyesi başarısız bir sonla noktalandı. Ama yüksek düşünsel serüveni, bir kez daha yaratıcı ruha ulaşmayı yaşatan bir hikâyeydi bu. "Mehtaplı bir gecede [Göttingen yakınındaki] Hainberg Dağı'nı baştan başa dolaştık" diye yazar Elisabeth Heisenberg. "Ve [o] kafasındaki vizyonlarla tamamen büyülenmiş halde, en yeni buluşunu bana anlatmaya çalıştı. Yaratılışın özgün arketipi olarak simetri mucizesi üzerine, uyum üzerine, yalınlığın güzelliği ve içsel doğruluğu üzerine konuştu. Hayatımızdaki yüce noktalardan biriydi bu."

Dalga Mekaniği

Erwin Schrödinger ve Louis de Broglie



Umutlar ve Korkular

Paul Dirac teorisyen meslektaşlarına, yalnızca umutların değil, aynı ölçüde önemli korkuların da yön verdiğini belirtir. Ona göre, teorik araştırmacılar çalışmalarının saklı, muhtemelen feci kusurları içerdiği yolundaki korkuları gözardı etmekte zorlanırlar. Bu kaygının etkisi altında da düşünceleri olabileceği kadar mantıklı olmaz: “İyi bir araştırma işçisinin sakince ve duygusallığa kapılmadan, tamamen mantıklı bir kafayla durumu gözden geçirdiğini, aklından geçen fikirleri bütünüyle rasyonel bir biçimde geliştirmeye yöneldiğini sanabilirsiniz. Oysa işin gerçeği böyle olmaktan uzaktır. Araştırma işçisi ne de olsa insandır ve büyük umutları olduğu gibi, büyük korkuları da vardır. ... Sonuç olarak, davranış tarzı bir hayli tedirgindir. Dikkatini doğru geliştirme çizgisine sabitleyemez.”

Eğer kuantum teorisinin gelişimini ilk yirmi yılında tehdit eden temel bir korku olmuşsa, dalga-parçacık ikiliği kavramıdır bu, çünkü ışık belli deneylerde dalga gibi, ötekilerinde ise parçacık gibi görünebilir. Einstein ikiliğin gizemiyle yüzleşen ilk kişilerdendi. Işığın dalga gibi olduğu yolundaki köklü deneysel ve teorik kanıtlara rağmen, Einstein fotoelektrik etkinin kafa karıştırıcı özelliklerini açıklamak için bir parçacık teorisi ortaya attı. Einstein'ın bir ışık parçacığının ya da fotonun E enerjisine ilişkin $E = h\nu$ denklemi ister istemez ikilik konusunu gündeme getirir: Işığın parçacık olarak taşıdığı bir özellik olan E 'yi dalga olarak taşıdığı bir özelliği olan ν frekansıyla bir araya getirir.

Mantıksal bakış açısıyla, Einstein dışında hiçbir teorisyenin karşı karşıya gelmeye pek cesaret edemeyeceği bir paradokstu bu. Nasıl olur da ışık temelden

farklı iki şey, yani dalga ve parçacık olabilirdi aynı anda? İkilik bir tehdit, çok ile-riye götürülürse bütün teorik yapının çökmesine neden olabilecek “esaslı bir kusur” gibi görünüyordu.

De Broglie Kardeşler

Önünü açtığı dalga-parçacık bilinmezinin zorluğuyla yüzleşme yolunda Einstein’ın ilk takipçisi Fransız soylusu Louis-Victor de Broglie oldu. Şanlı, varlıklı, aristokrat bir ailenin en küçük erkek çocuğu olan Louis de Broglie, belki soyluluk unvanına hak kazanabilirdi ama bilim gibi entelektüel ve sabit mekân-lı bir kariyere yönelmesi beklenmiyordu. Dedesi ihtiyar Dük de Broglie’ye göre, bilim “yaşlı erkeklerin kurlarıyla avunan bir yaşlı hanım” gibiydi. Oysa Louis’nin ağabeyi Maurice, bir yandan daha geleneksel olan donanma kariyerini sürdürürken, deneysel fizikte de iyi bir şöhrat yakalayabilmişti. Onun etkisi ve hiç şüphesiz ailedeki itirazlara karşı himayesi altında olan Louis, antik tarih ve paleografi gibi fen dışı bir dalda diploma aldıktan sonra teorik fizikçi oldu.

Maurice de Broglie 1913’ten başlayarak, en azından deneycinin dalga-parçacık sorunundan kaçınamayacağı x ışınları üzerine deneysel çalışmalar yapmıştı. İlk x ışını deneylerine, x ışını demetlerinin birbirlerini etkileme yoluyla karakteristik parlak ve koyu desenler yarattıkları yolundaki buluştan sonra girişti. Benzer sapma ve kırılma etkileri nerdeyse bir yüzyıl önce sıradan ışıkla yapılan deneylerde gözlemlenmiş ve dalga teorisiyle açıklanmıştı. İngiliz deneyci William Bragg, x ışını demetlerinin dalga ilerleyişleri biçiminde anlaşılabilceği çıkarsamasıyla birlikte x ışını kırılmalarını ilk keşfedenlerden biriydi. Üstelik kısa bir süre önce de, x ışınlarının parçacık özellikleri taşıdığına dair inandırıcı kanıtlar bulmuştu. İlk kez x ışınlarını dalgalar olarak görmeye başlaması, x ışınlarını dalga olarak ele alan ve x ışınlarının kırılma desenlerinin ayrıntılı analizine yönelik ünlü bir denklemi türetip uygulayan oğlu Lawrence Bragg’in bakış açısı sayesinde oldu. Hem parçacık hem de dalga olarak x ışınlarıyla somut tecrübe yaşamaları ve teorisyen korkularından kurtulmuş deneyciler olmaları, baba ve oğul Bragg’in, x ışınlarına ilişkin ne dalga ne de parçacık teorisinin tek başına yeterli olmayacağı- nı kavrayan ilk kişiler arasında yer almalarını sağladı. Yaşlı Bragg 1912’de şöyle yazıyordu: “Problem x ışını teorileri arasında bir karar vermek değil, her ikisinin kapasitelerine sahip tek bir teori bulmaktır.”

Maurice de Broglie 1920’lerin başlarında, Bragg’in kanaatini paylaşmasına ve bu bakış açısını, teorisyenlik yeteneklerini fark etmeye başlamış olan kardeşi Louis’ye aktarmasına yetecek ölçüde x ışını davranışı gözlemlemişti. Louis de Broglie şöyle yazar: “Ağabeyim x ışınlarını dalga ve parçacığın bir bileşimi olarak görüyordu ama bir teorisyen olmadığından, konuya ilişkin berrak fikirleri yoktu.” Bir süre iki kardeş, x ışınları katı maddeler tarafından saçıldığında ortaya çıkan “tepme” elektronlarını incelemeye dayalı deneylerde beraber çalıştılar.

Bu deneysel çalışma ve “güzel deneylerini yorumlama yönünde kardeşiyle yaptığı uzun tartışmalar” sürecinde, Louis de Broglie “dalga ve parçacık özelliklerini sürekli ilişkilendirme gereğine dönük derin düşüncelere daldı.” Dalga-par-

çacık ikiliğini sadece ışık ve x ışını gibi radyasyon türleri için değil, maddenin temel bileşenleri, özellikle elektronlar için de geçerli bir doğal simetri olarak görmeye başladı. J. J. Thomson'ın 1890'ların sonlarındaki çalışmalarından beri, elektronlar belirli bir yük ve kütle taşıyan ufak parçacıklar olarak kabul edilmişti. De Broglie'nin teorisini formüle ettiği sıralarda, elektronların ancak parçacık olarak görünebileceğine dair hiçbir kanıt yoktu. Bununla birlikte dalga-parçacık ikiliğine sağlam inancını temel alan ve esas olarak Einstein'ın özel görelilik teorisinin işaret ettiği doğrultuda hareket eden de Broglie, elektronların ve maddenin diğer "parçacık" bileşenlerinin dalga davranışının tezahürlerini sergilemeleri gerektiğini öngören birkaç hayati sonuca vardı.

Madde Dalgaları

De Broglie'nin savında hareket noktası "kuantum teorisinde temel fikrin yalıtılmış bir enerji parçasını ona belli bir frekans yüklemeksizin ele almanın olanaksızlığına dayandığı" varsayımıydı. Radyasyon parçacıkları ve aynı şekilde madde parçacıkları esasen "periyodik süreç" niteliğindeki bir varoluş düzeyine sahipti. E enerji terimiyle ve ν frekans faktörüyle $E = h\nu$ şeklindeki Planck-Einstein denkleminin fizik açısından taşıdığı içerik de buydu zaten. De Broglie bir dalga özelliği olan fotonun dalga boyu ile bir parçacık özelliği olan fotonun momentumu arasında kurulabileceğine, bunun için $E = h\nu$ denklemini özel görelilikten türetilmiş olan

$$E = mc^2$$

biçimindeki bir başka enerji denklemiyle bir araya getirmek gerektiğine dikkat çekti. Bunun sonucunda ortaya çıkan

$$E = h\nu = mc^2$$

eşitliğinde şunu elde ederiz:

$$mc = \frac{h\nu}{c}$$

Fotonun hızı c olduğundan, son denklemdaki mc terimi fotonun momentumu p olarak düşünülebilir. Böylece denklem şu hali alır:

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad (1)$$

Şimdi parçacık bakış açısından ve momentum hususlarından dalga bakış açısına geçerken, λ dalga boyunu, ν frekansını ve c ışık dalgaları hızını birleştiren $\lambda\nu = c$ denkleminden yararlanarak ν 'yi şöyle hesaplayabiliriz:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Frekansın bu ifade biçimini momentum denklemi (1)'deki yerine koyarsak, sonuç şöyle olur:

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Bu denklem hâlâ fotonlarla ilgilidir. Ancak de Broglie, “yalıtılmış enerji parçaları” olduklarına göre, elektronları ve maddenin diğer parçacıklarını da aynı biçimde frekanslarla ve dalga boylarıyla ilişkilendirmemek için hiçbir neden görmedi. Burada ana hatlarıyla verilenden daha karmaşık olan ama $mc^2 = h\nu$ enerji denkleminde yola çıkan bir türetmeyle, momentum denklemi (2)'yi maddenin her türden parçacıkları için doğruladı. Bu da onun başlıca katkısı oldu. Ortaya attığı şey, elektronların ve maddenin diğer parçacıklarının, otuz yıl önce J. J. Thomson'ın saptadığı üzere yalnızca momentum ve enerji özelliklerine değil, gizemli bir dalga boyuna da sahip olduğuydu.

Böylece de Broglie'nin momentum-dalga boyu denklemi (2), $E = h\nu$ biçimindeki Planck-Einstein enerji-frekans bağıntısıyla birleşerek, bir tarafta parçacık niceliğinin (p momentumu), diğer tarafta dalga niceliğinin (λ dalga boyu) ve aralarında da h Planck sabitinin olduğu yeni bir ikilik denklemi oluşturdu.

Einstein'dan Destek, Kopenhag'dan Köstek

En azından Einstein'a göre, de Broglie'nin teorik savı genelliği ve basitliği açısından inandırıcı, nerdeyse tartışma götürmezdi. Einstein arkadaşı Paul Langevin'den, öğrencisi de Broglie'nin doktora tezi olarak sunduğu bu çalışmayı işitince, kendisine özgü retorikle de Broglie'nin “büyük perdenin bir köşesini aradığı” karşılığını verdi. Einstein'ın yeni “dalga mekaniği”ni benimsemesinin de Broglie'ye yararı çok önemliydi: “Dönemin bilim dünyası, şöhretinin zirvesinde olmasından dolayı, Einstein'ın her sözüne hemen sarılıyordu. Meşhur bilim adamı dalga mekaniğinin önemine vurgu yapmakla, gelişimini hızlandırmaya büyük bir katkıda bulundu.”

Başlangıçta de Broglie'den yana tavır takınan tek dikkate değer fizikçi Einstein oldu. De Broglie bilim camiasına yabancı biri değildi, Kopenhag'da ve Göttingen'de adı ve ünü biliniyordu ama olumlu anlamda değildi bu. Birkaç nahoş münakaşa de Broglie ve bazı Fransız meslektaşlarını Bohr ve Kopenhaglılar'la karşı karşıya getirmiş ve bunların çoğu ikinci tarafın lehine sonuçlanmıştı. Bu kapışmaların en ünlüsü element 72 üzerineydi. Paris'te bu element azrak toprak elementlerden bir sayılmış ve “keltiyum” olarak adlandırılmıştı. Buna karşılık Kopenhag'da aynı element için (Kopenhag'ın Latince bir versiyonuyla) “hafniyum” adı benimsenmiş ve Bohr'un görüşü doğrultusunda zirkonyum elementiyle ilişkili olduğu benimsenmişti. Bohr ve meslektaşları bu ve diğer birkaç olayda

haklı çıkınca, de Broglie ve yandaşları yanıltıcı teorileri desteklemekle nam saldılar. Tahmin edilebileceği gibi, de Broglie'nin elektron dalgalarına ilişkin radikal fikirleri Kopenhag'da ve Bohr'un etkisinin güçlü olduğu diğer yerlerde ciddiye alınmadı.

Elektron Dalgalarının Gözlemlenmesi

De Broglie'nin teorisince öngörülen elektron dalgalarının deneysel olarak saptandığını nihayet 1927'de, ABD'de Clinton Davisson ve Lester Germer, İngiltere'de de G. P. Thomson (elektronları ilk kez parçacık olarak ele alan J. J. Thomson'ın tek oğlu) bildirdi.

Thomson'inkine göre daha tam ve açıklayıcı olan Davisson-Germer deneyleri, neredeyse on yıllık zorlu bir gelişim sürecinden geçti. En son haliyle ve en başarılı şekliyle bu deneylerde, titizlikle belirlenmiş düşük enerjili bir elektron demeti oluşturuluyor ve özel hazırlanmış bir nikel kristali yüzeyine yöneltiliyordu. Daha sonra saçılan demet parçaları hareketli bir detektörle toplanıyordu. Bu düzenekle yürütülen deneylerin gösterdiği üzere, elektronların tekörnek bir biçimde her yöne saçılmıyordu. Bunun yerine, belli koşullar altında, yüzeye vurma açısının yansıma açısına eşit olduğu bir doğrultuda kesin tanımlanan bir elektron akımı gözlemleniyordu. Eğer elektronlara göre nikel yüzey tamamen pürüzsüz ve düz olsaydı, bu sonuç şaşırtıcı olmayacaktı: Pürüzsüz bir duvara bir lastik top fırlattığınızda, top her zaman çarpma açısına eşit bir açıyla geri döner. Oysa parçacık türünden elektronlar için, bir nikel yüzeyin pürüzsüz olması tasarlanamaz: Parçacık yapısındaki elektronlar nikel atomlarından çok daha küçüktür ve çok daha az kütleye sahiptir. Elektron parçacıklarının nikel bir yüzeye çarpıp yansımaları, Davisson'un yerinde tanıımıyla, "bir avuç saçma tanesinin büyük bir gülle yığınının çarpıp geri dönmesine" benzer. Zorluk şuradadır: "Büyük güllerden oluşmuş bir yüzey saçma taneleri gibi küçük parçacıklar için yansıtıcı olamayacak kadar kaba ve pürüzlü bir doku taşır."

Davisson ve Germer, elektron demetini dalga görünümünü sergileyen x ışınları demetiymiş gibi ele alarak, verilerini başarıyla analiz ettiler. Lawrence Bragg x ışınları dalgalarının kristal bir düzlemden yansımalarını, tekil ışınlar üstünde yaratılan etkiyi tasarlayarak ele almıştı. Bir "birincil" ışın kristal yüzeyden yansıtılıyor ve ona kristaldeki ardışık atom katmanlarıncaya yansıtılan "ikincil" ışınlar katılıyordu. Bütün dalgaların basamaklı olarak, yani tepelerin tepeler üstüne, çukurların da çukurlar üstüne geleceği şekilde birleşmesi halinde, ister birincil, isterse ikincil olsun, yansıtılan ışınlar uyumlu ve pekişik bir dalga cephesi oluşturuyordu. Bragg bu durumu kesinleştiren denklemi kristal yapıların belirlenmesine uyguladı.

Davisson ve Germer, bir elektron demetini parçacık sağanağı olarak gören eski anlayıştan vazgeçmeleri ve Bragg denkleminin uygulanışını benimsemeleri halinde, elde ettikleri gizemli verileri çözebileceklerini saptadılar. Deneylerine başladıkları sıralarda de Broglie tarafından ifade edilen teorik bakış açısı açısından çarpıcı bir kanıttı bu. Deneylerin tasarımına ve yorumuna de Broglie'nin te-

orisinin yön vermesi pekâla mümkündü, çünkü teori Davisson ve Germer'in gözlemledikleri her şeyi etraflı olarak öngörmekteydi. Ama daha önce de gördüğümüz gibi, deneyciler teorisyenlerle her zaman yakın ilişkiye girmezler ve bunun tersi de doğrudur. Davisson ve Germer aslında de Broglie'nin makalesini okumaksızın elektron dalgalarına yönelik sistematik bir arayışa girmişlerdi. Deneyleri meşhur bir patent davası çerçevesinde ortaya çıktı.

Davanın esas tarafları General Electric ve Western Electric şirketleriydi. General Electric, rakibi Western Electric'in zaten sahip olduğu bir tasarıma benzeyen üç elektrotlu (triotlu) bir radyo lambası için temel patent başvurusunda bulunmuştu. General Electric'in iddiası kendi aygıtının yüksek vakumlu olduğu, buna karşılık Western Electric'in radyo lambasının çalışması için kayda değer miktarda havaya ihtiyaç duyduğu yönündeydi. General Electric'in savına göre, hava molekülleri pozitif iyonlar oluşturuyor ve ardından bu iyonlar lamba katodunun oksitli yüzeyini bombardımana tutup lambanın çalışması için gerekli elektronları açığa çıkarıyordu. Western Electric oksitli yüzeylere dönük pozitif iyon bombardımanının etkisine ilişkin deneysel kanıtlar elde ederek bu savı çürütmeyi umuyordu. Çalışma Davisson'un yönetiminde Germer tarafından Western Electric Laboratuvarları'nda başlatıldı. General Electric'in iddiaları çürütüldü ve böylece dava Western Electric'in lehine sonuçlandı.

Bombardıman deneyleri davanın sonuçlanmasından sonra da sürdürüldü ve oksit kaplamanın kaldırdığı yalın metal yüzeylerin bombardımanını da kapsayacak biçimde genişletildi. Germer'in belirttiği gibi, "elektron bombardımanı altındaki salımı ölçmek için bazı elektrotlardaki birkaç potansiyeli değiştirme yoluyla" da aynı işi yapmak mümkündü. Böylece elektron dalgalarının incelikli bir sergilenişine varan çalışmaya "bir tür yan uğraş olarak girildi." Elektron çalışmaları birkaç yıl boyunca sürdürüldü, elde edilen veriler gittikçe karmaşık ve garip hale bürünen bir kalıbı yansıtmaktaydı. Sıvı havayla dolu bir kabın patlamasıyla ve nikel hedefi içeren boşaltılmış lambanın parçalanmasıyla, önemli bir ipucu kazara ortaya çıktı. Düzeneği yeniden kurmak için, yüksek sıcaklıkta gazdan arıtma yoluyla nikel yüzeyi temizlemek gerekiyordu. Bu işlem özgün hedefte bulunmayan birkaç büyük nikel kristalinin oluşması gibi öngörülmemiş bir sonuç doğurdu. Karmaşıklıklar izini sürmek artık kristaller düzeyine indirildi ve yansıma düzlemleri kontrollü bir tarzda yönlendirilebilen tek bir nikel kristaliyle deneyler yeniden başladı.

O zamana kadar, yani 1926'ya varıldığında Davisson ve Germer hâlâ de Broglie'nin elektron dalgaları üzerine olan teorisinden bihaberdi. Britanya Bilimi İlerletme Derneği'nin Oxford'daki bir toplantısında, Davisson yeni dalga teorisinden söz edildiğini işitti ve bombardıman verilerindeki kalıpların, yani Germer'le birlikte x ışını davranışının belirtisi sandıkları şeylerin aslında dalga fenomenlerine ilişkin bir hikâyeyi anlattığını kavradı. "Deneyler derhal teorisinin kılavuzluğu altına girdi ve çarçabuk başarıya ulaştı" diye yazar Germer. Böylece Davisson 1937 Nobel Fizik Ödülü'nü elektron dalgalarının diğer bir buluşcusu G. P. Thomson'la paylaştı. Thomson'ın anlattığına göre, elektron dalgaları üze-

rine çalışma ilhamını “epeyce hatalı ve özünde bütünüyle yararlı” sonuçlar veren başka bir deneyi izlerken almıştı.

Bilimden Önce Güzellik

Louis de Broglie'nin dalga-parçacık simetrisine teorik bakışının hikâyesini izlerken, onun ve Paris'teki meslektaşlarının çeşitli bakımlardan “Kopenhag-Göttingen eksenini”nden koptuklarını da görmüştük. Bu durum kuantum fiziğinin sağlam uygulayıcılarının elektron dalgaları mekaniği üzerine yapabilecekleri daha ileri teorik çalışmaların önünü de büyük ölçüde kesti. Sonuçta, de Broglie'nin temellere ilişkin çalışmalarından sonra, elektronların dalga mekaniğinin baş mimarlığı Zürich'te yalnız bir bilim adamı olarak yaşayan Erwin Schrödinger'e düştü.

Schrödinger 1887'de Viyana'da doğdu. (Schrödinger, Bohr ve Born yaklaşık aynı yaşlardaydı ve kuantum mekaniğinin 1900 yılı civarında doğan öteki kurucuları Heisenberg, Dirac ve Pauli'den yaşça daha büyüktü.) Schrödinger'in babası Rudolf, döşemelik muşamba üreten aile işletmesini idare etmenin yanı sıra botaniğe, kimyaya ve İtalyan resim sanatına yoğun ve profesyonelliğe yakın bir ilgi de duyuyordu. Schrödinger'in biyograflarından William Scott, baba ve oğul arasındaki güçlü bağ hakkında şöyle yazar: “Rudolf Schrödinger dost, öğretmen ve yorulmak bilmez sohbet ahabası olarak canlı entelektüel yaşamını biricik çocuğu olan oğluya paylaşırdı. Dönüp çocukluğuna baktığında, Schrödinger babasını her ilgi alanında bir ‘temyiz mahkemesi’ olarak hatırlıyordu.” Schrödinger'in resmi öğrenimi antik dillerin ve edebiyatın ağırlıklı dersler olduğu Akademische Gymnasium'da başladı. Bir İngiliz olan anneannesinden İngilizce'yi uzmanlık seviyesinde öğrendi, sonraki yıllarda İngilizce'yi düzgün ve akıcı bir şekilde yazıp konuştu. Diğer modern dillerdeki yeteneği de çarpıcıydı; Almanca ve İngilizce'nin yanı sıra Fransızca ve İspanyolca da konuşarak konferanslar verir ve dinleyicilerin ilgisini üzerinde toplardı.

Schrödinger, Viyana Üniversitesi'ne Ludwig Boltzmann'ın trajik ölümünden kısa bir süre sonra girdi, ancak Boltzmann'ın etkisi halefi Friedrich Hasenöhr'lün verdiği teorik fizik derslerinde hâlâ canlıydı. Schrödinger uzun yıllar sonra da Hasenöhr'lün derslerini kendisi için “üstün model” olarak benimseyecek ve Boltzmann'ın düşünce çizgisini “bilimdeki ilk aşkım” diye nitelendirecekti. “Şimdiye kadar bir başkası beni çarpmadı ve gelecekte de asla çarpmayacak.”

Schrödinger önceleri atom teorisindeki modern gelişmelerle yüzleşmekte güçlük çekti: “Bağrında taşıdığı çelişkiler, Boltzmann'ın akıl yürütmesindeki safıklıkla ve karşı konulmaz durulukla karşılaştırıldığında, haşın ve kaba geliyordu. Hatta bu yüzden bir süre uzak durdum.” Schrödinger fiziğin hem felsefi hem de matematiksel sorunlarına yoğun merakıyla profesörleri ve öğrenci arkadaşları arasında hayranlık uyandırdı. Bir matematik seminerinde görüldüğü zaman, yeni bir öğrenciyi onu işaret ederek fısıltıyla “*Das ist der Schrödinger!*” denirdi.

Schrödinger 1918'de, I. Dünya Savaşı'ndan sonra yarım mesai fizikçilik ve tam mesai felsefecilik yapacağı bir kariyer aradı. Czernowitz Üniversitesi'nde bir kürsünün başına geçmesi kısa zamanda gerçekleşecek gibiydi. “Teorik fizik dersi

vererek iyi bir iş yapmaya hazırdım, ... ama geri kalan zamanda kendimi felsefeye verme uğruna." Derken savaşın bir sonucu olarak Czernowitz bir anda Avusturya'nın parçası olmaktan çıktı. "Koruyucu meleğim işe karıştı. ... Teorik fiziğe sarılmak zorunda kaldım ve hayretle gördüm ki oradan ara sıra bir şeyler ortaya çıktı."

Birkaç yıl boyunca Schrödinger, Alman üniversite hayatında yaygın görülen gezgin bir akademik kariyer sürdürdü. Jena, Stuttgart ve Breslau'daki kısa süreli konuklukların ardından (daha önce Clausius ve Einstein'ın da ders verdiği) Zürich Üniversitesi'nde altı yıl kaldı. Hayatının bu en aktif döneminde dalga mekaniği üzerine büyük çalışmasını tamamladı. Daha sonra 1927'de emekliye ayrılan Max Planck, onu kendisinden boşalan kürsüye geçmek üzere Berlin'e gitmeye ikna etti. Bir süre Berlin'deki hayat hoş geçti: Planck, Einstein ve Max van Laue oradaydı, Berlin teorik ve deneysel araştırmalar için önemli bir merkezdi.

Derken Nazi kâbusu çöktü ve Almanya'nın önde gelen entelektüellerinin toplu kaçışına Schrödinger de katıldı. Yahudi değildi ve baskı altında kalmadan göç eden birkaç Alman bilim adamından biriydi. Yeniden yollara düşüp Oxford'a, Graz'a, tekrar Oxford'a, Ghent'e ve Roma'ya gitti. Roma'dayken aynı zamanda matematikçi ve bilim adamı olan İrlanda başbakanı Eamon de Valera'yla tanışarak yakın bir dostluk kurdu. De Valera, Dublin'de (Princeton'dakini örnek alacak) bir Yüksek Araştırmalar Enstitüsü kurmasını önerdi. Bütçe dar olduğu için, çalışmalar başlangıçta iki tane "kâğıt kalem" okuluyla sınırlı tutuldu: Kelt Araştırmaları Okulu ve Schrödinger'in yönetmeye davet edildiği Teorik Fizik Okulu. Schrödinger teklifi kabul etti ve, tarafsız İrlanda'da yeniden huzurlu ve üretken bir hayata kavuştu. Dublin'de popüler bir konuşmacı haline geldi, İrlanda müziği, Kelt üslubu ve Gael dili hakkındaki bilgisiyle kendisini İrlandalılar'a sevdirdi. Ancak İrlanda'nın havası ona yaramadı. Bozulan sağlığı ve memleketi Avusturya'ya duyduğu özlem 1956'da onu Viyana'ya geri döndürdü.

Schrödinger üzerine Walter Moore'un yakın dönemde yazdığı bir biyografi, onun karmaşık kişiliğini derinlemesine irdeler ve onunla ilgili her şeyi anlatır. Schrödinger'in özellikle genç kadınlara çok kolay abayı yaktığını aktarır. "Erwin cinsel deneyime acayip meraklıydı" diye yazar Moore. "Denebilir ki buna hayatının bilim dışındaki başlıca meşgalesi olarak adamıştı kendisini. Sevişmekten hoşlanmakla kalmıyor, aynı zamanda bunu üstünlük kazanmanın ve kendini ebedileştirmenin bir yolu olarak görüyordu." Schrödinger çok sayıda yoğun aşk ilişkisi yaşadı ve birkaç tane gayri meşru çocuğu oldu. Ancak bunlara rağmen Anny (Annemarie) Bertel'le evliliği ayakta kaldı. Anny'nin evliliğe karşı tavrı Schrödinger'inki kadar ilginçti: "Kocasını her yönden harika bir adam sayardı, herhangi bir gerekçeyle eleştirilmesine karşı çıkardı" diye belirtir Moore. "Bütün *Seitensprung* [evlilik dışı ilişki] vukuatlarına katlanmaya razıydı ve kocası bir ilişkiyi bitirmek istediğinde bir tür sigorta rolünü oynardı." Schrödinger aşkta da, bilimde de güzelliğe tutkundu. Max Born'a şöyle yazmıştı: "Bilimin güzelliğini işlemekten daha yüce hedefim yok. Güzelliği bilimin önüne koyarım. Her zaman

komşumuzun karısını arzularız ve kusursuzluğa erişme şansımız son derece düşüktür.”

Schrödinger'in bilimsel çalışma yelpazesi dikkati değer ölçüde genişti. İlk uğraşlarından biri renk algılamasına ilişkin bir teoriyle ilgiliydi. Ömrünün değişik dönemlerinde modern fiziğin nerdeyse bütün yönleriyle uğraştı: Daha aşına olduğu dalga mekaniği çalışmalarının yanı sıra istatistiksel mekanik, x ışını kırınımı, gencl görelilik, birleşik alan teorisi ve özgül sıcaklıklar teorisi. 1944'te *What Is Life?* [Hayat Nedir?] adlı küçük bir kitap yayımladı. Moleküler biyoloji dünyasına ilk gezintilerden biriydi bu. (James Watson'la birlikte çift-sarmal DNA modelini bulan Francis Crick fizikten vazgeçip moleküler biyolojiye yönelmesinde büyük ölçüde Schrödinger'in kitabının etkili olduğunu anlatır.) Einstein ve Bohr gibi, Schrödinger de ilgi alanlarının çeşitliliğinde bir bütünlük bulurdu. *What Is Life?* kitabının önsözünde şunu belirtmişti: “Benim için anlam taşıyan ve dolayısıyla çeşitli vesilelerle defalarca döndüğüm belirli düşünce tarzları az sayıdadır.”

Schrödinger Denklemi

Schrödinger dalga mekaniği çalışmalarında yalnızca de Broglie'ye değil, Einstein'ın “kısa ama sonsuz uzak görüşlü” saptamalarına, İrlandalı fizikçi ve matematikçi William Rowan Hamilton'ın neredeyse bir yüzyıl önce yarattığı ikili mekaniğe borçlu olduğunu teslim eder. Fiziksel dünyanın dalga-parçacık yapılarından oluştuğuna dair herhangi bir sanının ortaya çıkmasından çok önce, Hamilton birleşik bir ışık ışını ve parçacık hareketi teori oluşturmuştu. Mantıksal sonucuna götürüldüğünde, Hamilton'ın dinamiği herhangi bir parçacığın kendine özgü bir dalga sistemiyle ilişkili olması gerektiğini öngörmekteydi. Hamilton bu mantıksal sonucu dile getirmede ve belki de hiç düşünmedi bile; çünkü 1830'lar da parçacıkların dalga görünümünün varolduğuna dair hiçbir kanıt yoktu. Ama Hamilton'ın ikili mekaniği, de Broglie ve Einstein'ın çalışmalarında ikilik temasının dirilmesine kadar geçen doksan yıl boyunca canlı kalmasına yetecek bir biçimsel, matematiksel güzelliğe sahipti. Bu bakımdan Schrödinger'in Hamilton teorisine dönmesi ve onu genişletip daha bütünsel bir dalga mekaniği haline getirmesi doğaldı.

Hamilton teorisinin dayanaklarından biri, ışın olarak kabul edilen bir ışık demetinin optiği ile bir madde parçacığının mekaniği arasındaki benzeşmedir. Ancak bu görüntü, Schrödinger'in de işaret ettiği gibi, en azından ışık ışını için bir yaklaşımdır, çünkü ışık bir ışın paketinden daha fazlasını içerir. Işınlr kırınım, girişim gibi fenomenlere yol açan dalga benzeri ince bir yapıya sahiptir. Işın optiği bu etkiler hakkında hiçbir şey söylemez, yalnızca daha kapsamlı, daha geniş ve daha süzölmüş bir optik teorisinin kullanışlı ama yaklaşık bir biçiminden ibarettir. “Dalga optiği” diyebileceğimiz daha eksiksiz teori, dalga yapısının ayrıntılı bir resmini verir, kırınım ve girişim etkilerini açıklar, ışınların dalga cephesine dikey olarak oluşturulmuş kurgusal yapılar olduğunu gösterir.

Analojiyi başlıca gerekçe olarak kullanan Schrödinger, bu mekanik-optik

paralelliğin her düzeyde geçerli olması gerektiği sonucunu çıkardı. Yani, ışın optiği dalga optiğinin yaklaşık bir biçimi olduğuna göre, Hamilton'ın şemasındaki ışın optiğinin benzeşiği olan sıradan mekanik de daha esaslı bir mekaniğin, yeni dalga mekaniğinin bir yaklaşık biçimi olmalıydı:

$$\left(\begin{array}{c} \text{sıradan} \\ \text{mekanik} \end{array} \right) \text{ için } \left(\begin{array}{c} \text{dalga} \\ \text{mekaniği} \end{array} \right) \text{ neyse } \left(\begin{array}{c} \text{ışın} \\ \text{optiği} \end{array} \right) \text{ için } \left(\begin{array}{c} \text{dalga} \\ \text{optiği} \end{array} \right) \text{ olur}$$

Eğer dalga optiği ışık dalgalarının dalgaya benzer yapılarını açıklıyorsa, yeni mekanik de elektronlar gibi madde parçacıklarının dalga yapısını göstermeliydi.

Bu akla yakın gerekçelerle yola koyulan Schrödinger, dört bileşeni harmanlayarak teorisinin matematiksel veçhelerini türetti: Hamilton'ın savları, optiğin temel diferansiyel denklemi, $E = h\nu$ biçimindeki Planck enerji-frekans denklemi

ve $p = \frac{h}{\lambda}$ biçimindeki de Broglie momentum-dalga boyu denklemi. Birkaç hatalı

başlangıçtan sonra, günümüz fizik ve kimya öğrencilerince “Schrödinger denklemi” olarak bilinen diferansiyel denkleme ulaştı. Denklemin hayret verici çeşitlilikteki atom ve molekül problemlerinde başarılı olduğu kısa sürede görüldü. Schrödinger yalnızca altı ay içinde tastamam bir matematiksel kuantum teorisini çatmıştı. Tek eksiği, Einstein'ın özel görelilik teorisinin gereklerini göz önünde tutan bir yol bulamamasıydı, ki bu da atom ve molekül teorisinde ciddi sayılamayacak bir kısıtlamaydı. Bilim tarihçisi Max Jammer'in belirttiği gibi, 1926 tarihli makaleler “hiç kuşkusuz bilim tarihindeki en etkili katkılardan biriydi. ... Aslında, göreliliğe dayalı olmayan kuantum teorisinin sonraki gelişimi önemli ölçüde Schrödinger'in çalışmasının işlenmesinden ve uygulanmasından ibaretti.”

Matematiksel açıdan bakıldığında, Schrödinger denklemi çarpıcı değildir. Başka dalga türlerini ifade etmek için türetilmiş diğer denklemleri andırır: Su dalgaları, elektromanyetik dalgalar, ışık dalgaları ve ses dalgaları gibi. Ayrıca bir enerji denklemi olarak tanımlanan sistemin, sözelimi bir hidrojen atomunun toplam enerjisinin kinetik enerjisine ve potansiyel enerjisine eşit olduğunu özel bir matematiksel dille belirtir. Bu da klasik enerjinin korunumu ilkesinin, kuantum mekaniğindeki karşılığından başka bir şey değildir. Denklem çözüldüğü zaman, Schrödinger'in önerdiği Grek harfi Ψ (büyük psi) ile gösterilen bir “dalga fonksiyonunu” verir.

Dalga fonksiyonu böyle adlandırılmıştır, çünkü beklenileceği gibi dalgaya benzer özellikleri gösterir. Değerlendirildiği zaman ve uzay içindeki konuma bağlıdır; bu nedenle elektron gibi tek bir parçacığı tanımladığında matematiksel biçimi $\Psi(x,y,z,t)$ olur. Burada x , y ve z uzaydaki bir noktayı tanımlayan koordinatlar, t ise zaman değişkenidir. Tedirgin edilmeyen bir atom ya da molekül zamanla değişikliğe uğramaz, bu durumda t dalga fonksiyonundan çıkarılabilir ve tek bir parçacık için fonksiyon $\psi(x,y,z)$ biçiminde yazılabilir.

Çaylaklar İçin Kolay, Uzmanlar İçin Zor

Yirminci yüzyıl fiziğinin en iyi tarihçisi Abraham Pais, Vladimir Horowitz'in Mozart'ın müziğine ilişkin değerlendirmesinin kuantum mekaniği için de olduğunu söyler: "Çaylaklar için kolay, uzmanlar için zor." Bu sözle demek ister ki, kuantum mekaniğini yüzeysel kavramış bir kişi hesaplamalara girişebilir, yani deyim yerindeyse notaları çalabilir ama hesaplamaların ne anlama geldiği konusunda tam fikir sahibi olması, yani Horowitz'in Mozart konusundaki uzmanlığına ulaşması çok daha zor bir iştir. Schrödinger denkleminin fizik açısından yorumlanması ve geliştirilmesi hâlâ -Schrödinger'in özgün makalelerinden uzun zaman sonra bile- canlı bir tartışma konusudur.

Schrödinger, daha sonra Born ve ardından Pauli tarafından ele alınan ilk yorum problemi dalga fonksiyonunun fiziksel anlamıydı. Sonunda ortaya çıkan kavram tamamen beklenmedikti ve yıllarca süren bir tartışmayı körükledi. Born ve Pauli dalga fonksiyonunun sadeleştirilemez bir istatistiksel anlamı olduğu sonucuna vardılar. Serbest bir atomdaki tek bir elektron için, karesi alınan dalga fonksiyonu ψ^2 elektronu verili bir konumda ya da yakınında bulma olasılığını ölçmeye yarar: Örneğin atomun merkezinin yakınında ψ^2 değer olarak büyükse, elektronun bulunma olasılığı da yüksektir. Başka bir deyişle, kuantum mekaniği istatistiksel mekaniğin bir türüdür.

Ancak kuantum mekaniği Clausius, Maxwell, Boltzmann ve Gibbs'in molekülleri oluşturan temeldeki fiziksel gerçekliğe dayalı klasik istatistiksel mekaniğinden köklü biçimde farklıdır. Bu molekül âlemini görebiliriz ve moleküllerin istatistikleri nasıl yarattığını anlayabiliriz. Uzun yıllar içinde biriken hem teorik hem de deneysel kanıtlar günümüz fizikçilerinin çoğunu kuantum mekaniğinin sunduğu istatistiksel tablonun böylesine temel bir yorumu içermediğine ikna etmiştir; kuantum âlemindeki nihai gerçeklik, görüldüğü kadarıyla, istatistikseldir ve hepsi budur.

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

Aşağı yukarı Schrödinger'in kendi denklemini kalıba döktüğü sıralarda, Heisenberg kuantum teorisinin istatistiksel niteliğini başka bir tarzda ortaya koyan bir makale yayımladı. Heisenberg'in en önemli başarısı olan bu buluşu "belirsizlik ilkesi" olarak bilinir ve çok sayıda şaşırtıcı sonucu doğurur. Bunlardan biri şudur: Bir parçacığın, sözgelimi bir atomdaki elektronun konumunu kesin ölçerseniz, kaçınılmaz olarak elektronu tedirgin ederseniz, öyle ki onda sonra gösereceği davranış neredeyse tamamen belirsiz hale gelir.

Daha biçimsel bir ifadeyle, Heisenberg ilkesi x doğrultulu bir elektronun konumundaki belirsizlik Δx ve aynı doğrultuya sahip momentumundaki belirsizlik Δp_x olduğunda, Δx ve Δp_x değerlerinin aşağıdaki formüle göre karşılıklı ilişki içinde olduğunu ileri sürer:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \quad (3)$$

Burada h yine Planck sabitidir. Benzer ifadeler diğer iki uzamsal doğrultu y ve z için de geçerlidir. Eğer Δx , konumun kesin bir ölçümünden sonra olması gerektiği gibi küçükse, Heisenberg ilkesi Δp_x momentum belirsizliğinin büyük olmasını zorunlu kılar; çünkü denklem (3)'te öngörüldüğü gibi $\Delta x \Delta p_x$ çarpımının $\frac{h}{2\pi}$ değerini geçmesi ancak bu yolla mümkündür. Momentumun hız ile kütlenin çarpımı olduğunu hatırlarsak, konumun kesin bir ölçümü bize elektronun daha sonraki hızı konusunda gerek büyüklük, gerekse doğrultu bakımından beredeyse hiç bilgi vermez.

Heisenberg bu çarpıcı vargıyı, özel bir mikroskopla yapılan bir konum ölçümünü tasarlayarak daha da somutlaştırdı. Bohr'un hatırlatmasıyla esas aldığı bu olgu, herhangi bir mikroskobun çözünürlüğünün görüntüyü oluşturan ışığın dalga boyuna bağlı olmasıydı: Dalga boyu ne kadar küçük olursa, çözünürlük o ölçüde artar. Bir atomdaki elektronun kesin bir konum ölçümü için, küçük dalga boyuna ihtiyaç duyulur. Aslında bu o kadar küçüktür ki, ihtiyaç duyulan "ışık" ışınları yüksek enerjili fotonlara sahip gama ışınları olmalıdır. Her gama ışını fotonu bir elektronu atoma bağlı tutan enerjiden çok daha fazla enerjiyi taşır. Böyle bir foton atoma bağlı bir elektronla çarpışıp Heisenberg'in mikroskobuna doğru saçıldığı zaman, elektronu bir daha geri dönmek üzere atomdan dışarıya savurması yüksek bir olasılıktır.

Sonuçta elektron ve onu içeren atom ölçüm esnasında öylesine hasar görürler ki, sonraki ölçümler için kullanılamaz hale gelirler. Belli bir elektronda yalnızca ve yalnızca tek bir anlamlı ölçüm mümkündür. Elektronun atomdaki ya da başka bir yerdeki yörüngesini sürekli izlemek kesinlikle mümkün değildir. Kuantum teorisyenlerine göre, elektronların yörüngeleri ölçülemiyorsa, teoriye göre saptanması gerekir. Atom elektronlarının Bohr ve Sommerfeld tarafından görselleştirilen yörüngesel hareketi geçerliğini yitirmiştir.

Eğer atomlardaki elektronlar Heisenberg'in savının işaret ettiği gibi ele avuca sığmazsa, belirsizliği teslim etmekle birlikte atomun iç yapısında elektron düzeyinde neler olup bittiğine dair bir şeyleri açığa çıkaracak biçimde, bir atomun elektron yapısının işe yarar bir görüntüsünü oluşturmaya nasıl umabiliriz? Tekil elektronların belirli yolları takip etmelerine dayalı bir atom teorisinin kabul edilebilir olmadığı ortadadır. Ama çok şükür ki, bu türden bir teoriye ihtiyacımız yok. Kesinlikler yerine olasılıklar üzerinde duran bir atom teorisini formüle etmek mümkündür.

Varsayalım ki, gözlemler çok sayıda atom üzerine yapılıyor olsun. Elektron konumu ölçümlerinin atomu yıkıcı bir biçimde tedirgin etmesi yüksek bir olasılık olduğuna göre, her atomun yalnızca tek gözlem için işe yarar olduğunu anlamalıyız. Heisenberg'in gamma ışını mikroskobunu kullanırsak, her ölçüm bir atomdaki bir elektronun tek olası konumunu kaydetmenin ötesinde bir şey yapamaz. Bu biçimdeki çok sayıda ölçümden alınan sonuçlar, atomdaki elektronların yerleşimine ilişkin karma, istatistiksel bir tablo kurmamızı sağlar.

Heisenberg mikroskobu hiçbir zaman gerçekleştirilmedi. Bu hiçbir fizik il-

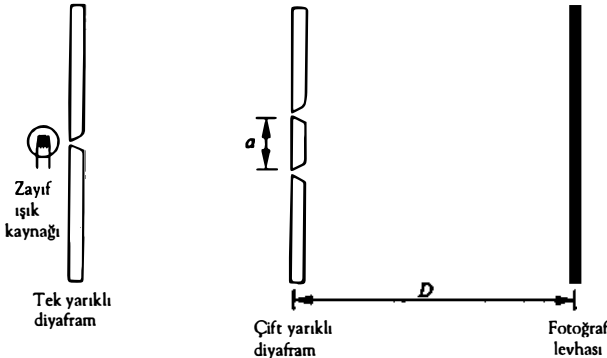
kesine ters düşmeyen bir “düşünce deneyi”dir ama teknik anlamda uygulanabilir değildir. Ancak x ışını kırınımının oturmuş metotları aynı şeyi yerine getirir. Bir kristaldeki çok sayıda atomun yansıttığı x ışınlarını analiz etmekle, kristalin atomları içinde elektronların nerede bulunduğunu ve nerede bulunmadığını gösteren bir istatistiksel harita çıkarılabilir. Atomlardaki elektron yoğunluklarının işe yarar istatistiksel haritalarını deneysel olarak elde etmek zordur, ancak Schrödinger dalga fonksiyonları aslında aynı şeyi anlatır ve atomlardaki elektronların pürüzsüz bir istatistiksel tablosu Schrödinger denkleminin uygun bir formülünü kullanarak hesaplanabilir. Serbest bir atom için denklem, atomdaki herhangi bir konum için ψ dalga fonksiyonunu tanımlar ve ψ^2 bu konumda bir elektronu bulma olasılığını hesaplamayı sağlar.

Heisenberg ilkesinin dayandığı kalıp momentum ve konumun ötesine geçerek, aynı biçimde karşılıklı belirlenemezlikleriyle bağlantılı diğer dinamik değişkenleri de kapsar. Bu bağlantıların en önemlisi enerji ile zamanı bir araya getirir. Eğer Δt ve ΔE zaman ve enerji belirsizlikleri olursa, eşitlik-eşitsizlik denklemi (3)’le benzeşme yoluyla şu sonuca varılır:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi} \quad (4)$$

Kuantum Mekanikinin Özü

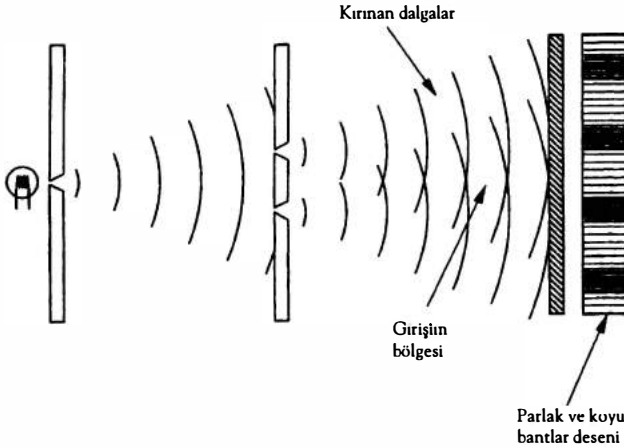
Schrödinger denklemi matematikçiler için heyecan verici olmaktan uzak ve rutin bir özellik taşır. Denklem “lineer”dir, yani Ψ_1 ve Ψ_2 çözümleri olduğunda, $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$ şeklindeki “üst-konum” çözümünü de içinde taşır. Teorisyenlerin matematiksel açıklamalarını test ederek geçimlerini sağlayan deneyciler, üst-belirleme durumlarını gözlemlemek için yaratıcı yollar bulmuşlardır ve araştırmaları onları Richard Feynman’ın “kuantum mekaniğinin özü” dediği matematiğin ötesine götürmüştür.



Çizim 19.1. İki-yarıklı deney.

Üst-konum durumlarını göstermeye yönelik deneylerin prototipi bir ışık kaynağından, biri tek yarıkla, diğeri iki yarıkla iki diyaframdan ve detektör işlevini gören bir fotoğraf levhasından oluşur (Çizim 19.1). Işığın λ dalga boyu iki yarık arasındaki a mesafesine göre küçük olduğu zaman, levhada parlak ve koyu bantlar belirir, parlak bantların merkezleri, D çift yarık arasındaki mesafe olmak üzere, $\frac{\lambda D}{a}$ mesafesiyle ayrılır.

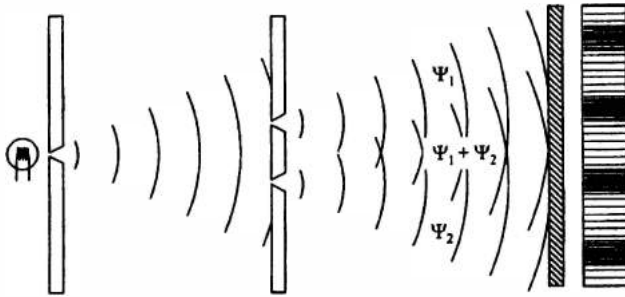
On dokuzuncu yüzyıl başlarından beri, bu tür deneylerdeki parlak ve koyu bantlar "girişim" fenomeninin kanıtı olarak kabul edilmiştir. Işık, yarıktan geçtikten sonra "kırınan" (saçılan) bir dalga katarı olarak resmedilir. Çift yarık iki kırınım dalga katarı ortaya çıkarır ve bunlar birbirile örtüşen (Çizim 19.2). Ör-



Çizim.19.2. İki-yarıkla deneyde kırınım ve girişim.

tüşme bölgesinde bir dalga katarındaki tepelerin öbür dalga katarındaki çukurların üstüne bindiği birbirini götürme durumu olabileceği gibi, tepelerin tepeler ve çukurların da çukurlar üstüne bindiği pekiştirme durumu da olabilir. Parlak bant pekiştirmenin olduğu yerde, koyu bant ise birbirini götürmenin olduğu yerde ortaya çıkar. Bütün bunlar Schrödinger dalga mekaniğinin matematiksel dilinde kolayca ifade edilir. Ayrı kırınım dalga katarları Ψ_1 ve Ψ_2 terimleriyle, girişimin olduğu örtüşme bölgesi ise $\Psi_1 + \Psi_2$ üst-konum terimiyle belirtilir (Çizim 19.3).

Normalde iki-yarıkla deney düzeneğe aynı anda çok sayıda foton gönderen güçlü bir ışık kaynağıyla gerçekleştirilir ama çift-yarıkla diyafram ile fotoğraf levhası arasındaki boşluğu tek bir fotonun bir seferde kat edeceği kadar zayıf bir ışık kaynağıyla da yürütülebilir. Bu durumda bile, levhanın çok sayıda fotonu belirlmesine yetecek kadar zaman tanınırsa, parlak ve koyu bantların bildik girişim deseni sergilenir.



Çizim 19.3. İki-yarıklı deney için dalga fonksiyonları.

Feynman'ın belirttiği gibi, “klasik yolla açıklanması imkânsız, kesinlikle imkânsız bir fenomen”dir bu. Asıl sorun, deneyin bizi *tek bir fotonun kendi kendisiyle girişime uğradığı* bir manzarayla karşı karşıya bırakmasıdır. Foton her iki yarıktan geçer, $\Psi_1 + \Psi_2$ ile gösterilen bir üst-konum durumu oluşturur ve sonuçta bir girişim deseni ortaya çıkar. Bu tuhaf sonuçtan hiçbir kaçış yolu yoktur. Eğer bir yarığı kapatırsak ya da başka bir yolla fotonu tek bir yarıktan geçmeye zorlarsak, girişim deseni yok olur.

Tek bir foton nasıl olur da iki ayrı yarıktan aynı anda geçebilir? Feynman bu tür girişim deneylerinin esrarı için açıklamalar bulma konusunda ısrarcı olmaktan kaçınır. “Esrarı nasıl işlerlik kazandığını ‘açıklama’ anlamında açıklayamayız.. Size nasıl işlerlik kazandığını *anlatacağız*. Nasıl işlerlik kazandığını anlatmakla, size bütün kuantum mekaniğinin temel tuhaf özelliklerini de anlatmış olacağız.” John Wheeler bir girişim düzeneğindeki fotonu “duman salan bir ejderha” olarak nitelendirir. Kuyruğunu, çıkış yerini, ağzını ve saptandığı yeri gösterir ama başka her şey dumanla kaplıdır: “Bunların arasında neler bulunduğu üzerine konuşmaya hakkımız yoktur.”

Bu tür kuantum tuhaflıkları fotonlarla sınırlı değildir. Aynı sonuçları ortaya çıkaran girişim deneyleri elektron, nötron ve hatta atom demetleriyle de yapılmıştır. Bütün bu yapılar iyi tanımlanmış girişim desenlerinde dalga niteliklerini sergilerler ve düzenek boyunca ilerlerken fotonlar kadar dumanlı bir görüntü taşırlar.

İkilik ve Tamamlayıcılık

Çift-yarıklı girişim deneyinin bir başka anlam düzeyi de vardır. Dalga-parçacık kavramının çarpıcı bir görsel açıklamasını sunar bize. Dalgalar parlak ve koyu bantlardan oluşan desenle sergilenir. Dosdoğru parlak bantlar arasındaki mesafeyi, yani $\frac{D\lambda}{a}$ değerini ölçerek bir λ dalga boyunu bile hesaplayabiliriz. Başka bir yönden bakıldığında, deney parçacık davranışına ilişkin aynı ölçüde ikna

edici bir gösterimi verir. Fotonlar fotoğraf levhasına ulaştıklarında, son derece lokalleşmiş olaylar halinde saptanır: Her fotonun varışı fotoğraf emülsiyonunda ufak bir benek yaratır. Girişim deseni çok sayıda benekğin bir araya gelip karakteristik parlak bandı oluşturmalarıyla ortaya çıkar. Tekil benekler parçacığa benzer yapılara işaret ederler ve ayrı ayrı ele alındıklarında dalga davranışı hakkında hiçbir şey söylemezler. Neyse ki deney bize her fotonun aynı anda bir dalga ve parçacık olduğunu anlatmaz. Girişim deseni bantlarını gözlemler ve dalgaları görürüz ya da fotoğraf levhasındaki benekleri gözlemler ve parçacıkları görürüz ama bu ikisi asla aynı anda olmaz.

Bu anlatımda gözlemcinin vazgeçilmez rolüne dikkat edin. Dalgaları ya da parçacıkları bir gözlem yaparak tanımlamaktayız: Dalgaları girişim deseniyle ve parçacıkları beneklerle. Bohr fiziksel gerçekliğe varmada kuantum teorisinin elverdiği tek yolun deneysel gözlemler olduğunda ısrarcıydı. “Kuantum mekaniği tek bir şeyle ilgilidir: Elimizdeki aletlerle ne yapabiliriz?” Onun düsturuydu. Aletler dumanı yarar ve belirli yapıları açığa çıkarır: Dalgalar ya da parçacıklar.

Ancak, Feynman’ın hatırlattığı gibi, aletler hiçbir şey “açıklamaz” bize. Kuantum mekaniğinin iki çehresinin, yani dalga ve parçacığın esrarı hâlâ başımıza beladır. Bohr’un ikilik problemi karşısındaki tavrı, bunu görünen haliyle kabul edip kuantum teorisinin temellerine katmaktı. Bohr’un “tamamlayıcılık” ilkesinin ya da felsefesinin bir özelliği buydu. İkilik sorununda geçerli fikir şudur ki, her ne kadar deneyler foton gibi yapıların dalga ve parçacık yönlerini karşılıklı dışlayıcı olduğunu ortaya koysa da, bu ikili özelliklerin ikisi de fiziksel tanımlama için temel önemdedir. Bunlar Bohr’un terminolojisinde fotonların (elektronların, nötronların, atomların vb) “tamamlayıcı” özellikleridir.

Bohr’a göre bu ayrılık kalıbı dalga-parçacık fenomeninin ötesine taşıyordu. Heisenberg’in belirsizlik ilkesinden anladığı şey, momentum ve konumun, aynı şekilde enerji ve zamanın birer tamamlayıcı değişken çift olduklarıydı. Tamamlayıcı çiftin her iki değişkeni de fizik açısından temel öneme sahiptir ama aynı anda kesin biçimde ölçülememe anlamında birbirlerini dışlayıcıdır.

Gerçek Yakup

Einstein kuantum mekaniğinin belirlenemezliğinin mutlak zorunluluk olduğunu kabul etmeye asla yanaşmadı. “Kuantum mekaniği çok saygıdeğer” diye yazmıştı Max Born’a. “Ama içimden bir ses bana bunun gerçek Yakup olmadığını söylüyor. Teori çok fazla hasıla veriyor ama Kadim Kişi’nin sırlarına bizi çok fazla yakınlıktırıyor. Her halükârda, onun zar atmadığı kanısındayım.” Uzun yıllar boyunca Bohr’la bir dizi tartışmada, Heisenberg ilkesini alaşağı etmek için her türlü hamleyi denedi. Hiçbir zaman tam başarılı olmadı, ancak son denemesi Bohr’un ve ardıllarının kafalarını yıllarca karıştırdı.

Kuantum mekaniğinin belirlenemezliğine yönelik bu saldırı 1935’te, Einstein’ın iki asistanı Boris Podolsky ve Nathan Rosen’le birlikte yazdığı kısa bir makaleyle başladı. Makalenin yazarları kuantum mekaniğinin eksik olduğunu, çünkü fiziksel gerçekliğin, kendi iddialarına göre, deneysel olarak ulaşılabilir bel-

li determinist unsurlarına ulaşamadığını ileri sürdüler. “Bir sistemi hiçbir biçimde bozmaksızın [değerini] kesinlikle öngörebildiğimiz” bir fiziksel nicelik “fiziksel gerçeklik unsuru” olarak nitelendirilir.

Einstein, Podolsky ve Rosen’in önerdiği şey, yani elimizdeki sistemi bozmaksızın bir niceliğin değerini kesinlikle ölçmek tam da kuantum mekaniğine özgü belirlenemezliğin yasak ettiği şeydi. Ancak Einstein ve arkadaşlarının belirlenemezliği alaşağı edecek ustalıklı bir hilesi daha vardı. Karşılıklı ilişkili ya da “dolaşık” (Schrödinger’in terimi) parçacık çiftlerinden oluşmuş bir kaynak üzerinde çalışmayı savundular. Çiftin üyeleri (deneyin çok sayıdaki uygulamasında olduğu gibi genellikle fotonlar) kaynaktan zıt yönlere doğru hareket ediyor olsun ve karşılıklı ilişki içindeki özellik, diyelim ki P (eğer fotonlardan bahsediyorsak polarizasyon), A ve B gibi birbirinden epeyce ayrılmış iki noktada ölçülsün. Deney öylesine tasarlanabilir ki, dolaşıklık, birbirlerine kilometrelerce uzak olsalar bile, A ve B noktalarında zıt sonuçları garanti eder. Eğer A ’da $P = +1$ (uygun birimle) ölçülürse, deneyi yapan kişi B ’de $P = -1$ olduğunu o noktada ölçüm yapmadan bilir.

Bu deney P özelliğini fiziksel gerçekliğin bir unsuru olarak tanımlamak için Einstein-Podolsky-Rosen koşulunu karşılar mı? P değeri gerektiği üzere kesinlikle öngörülür ve A ’daki ölçümün etkisinin “lokal” olması, yani B ’ye ulaşmaması, en azından ışık hızını aşan bir hıza varmaması halinde, deneyi B ’deki sonucu oradaki fotonu hiçbir bakımdan tedirgin etmeksizin verecek biçimde tasarlayabiliriz. Bu akla yakın “lokallik varsayımı”na ve parçacık dolaşıklığının dikkate değer avantajlarına dayanarak, Einstein, Podolsky ve Rosen kuantum mekaniğinin metotlarıyla erişilemeyen determinist fiziksel özelliklere gerçekliğin nasıl yüklenebileceğini göstermiş oldular. Vardıkları sonuca göre, kuantum mekaniği eksikti, çünkü bu “lokal gerçekçilik” (kendi ibareleri değil) dünyasına karşı kördü.

Lokal gerçeklik unsurlarıyla donanmış bir fizik, bu unsurları herhalde determinist bir yaklaşımla açıklamak için değişkenlere sahip olmalıdır. Böyle değişkenler kuantum mekaniğinde görülmezler ama Einstein-Podolsky-Rosen savının örtük biçimde işaret ettiği gibi, mevcut olmaları halinde, bunları kullanan ve kuantum mekaniğinin belirlenemezliğini dışarıda bırakan daha derin bir teori olmak zorundadır. Bu “gizli değişken teorileri” acaba gerçekten var mıdır? Kuantum mekaniğinin anlamına yönelik uzun süreli arayışın sonraki evresi bu soruya odaklandı.

Bell Teoremi

John Bell kendine “kuantum mühendisi” diyecek kadar aykırı bir İrlandalı teorik fizikçiydi. Çalışmalarını Fransa sınırında, Cenevre yakınında yer alan ve CERN (Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi) olarak bilinen devasa Avrupa temel parçacık laboratuvarında yürütmekteydi. Bir “mühendis” olarak, büyük parçacık hızlandırıcılarına odaklanan demet teorisine geniş kapsamlı katkılarda bulunmuştu. Ayrıca kariyerinin büyük bölümünde kuantum mekaniğinin temellerine ilişkin sonu gelmez tartışmaya yakıcı bir merakı vardı. 1964’de, otuz dört ya-

şındayken, pek bilinmeyen bir dergide “Einstein-Podolsky-Rosen Paradoksu Üzerine” başlıklı kısa ama yaman bir makale yayımladı. Makalenin kilit noktası matematiksel eşitsizlik olarak formüle edilen bir teoremdi. Bu teorem lokallik varsayımını karşılayan her gizli değişken teorisi için geçerliydi ama beklendiği gibi kuantum mekaniği için geçerli değildi. İşte Einstein, Podolsky ve Rosen’in işaret ettiği çatışma yine zuhur etmişti.

Beş yıl boyunca Bell’in makalesi büyük ölçüde gözardı edildi. Derken birdenbire deneysel fizikçilerin aklına, Bell teoreminin Einstein-Podolsky-Rosen vargılarına ulaşmanın bir başka yolundan ibaret olmadığı dank etti. Ortaya attığı eşitsizlik deneyle test edilebilirdi. Bell’in kısa bir profilini çizen Jeremy Bernstein şöyle yazar: “Bu testte riske atılan şey kuantum teorisinin geçerliliği ve anlamıydı, daha aşağısı değil. Eğer Bell’in eşitsizliği sağlarsa, kuantum teorisinin özündeki eksiklik hakkındaki Einstein’ın bütün sezgilerinin baştan beri doğru olduğu anlamına gelecekti bu. Eğer eşitsizlik bozulursa, en azından birçok fizikçinin kanısınca, Bohr ve Heisenberg’in baştan beri haklı olduğu ve klasik fiziğe dönüşün mümkün olmadığı anlamına gelecekti bu.”

Deneyler kolay değildi. Dolaşık fotonları elde etmek için uygun metotlar geliştirilmeliydi. Karşılıklı ilişkilerin kontrol edilebilmesi ve bir noktadaki etki ile diğer noktadaki sonucu arasında geçen zamanın ölçülebilmesi için, fotonlar birbirlerinden kilometrelerce ayrılan uzak yerlere gönderilmesi gerekirdi. İlk deneylerin bulguları 1970’lerin başlarında bildirildi. İnce gedikleri bertaraf etmek için, sonraki yıllarda da deneyleri geliştirme ve pürüzlerden arındırma çalışmaları sürdürüldü. Deneysel verilerin Bell teoremiyle çatıştığı artık açık seçik ortadadır, kuantum mekaniği için zafer, Einstein’ın lokal gerçekçilik kavramı için ise bozgun anlamını taşır bu. “Einstein’ın bir lokal determinist teoriyle kuantum teorisinin ‘defterini dürme’ programının yanlış güdümlü olduğunu gösteren ezici kanıtlar var şimdi” diye yazar Bernstein. “Lokal gerçekçilik düpedüz dikiş tutmamiş bulunuyor.”

Bell bazı bakımlardan duyduğu esefi Bernstein’e şöyle aktardı: “Benim için, bu deneylerdeki fotonların önceden karşılıklı ilişkiye oturtulmuş olan ve onlara nasıl [Einstein’ın lokal gerçekçiliğinin elvereceği gibi] davranacaklarını anlatan programları yanlarında taşıdıklarını varsaymak gayet mantıklı. Bu o kadar akla yakın ki, Einstein bunu gördüğünde ve diğerleri [örneğin Bohr, Heisenberg, Born, Pauli] görmeyi reddettiğinde, makul olanın o olduğu görüşündeyim. ... Yani benim için, Einstein’ın fikrinin tutmaması çok üzücü. Ne yapalım, mantıklı şey tutmuyor işte.”

Böylece Einstein’ın güvenebileceğini umduğu lokallik kavramı doğrulanmadı. Ve de bunun yerine deneyler Einstein’ın “hortlağımsı” diyeceği bir “lokallik dışı” özelliği açığa çıkardı. Dolaşık bir çift oluşturan fotonlardan biri üzerinde yapılan ölçüm, diğer foton üzerindeki ölçümü muhtemelen anında ya da her halükârda ışık hızından daha çabuk etkiler. Bu acaba Einstein’ın hiçbir sinyalin o kadar hızlı yayılamayacağını öngören özel görelilik teorisiyle çatışır mı? Tam değil. Kuantum mekaniğine özgü lokallik dışı yapı mesaj göndermek için bir araç

olamaz, çünkü ölçümlerdeki veriler tamamen rastlantısaldır ve deneyi yapanın kontrolü altında değildir. Mesaja yüklemek istediğiniz şeyi değil, karşınıza çıkacak şeyi alırsınız. Böylece, Abner Shimony'in yazdığı gibi, "kuantum mekaniğine özgü lokallik dışı yapıya rağmen, kuantum mekaniği ile görecelik teorisi arasında bir barış içinde birlikte yaşama hali" var.

Hümanist Bilim Adamı

Schrödinger bilimde hümanizm konusunda döneminin en belagatlı sözcülerinden biriydi. Galileo'dan önce fiziğin olmadığı ve kuantum fiziği kavramlarının yeni ve eşsiz olduğu yolundaki kibirli yorumlara şu karşılığı vermişti: "Kuantum teorisinin geçmişi 24 yüzyıl önceye, Leukippos ve Demokritos dönemine kadar iner. İlk kesintiliği, boş uzaya gömülmüş kopuk atomları onlar buldu. Temel parçacık anlayışımız tarihsel olarak onların atom anlayışına dayanır. ... Şimdiki biçimiyle fizik bilimi antik bilimin öz evladı, kesintisiz devamıdır." Teorisyenlerin yalnızca kendi aralarında konuşmaya başlamalarından duyduğu korkuyu da şöyle ifade etmişti: "Anlamlı ve çok önemli sayılan kurgularının eninde sonunda eğitilmiş çevrenin kavrayış sınırlarına girecek ve genel dünyanın ayrılmaz bir parçası haline gelecek kavramlara ve sözlere dökülmesinin kaçınılmazlığından habersiz bir teorik bilim, yani demem o ki, bunun unutulduğu ve işin sırrına vakıf olanların olsa olsa yakın yol arkadaşlarından oluşan küçük bir toplulukça anlaşılacak terimlerle birbirlerin ahkâm kesmeyi sürdürdükleri bir teorik bilim, ister istemez kültürel insanlığın geri kalan kesiminden kopacaktır ve uzun vadede dumura uğrayıp kemikleşmeye mahkûmdur."

Fizikçiler teorilerini veri düzenleme ve deney planlama gibi günlük işlerde kullanırlar. Teoriler fizikçinin özel ihtiyaçlarını karşılarsa "işe yarar" ama fizikçilerin kendilerini kaptırdıkları "ahkâm kesmeler" dergilerin dışındaki dünyaya ve daha da kötüsü başka bir çağın kültürüne hiyeroglif biçiminde yazılmış gibi görünebilir. Schrödinger şöyle yazmıştı: "Ara sıra, bilimsel makalelerimizin bundan 2000 yıl sonra ne hale geleceğini düşünürsek, çok yüksek ve mağrur bir hedef mi koymuş oluruz önümüze? Bilim bütünüyle değişmiş olacak. Bizim ne demek istediğimizi acaba bizim Archimedes'in ne demek istediğini anladığımız şekilde anlayan çıkacak mı?"

Schrödinger, fizikçilerin ve diğer bilimcilerin kendi uzmanlık alanlarının ötesinde dolaşmaları almaları gerektiği kanısındaydı. *What Is Life?* adlı kitabının önsözünde disiplinler arası çalışmayı ve buna heves etmeyi yüreklendirici harika sözler vardı. Kendi konusunun bazı yönlerinde uzmanlaşmadığı için özür borçlu olduğu duygusunu şöyle dile getiriyordu:

Bir bilimcinin bazı konularda ilk elden eksiksiz ve kapsamlı bilgilere sahip olduğu düşünülür ve dolayısıyla uzman olmadığı hiçbir konuda kalem oynatmaması beklenir. Bir tür "yüksek makamda bulunmanın gereği" sayılır bu. Şu andaki amacım açıtsından, eğer varsa böyle bir makamdan feragat etmeme ve bunun getirdiği yükümlülüklerden azade olmama izin verilmesini rica ederim. Özrüm aşağıdaki gibidir:

Atalarımızdan birleşik ve her şeyi kapsayıcı bilgiye dönük şiddetli özlemi devralmış bulunuyoruz. Bizzat en yüksek öğrenim kurumlarına verilen ad, bize antik çağdan ve asırlar boyunca evrensel [üniversal] yönün tam paye verilen tek yön olduğunu hatırlatır bize. Oysa son yüz küsur yılda bilginin çok çeşitli dallarının hem genişliğine hem derinliğine yayılması bizi tuhaf bir ikilemle karşı karşıya bırakmış durumda. Açıkça görülüyor ki, bilinen her şeyin hülasasını kaynaştırıp bir bütün haline getirmemizi sağlayacak güvenilir malzemeyi daha yeni edinmeye başlıyoruz ama öte yandan da tek bir beynin bunun uzmanlığa dayalı bir kısmından daha fazlasına hâkim olması neredeyse olanaksız hale gelmiş bulunuyor.

Bu ikilemden kurtulmak (ve halis hedefimizden ebediyen kopmamak) için, aramızdan birilerinin, bazıları ikinci elden ve eksik bilgilerle olsa bile ve de ahmak durumuna düşme riskine rağmen, olguların ve teorilerin bir sentezini kurmaya girişmesi dışında bir yol göremiyorum.

Özrüm bu kadar...

NÜKLEER FİZİK

Tarihsel Sinopsis

Önceki kısımda olduğu gibi, bu kısmın genel teması da atomun yapısı olacak. Kısaca belirtmek gerekirse, atom ortada yer alan ve çekirdek denen pozitif yüklü bileşen ile onun çevresinde yer alan ve elektronları barındıran negatif yüklü, kabuğa benzer yapılardan oluşur. Çekirdek, atomun geri kalan kısmına göre çok küçük ("katedral içindeki bir sinek" gibi) olmakla birlikte çok yoğun küttelidir; atom küttlesinin neredeyse tamamını içerir. Bize atomun elektron alanı teorisini veren Bohr'un ve ardıllarının katkıları çerçevesinde, atom çekirdeğine 16. Bölüm'de kısaca değinmişim. Ama ayrı ve temel bir fiziksel yapı olarak, çekirdeğin hikâyesinde daha anlatılacak şeyler var.

Şimdi önceki kısımda kuantum mekaniğinin gelişimini bıraktığımız 1920'lerden geriye gidelim ve atom çekirdeğinin en belirgin dışavurumu olan radyoaktiviteyle ilgili ilk çalışmaların yapıldığı 1890'lara dönelim. Radyoaktivite çalışmalarının iki büyük öncüsü Paris'te çalışan Marie Curie ile önce Montreal'de, ardından Manchester'da ve son olarak Cambridge'de çalışan Ernest Rutherford'du. Marie Curie ve kocası Pierre ilk radyoaktif element radyumu ayırmayı başardılar. Rutherford radyoaktif elementlerin saldığı üç "ışın"ı saptayarak bunlara α , β ve γ adlarını verdi. Genç yardımcısı Frederick Soddy'yle birlikte bu süreçte simyanın (daha kibar deyişle *dönüşümün*) devreye girdiğini ortaya koydu: Bir radyoaktif element diğereine dönüşebiliyordu. İnce metal yaprakları (gerçekte ışın değil, çift yüklü helyum iyonları olduğu sonlardan anlaşılan) α parçacıklarıyla bombardımana tutan Rutherford, Hans Geiger ve Ernest Marsden 1913'te tamamlanan bir dizi deneyle çekirdeğin varlığını sağlam kanıtlara dayandırdılar.

Rutherford'un modelinde çekirdek çok küçük ama sonlu bir büyüklüğe sahipti. Bu durum başka bir soruyu gündeme getirdi: Peki, çekirdeğin yapısal bileşenleri neydi? Bunlardan biri besbelli ki en küçük çekirdekte, hidrojen atomunda yer alan protondu. Bir başka bileşen olan nötronu Cambridge'deki

Cavendish Laboratuvarı'nda Rutherford'un sağ kolu konumundaki James Chadwick 1932'de buldu. Nötronlar çekirdeğe protonunki kadar bir kütle katarlar ama elektrik yükleri yoktur.

Rutherford'un gözde deney aracı α parçacığıydı. Bu araç ona çekirdek kavramının yanı sıra "nükleer kimya"nın ilk örneğini de sundu: Rutherford nitrojen gazını enerji yüklü α parçacıklarıyla bombardımana tutmanın nitrojeni oksijene dönüştürdüğünü saptadı. Aynı yaklaşımla Chadwick berilyumu α parçacıklarıyla bombardımana tutarak nötronları elde etti. Paris'te Irène Joliot-Curie (Marie Curie'nin kızı) ve kocası Frédéric, bor ve alüminyum α parçacıklarıyla bombardımana tutarak yapay radyoaktif elementler elde etmeyi başardılar.

Roma'daki Enrico Fermi bombardıman deneyleri için bir başka etkili mermi buldu: "Yavaş", yani düşük enerjili nötronlar. Periyodik tabloda oksijenden sonra gelen elementlerin çoğu yavaş nötronları soğurur ve süreç içinde radyoaktif hale gelir. Bu yoldan nötron kapmak, en ağır element olan uranyum üzerinde yıkıcı bir etki yaratır, çekirdeğinin çatlayarak, yani "fizyon"a uğrayarak kabaca eşit kütleli iki parçaya ayrılmasına yol açar. Fermi ve çalışma arkadaşları 1935'te uranyuma dönük ilk nötron bombardımanını gerçekleştirdiler ama sonuçları yanlış yorumladılar. İşin gerçeği ancak 1938'de İsveç'teki Lise Meitner ile Otto Frisch'in ve Berlin'deki Otto Hahn ile Fritz Strassmann'ın nükleer fizyon kavramını ortaya atmasıyla anlaşıldı.

Bir fizyon olayında bir nötron tüketilirken, iki ya da üç nötron üretilir. Nötron kazanımlarına ve kayıplarına özenli bir dikkat gösterilmesi halinde, fizyon olaylarıyla ortaya çıkan nötronlar başka fizyonlara yol açabilir ve böylece zincirleme bir nükleer tepkime sağlanabilir. Her fizyon olağanüstü miktarda bir enerjiyi açığa çıkarır. Zincirleme bir nükleer tepkime kontrol altına alındığında, yararlı bir enerji kaynağıdır. Ama kontrol dışına çıktığında, şehirleri yamyassı edecek güce sahip bir bomba olarak kullanılabilir. Fermi 1942'de benzeri görülmemiş karmaşıklıkta bir deneyle, zincirleme uranyum tepkimesinin nasıl kontrol altına alınabileceğini gösterdi. İzleyen üç yıl içinde, ABD'nin New Mexico eyaletindeki Los Alamos'ta parlak bir kadro oluşturan fizikçiler, mühendisler, kimyacılar ve matematikçiler bombayı tasarlayıp imal ettiler... Ama test ettiklerinde de, önce kendileri dehşete düştüler.

Kapıları Açmak Marie Curie



María ve Marie

Hayatı tek kelimeyle kahramancaydı. Çıkan engeller ne olursa olsun, Marie Curie üstlendiği bütün görevlerde kesinlikle durdurulamaz biriydi. Yirmi bir yaşındayken bir arkadaşına yazdığı mektupta, "Birinci kural: Kişiler ya da olaylar karşısında yenik düşmeye asla razı olmayacaksınız" diyordu. O sırada hayatını Polonya'nın küçük bir kasabasında mürebbiye olarak sürdürüyor ve Paris'te bir üniversite eğitiminin hayalini kuruyordu. Sorbonne'da öğrencilik hülyası, sonunda gerçekleşti. Varşova'daki aksak orta eğitimine karşın, eksikliklerinin üstesinden geldi ve (23'ü kadın olan 1825 öğrenci arasında) *licence ès sciences* sınavında birinci, *licence ès mathematiques* sınavında da ikinci oldu. Doktora tezi için gayet zor bir konuyu, yakın geçmişte keşfedilmiş radyoaktivite fenomenini seçti. Bu çalışmasıyla böyle bir payeyi alan ilk kadın olarak Nobel Ödülü kazandı ve daha sonra ikinci bir Nobel Ödülü elde etti. Kadın ya da erkek olsun, bu onura erişen ilk bilimci oldu. Sorbonne'da ders veren ilk kadındı ve Bilimler Akademisi'ne seçilen ilk kadın olmayı iki oyla kaçırdı (hayatında "yenik düşme"ye boyun eğdiği tek olay bu oldu). I. Dünya Savaşı sırasında Batı cephesinin dehşeti ve kaosu ortasında gezgin x ışını radyoloji birimlerinin çalışmasını tasarlayıp yönetti. Savaşın sonra seçkin bir laboratuvar direktörü oldu, sevdiği bilimsel görevlerin yanı sıra hoşuna gitmeyen kaynak bulma ve halkla ilişkiler gibi günlük işleri de üstlendi.

Marie Curie Varşova'da doğdu. Asıl adı Maria Skłodowska'ydı. O zamanlar insanların yurtsever gönüllerindeki yeri dışında, Polonya diye bir ülke yoktu.

Bu topraklar 18. yüzyılda Rusya, Avusturya ve Prusya tarafından üç parçaya ayrılıp paylaşılmıştı. Varşova ve çevresi Rusya'nın baskıcı yönetimi altındaydı. Maria'nın babası Wladyslaw [Ruslar'ın denetimindeki] bir devlet ortaokulunda fizik ve matematik hocasıydı ama Rus üstleriyle siyasal farklılıklardan dolayı bir dizi mevki indirimine maruz kalmıştı. Sonunda kendi evinde özel bir yatılı okul açmak zorunda kaldı. "Bilimi seven ve kendi kendini yetiştirmek zorunda olan babamdan ... [matematik ve fizikte] hazır yardım gördüm" diye yazacaktı Maria daha sonraları. "Doğa ve onun işleyişi hakkında bize açıklamalarda bulunmaktan büyük zevk alırdı. Ne yazık ki bir laboratuvarı yoktu ve deneyler yapamıyordu." Maria'nın kardeşi Józef, "İleriki yaşlarımızda bile, bütün sorularda tıpkı bir ansiklopedi gibi ona başvururduk" diye aktaracaktı geçmişteki günleri.

Maria'nın annesi Bronislawa, kızının hatıralarındaki izlenime göre, "aileyi seçkin ahlaki otoriteyle bir arada tutan ... olağandışı kişiliğe sahip" bir kadındı. Kocasını gibi o da öğretmendi, zamanla saygın bir kız okulunda müdire oldu ve bu arada beş çocuk doğurdu. En küçükleri Maria 1867'de doğdu. Daha Maria çocukken, aile iki yıkıcı kayıpla sarsıldı. 1876'da ailenin en büyük kızı Zofia tifüsten öldü ve 1878'de Bronislawa tüberküloza yenik düştü. Maria annesinin ölümünden "hayatımın en büyük acısıydı ve beni çok derin bir bunalıma soktu" diye söz eder. "Onun üzerimdeki etkisi olağanüstüydü, benim için küçük bir kızın annesi için duyduğu doğal sevgi tutkulu bir hayranlıkla birleşmişti."

Sklodowski ailesinin bütün çocukları okulda çok başarılı oldu. Hepsinden öne çıkan Maria liseyi sınıf birincisi olarak bitirdi. Wladyslaw kızının mezuniyetten sonra bir ortam değişikliğine ihtiyaç duyduğuna karar verdi. Onu bir yıllığına dayılarının küçük (ve neredeyse harap) çiftliğine gönderdi. Genç kız orada kuzenlerinin delidolu, neşeli yaşamına girmekten büyük bir mutluluk duydu. Son bir kaçamak olarak, Maria ve ablası Helena, annelerinin zengin bir eski öğrencisinin bazen dans partilerinin günlerce sürdüğü konağında bir yaz geçirdiler. Helena bir keresinde "kıvıldayamayacak hale gelene kadar üç gün boyunca" dans ettiklerini aktarır anı kitabında. "İnsanın hayatında en azından bir kere çılgın bir yaz geçirmesi güzel bir şey."

Varşova'ya döndüklerinde hayat pek o kadar şen şakrak değildi. Maria'nın şöyle ya da böyle üniversite eğitimi için yollar ya da araçlar bulması gerekiyordu. Varşova Üniversitesi bir seçenek değildi, çünkü kadınları kabul etmiyordu. Bir süre için, örgütleyicilerinin destek bulabildikleri yerde yasadışı olarak toplanan gizli "Uçan Üniversite"ye katıldı. Hırslı bir Polonyalı öğrencinin ileri düzeyde eğitimi için en iyi yol olan Paris'teki Sorbonne ulaşılmaz görünüyordu. Wladyslaw'ın maaşı yetersizdi ve sahip olduğu birikimi de kayınbiraderinin yanlış tavsiyeleriyle kaybetmişti. Gençliğin bütün iyimserliği ve enerjisiyle, Maria ve ablası Bronislawa (Bronia) çıkmazdan kurtulmayı sağlayacak cesur bir anlaşma yaptılar. Maria mürebbiye olarak iş bulacak ve Paris'te tıp eğitimi görmesi için Bronia'ya destek olacaktı. Daha sonra Bronia elindeki diplomayla işleri yoluna koyu para kazandığında, küçük kızkardeşini Paris'e getirecekti.

Maria dört yıl boyunca başka insanların evinde mürebbiyelik yaptı. Genç

kadın için yorucu bir tecrübeydi bu ve kimi zaman ümitsizliğe düştü. “İleride kesinlikle hayatımın en gaddar günleri arasında sayacağım anlar yaşıyorum bazen” diye yazıyordu bir arkadaşına. Ama yalnızlığında, kendi başına bilim eğitimi sürdürebilecek zamanı buldu: “Bağımsız çalışma alışkanlığını edindim ve ... ufak ufak denemelerle, gerçek tercihlerimi buldum, sonunda matematik ve fiziğe yöneldim.”

Maria ilk mürebbiyeliğini Varşova'nın seksen kilometre kuzeyinde, küçük bir kasabada Zowarski ailesinin yanında yaptı. Sonu hayırlı olmayan eğlencele-re daldı. Zowarski'lerin oğlu Kazimierz'e âşık oldu. İlgi karşılıklıydı ve ilişki ciddileşti. Ama hünerli de olsa, beş parasız bir mürebbiye, Zowarski çiftinin çocukları için düşündükleri eş değildi ve gönül serüvenini haşın bir sonla bitirdiler.

Sonunda Paris'ten yazan Bronia kurtuluşu müjdeledi. Tıp eğitimi bitirmek üzereydi ve yine kendisi gibi doktor olacak Kazimierz Dluski'yle evlenmeyi tasarlıyordu. “Benim küçük Manya'm, artık biraz hayatına çekidüzen vermelisin” diye yazmıştı Bronia. “Bu yıl birkaç yüz rubleyi bir araya getirebilirsen, gelecek yıl Paris'e gelip bizim yanımızda kalabilirsin.” Maria belki aklı hâlâ Kazimierz Zowarski'de olduğu için bir yıl kadar tereddüt etti. Sonunda Kasım 1891'de, yol boyunca ihtiyaç duyacağı bütün yiyeceği yanına alarak ve dördüncü mevkide bir kamp taburesinde oturarak, Paris'e bin altı yüz kilometrelik bir tren yolculuğu yaptı. Artık eniştesi olan Kazimierz Dluski, onu Kuzey Garı'nda karşıladı.

Maria Sklodowska Paris'te yeni bir hayata başladı ve adını Marie olarak değiştirdi. Yaşam koşullarında birkaç yeni düzenleme gerekli olmuştu. Bronia bir ziyaret için Varşova'yı gidecekti. Dışa dönük ve dost canlısı bir kişiliği olan Kazimierz, Marie'nin uzun sohbetlerden hoşlanacağını ve eğlenmesine yardımcı olacağını umuyordu. Artık Marie olan Maria'nın ise başka öncelikleri vardı. Kazimierz kayınpederine yazdığı bir mektupta şunları belirtiyordu: “Matmazel Marie çok başına buyruk bir genç. ... Zamanının neredeyse tamamını Sorbonne'da geçiriyor ve onunla yalnızca akşam yemeklerinde görüşebiliyoruz.” Marie'nin kardeşi Jósef'e mektubunda aktardığı durum ise şöyleydi: “Küçük eniştem beni durmadan [rahatsız ediyor] ve münasip bir sohbet dışında bir şey yapmama tahammül edemiyor. ... Bu konuda onunla savaşımam gerekti.”

Anlaşmazlık tatlı sertti ama Marie bağımsızlığına sahip olmalıydı. Altı ay sonra, Latin Mahallesi'nde bir çatı dairesine taşındı. Altıncı kattaki daire bir odadan ibaretti. Yazın sıcak, kışın dondurucuydu. Yemeğini bir ispirto ocağında pişiriyordu ve parası genelde ekmek ile bir fincan çikolata, arada bir yumurta ve meyve almaya yetiyordu. Ama hiç cesaretini yitirmedi. “Bazı bakımlardan acılı olan bu hayat benim için her şeye rağmen gerçek bir çekicilik taşıyordu” diye yazacaktı daha sonraları otobiyografisinde. “Bana çok değerli bir özgürlük ve bağımsızlık duygusu veriyordu. Paris'e meçhul biri olarak büyük şehir içinde kaybolmuştum ama orada tek başına yaşamak, kimsenin yardımı olmadan geçimimi sağlamak hiç de canımı sıkıyordu. Kimi zaman yalnızlık hissetsem bile, çoğu zaman kafam sakindi ve büyük moral tatmin içindeydim.”

Dâhi Kadın

Marie aslında lisans sınavını geçtikten sonra Varşova'ya dönüp babasıyla birlikte yaşamak ve her iki ebeveyni gibi öğretmenlik mesleğine atılmak niyetindeydi. 1894'te Pierre Curie'nin hayatına girmesiyle, bu planlar tamamen bozuldu. Tanıştıklarında Pierre otuz dört yaşındaydı, teorik ve deneysel fiziğe bazı sağlam katkıları olmuştu. O ve kardeşi Jacques "piezoelektrik" etkisini birlikte bulmuşlardı. Bu etki, belli kristallerin, özellikle de kuvars kristallerinin karşıt yüzlerine bir kuvvetin uygulanmasıyla bir elektrik potansiyeli ya da tersine bir işlemle kristale elektrik potansiyeli uygulayarak bir kuvvet yaratılmasına dayanır. Pierre ayrıca tek başına bir deneysel manyetizma çalışması yürüterek, ısı değişikliklerinin manyetik maddeler üzerindeki etkisine odaklanmıştı. Duyarlı elektrikli aletlerin usta bir tasarımcısı ve yapımcısıydı, daha sonraları bu yeteneği Marie'yle birlikte yürüttükleri radyoaktivite çalışmalarında önemli bir rol oynıyordu.

Marie ve Pierre'i bir araya getiren kişi, Pierre'in çalışmalarına hayran bir Polonyalı fizikçiydi. Marie'nin anılarına göre, Pierre'in üzerinde bıraktığı ilk izlenim şöyledi: "Odaya girdiğimde Pierre Curie balkona açılan iki kanatlı bir pencerenin eşiğinde ayakta duruyordu. Otuz beş yaşında olmasına rağmen, bana çok genç göründü. Yüzündeki duru ifadeden ve bütün tavırlarındaki ince, dalgın havadan etkilenmiştim. Oldukça yavaş ve ölçülü konuşması, yalnlığı, ağırbaşlı olduğu kadar dinç gülümseyişi insanda güven uyandırıyordu."

Pierre başkalarını hayalleriyle etkilerdi ama aynı zamanda iş yapan bir insandı. Güncesine bir keresinde şöyle yazmıştı: "Hayatı bir düş üzerine kurmak ve bu düşü gerçekleştirmek gerekir." Marie'nin onunla ilgili biyografisinde şu saptama yer alır: "Tamamen özgür bir ortamda yetişmiş, doğa bilimi zevkini babası için bitkiler ve hayvanlar topladığı kır gezintilerinde edinmişti. Yalnız başına ya da ailesiyle yaptığı bu gezintiler, ömrünün sonuna kadar süren bir tutku olarak içindeki büyük doğa aşkını uyandırmıştı."

Pierre her zaman kendi bildiği yolda giderdi. Bu kitap boyunca başka yalnız bilim adamlarıyla da karşılaştık. Pierre Curie bu türün en keskin örneğiydi. Fransız bilim çevresinin dayattığı oyunu oynamayı reddetti. Geleneksel ulusal onur ödülleri kabul etmedi. Doktora tezini bitirmeyi ağırdan aldı ve Bilimler Akademisi'ne seçilmesini isteyen arkadaşlarıyla hareket etmedi. Kariyerinin büyük bir bölümünde, mühendisleri eğitmek üzere yeni açılmış olan ve prestijli kurumlar arasında sayılmayan Fizik ve Kimya Okulu'nda görevler aldı.

Marie ve Pierre tanıştıklarında, her ikisi de romantik yakınlaşmalar peşinde değildi. Kazimierz'le gönül ilişkisinin anıları hâlâ Marie'nin içini yakıyordu. Pierre de çocukluğundan beri sevdiği bir kızın trajik ölümünün etkisinden henüz sıyrılammıştı. Bilim onun için bir tür papazlığa dönüşmüştü ve evlilik pek mümkün görünmüyordu gözüne. Yirmi iki yaşındayken günlüğüne şöyle yazmıştı: "Kadınlarda hayatı sırf hayat olarak sevmek eğilimi erkeklere oranla daha güçlü. Dâhi kadınların sayısı çok az. ... Bütün düşüncemizi hemen etrafımızdaki meşgalelerden uzaklaşmamızı sağlayan bazı işlere verdiğimizde, kadınlarla boğuşmak du-

rumunda kalıyoruz ve bu de neredeyse eşit olmayan bir kavga oluyor. Hayat ve doğa adına, bizi geri döndürmeye çalışıyorlar.”

Marie Sklodowska’da nadir görülen bir şeyi, bir “dâhi kadını”, olağanüstü yetenekli ve kendisi gibi hayatını bilime adanmış bir insanı gördü Pierre Curie. Aşk ve evlilikle ilgili düşüncelerini yumuşattı ve Marie’yi elde etmeye çalıştı. Daha sonra bunun hayatı boyunca tereddüt etmediği tek olay olduğunu söyleyecekti.

Marie için rahatsız edici bir ikilem söz konusuydu. Pierre’i ve Fransa’da kalıcı bir hayatı kabul ederse, “ülkesini ve ailesini terk etmek” anlamına gelecekti bu. 1894 yazında içinde bir şüpheyle Paris’i terk etti ve Polonya’ya döndü. Pierre umutlarını sayıp döken ve Ekim ayında geri dönmesi için yalvaran mektuplar gönderdi. “Umut etmeye cüret edemezsem bile” diye yazdı, “ne kadar hoş bir şey olurdu diye düşünüyorum, hayatımızı birbirimizin yakınında düşlerimize hipnotize olmuş halde geçirebilmemiz: Senin yurtseverlik düşün, benim insancılık düşüm ve bizim bilimsel düşümüz.” Marie içindeki şüpheler dağılmış olarak sonbaharda döndü.

Marie ve Pierre, Temmuz 1895’te, Pierre’in anne babasının yaşadığı Paris varoşlarından Sceaux’un belediye binasında evlendiler. Düğün alayı daha sonra bir resepsiyonun verildiği Curie ailesinin evine yürüdü. “Çok güzel bir gündü” diye yazar Marie’nin en son biyografı Susan Quinn. “Bahçe, Temmuz sonundan kalma süsenlerle ve güllerle dolup taşıyordu. Varşova’dan Marie’nin babası ve kızkardeşi gelmişti. Tabii Marie’nin ablası Bronia da, Kazimierz [Dlusi] ile birlikte. Curie ailesinden daha fazla insanla kaynaşarak oradaydı. Helena’nın hatırladığı gibi ‘eğlenceli bir ortam’dı.”

Becquerel Işınları

Bilimsel buluşlar bazen öyle ters ve şaşırtıcıdır ki, yalnızca tesadüfler sonucu ortaya çıkabilir. Curie’lerin meslektaşı Henry Becquerel ve radyoaktivitenin bulunuşu için de durum böyleydi. Hikâye 1895’te Wilhelm Röntgen adında oldukça becerikli bir Alman deneysel fizikçinin “x ışını” adını verdiği yeni bir tür radyasyonu haber vermesiyle başlar. Röntgen’in yeni ışınları ışığa benziyordu: Düz çizgiler halinde hareket ediyor, gölge yapıyor ve kolayca fotoğraf negatifleri çıkarıyordu. Ama şaşırtıcı biçimde, eller, ayaklar, bacaklar ve kollar dahil, aydınlatıldığı hemen her şeyden geçebiliyordu. Kemiklerin ve diğer iç anatomi parçalarının bu ışınlarla yaratılan gölgeleri popüler bir heyecan yarattı. Daha önce hiç bir bilimsel gelişme bu kadar hızlı ve yaygın rağbet görmemişti.

Röntgen’in x ışınları odaklı bir elektrik boşalması, bir “katot ışınları” demeti sağlamak boşaltılmış bir cam tüpte ortaya çıktı. Katot ışını demeti tüpün cam duvarına çarpınca, bu noktada x ışınları belirdi. Aynı noktada cam güçlü bir parlama ya da flüorışma da gösterdi. Becquerel ve başkaları flüorışının ve x ışınlarının aynı mekanizmayla üretilebileceğini düşündüler. Bu fikir 1896’da Becquerel’i başka kaynakların bilinen flüorışlarına eşlik eden x ışınlarını aramaya yöneltti. Özellikle daha önce güneş ışığı etkisi altında flüorışını çalıştığı ve potas-

yum uranil sülfat içeren uranyumu araştırdı. Gerçekten de bu uranyum tuzu güneş ışığına maruz kaldıktan sonra keskin bir radyasyon salmaktaydı. Daha sonra, görünüşte talihli bir kazayla, Becquerel uranyum tuzunun güneş ışığına maruz kalmadan da kalıcı bir keskin ışın kaynağı olduğunu keşfetti: Keskin ışınlar flüorışıyla doğrudan bağlantısı olmadan bağımsız bir fenomendi. Eğer flüorışıma mekanizmasıyla olmuyorsa, her zaman bir tür enerji miktarı girdisine ihtiyaç duyan ışınlar nasıl üretiliyordu? Becquerel ışınlarının belirgin bir enerji kaynağı yoktu: Görünüşe bakılırsa, termodinamiğin birinci yasasını çürütücü bir durum bile sayılabilirdi.

Ortalığı karıştıracı bir haberdi bu ama hak ettiği önemi belki de Röntgen'in daha heyecan verici x ışınları yüzünden görmedi. Ama iki tutkulu araştırmacı buna önem verdi: O esnada Paris'te uygun bir doktora tezi konusu arayan Marie Curie ve Cambridge'de bir sonraki bölümde izleyeceğimiz olağanüstü kariyerine başlayan Ernest Rutherford.

Barakada Bilim

Becquerel ışınlarının ayrıntılı bir deneysel çalışması yeni kurulmuş Sklodowska-Curie araştırma ekibi için kusursuz bir tercihti: Farklı kaynaklardan ışınların şiddetini doğru ölçmek için gerekli araçlara sahiptiler. Becquerel uranyum ışınların elektriklenmiş cisimlerin yükünü boşaltabileceğini yazmıştı. Sözgelimi yüklü bir kondansatörün levhaları arasına uranyum tuzu yerleştirilirse, kondansatör yükünü yavaşça boşaltan zayıf bir elektrik akımı ortaya çıkıyordu. Curie'nin erkek kardeşlerinden birinin icadı olan hassas elektrometre bu akımları ölçmek için idealdi.

Marie Curie çalışmasına saf bileşikler ve mineralleri kapsayan bir listeyi inceleyerek başladı. Her malzemeyi 100 volttaki kondansatörün levhalarından birine yayıyor ve boşalan akımı Curie elektrometresiyle ölçüyordu. Beklendiği gibi, uranyum bileşiklerinin ve aynı biçimde toryum bileşiklerinin bu aygıtta "aktif" olduğu ortaya çıktı. Curie'lerin daha sonraki araştırmalarına yön verecek kilit gözlem, uranyum minerallerinin, özellikle de pekleldin (çoğunlukla uranyum oksit) saf uranyumdan daha aktif olmasıydı. Başka durumlarda bu aktivitenin bir numunedeki uranyum elementine orantılı olması nedeniyle, bu gözlem uranyumdan daha aktif ama henüz belirlenmemiş bir elementin küçük miktarlarda bulunduğu işaretini gibiydi. Hızlı ve şaşırtıcı bir gelişmeyle, araştırma fizikçileri ve kimyacıları her zaman heyecanlandırmış bir yöne saptı: Yeni bir element avı.

"Başlangıçta bilinmeyen maddenin ışınlar salma dışındaki hiçbir kimyasal özelliğini bilmediğimizden, araştırmamız gereken bu ışınları" diye yazacaktı Marie, daha sonra otobiyografisinde. Curie'ler pekleldin üzerinde analitik kimya tekniklerini kullanarak, varlıklarını bildikleri elementleri içeren kısımları ayırdılar ve ayrılan kısımların aktivitelerini ölçtüler. Bu yeni yaklaşım çok geçmeden işe yaradı: Bizmut bakımından zengin kısımlar, işlenmemiş numuneden daha aktif, yani günümüzdeki ifadeyle daha "radyoaktif"ti. Karı koca 1898'de yayımla-

dıkları bir makalede, Marie'nin gururla damgasını vurduğu yeni bir elementi açıkladılar: "Öyle inanıyoruz ki ... pekblendden elde edilen madde şimdiye kadar belirlenmemiş olan, analitik özellikleri bakımından bizmutla yakın ilişki içinde olan bir metal içeriyor. Yeni metalin varlığı onaylanırsa, birimizin ülkesinin adından dolayı buna *polonyum* denmesini öneriyoruz." Yaklaşık altı ay sonra, Fizik ve Kimya Okulu'ndan meslektaşları Gustave Bemont'la birlikte Curie'ler, yüksek radyoaktiviteye sahip bir başka elementi bulduklarını açıkladılar. Bu seferkine *radyum* adını koydular.

Her iki iddia da akla yakındı. Ama kesin ifadeyle belirtmek gerekirse, yeni elementlerin arıtılmasına, fiziksel ve kimyasal bakımdan nitelendirilmesine kadar geçici nitelikteydi. Elementleri izole etmek çok ağır bir işti. Işınlarıyla kolayca belirlenmelerine rağmen, radyoaktif elementler doğada son derece küçük miktarlarda mevcuttu. Bir ton hammaddede ancak bir gramı bulan bir orandaydı bu. Nihai ürünün olağanüstü miktarlarda pekblend atıklarından tedrici adımlarla ayrılıp çıkarılması gerekiyordu. Marie Curie radyumu izole etmeye yönelik bu korkunç görevi üstlendi. Önündeki engelleri şöyle anlatır: "Altyapı bakımından çok yetersiz donanımına sahiptik. ... Büyük miktarlarda cevheri titiz kimyasal işlemle geçirmeye gerek vardı. Büyük ve zorlu girişimimiz için ne paramız ne uygun bir laboratuvarımız ne de yardım edecek personelimiz vardı. Yoktan bir şey yaratmak gibi bir şeydi bu. Eniştem üniversitedeki ilk yıllarımı bir zamanlar hayatımın kahramanlık dönemi diye nitelendirmişti. Abartmadan söyleyebilirim ki, kocamla birlikte girdiğimiz o dönem müşterek hayatımızın gerçekten kahramanlık dönemiydi."

Uygun bir laboratuvar mekânı yoktu.

Daha iyisi olmadığı için, [Fizik ve Kimya Okulu] Müdürü, bir zamanlar Hekimlik Okulu'nun teşrih odası olarak hizmet görmüş metruk bir barakayı kullanmamıza izin verdi. Cam çatı yağmura karşı yeterli koruma sağlamıyordu. Yazın sıcaklık nefes aldırılmıyordu, kışın demir soba yakın çevresi dışında keskin soğuğu çok az engelleyebiliyordu. Kimyacıların genelde kullandıkları cihazları elde etmenin bir yolu yoktu. Fırınlr ve gaz ocakları konmuş birkaç çam tahta masamız vardı yalnızca. Rahatsız edici gazların ortaya çıkmasına yol açan kimyasal işlemlerimiz için, bitişikteki avluyu kullanmak zorundaydık. Bu durumda bir gazlar çoğu kez barakanın içine doluyordu.

İnsana bir kâbus gibi görünse de, paradoksal biçimde Marie Curie'nin sevecenlikle hatırladığı bir dönemdi bu:

İşte bu sefil ve eski barakada hayatımızın en güzel ve en mutlu yıllarını, bütün günlerimizi çalışmaya vererek geçirdik. ... Kimi zaman bütün bir gün boyunca kendi boyumda, ağır bir demir çubukla kazanda kaynayan bir kütleyi karıştırmak zorunda kalıyordum. Günün sonunda yorgunluktan bitkin düşerdim. Buna karşılık bazı günlerde çalışma radyumu yoğunlaştırma çabasıyla son derece dakik ve nazik bir

damıtık kristalleştirme işlemine bürünürdü. Böyle zamanlarda değerli ürünlerimi havada uçuşan demir ve kömür tozlarından koruyamadığım için çileden çıkardım. Ama bu araştırma ortamının dertsiz sükûnetinin verdiği keyfi, daha iyi sonuçlara varma yolundaki güvenli umutla sağladığımız gerçek ilerlemenin uyandırdığı heyecanı asla ifade edemem.

Curie Çifti

Radyum projesi zorluydu ama tatillerde Curie'ler genellikle bisikletleriyle kırları dolaşacak zamanı buldular. Handan hana konaklayarak gidiyorlardı ve yetkin bir doğa bilimci olan Pierre bitkiler toplayıp tanımlıyordu. Marie 1897'de bir kız çocuğu doğurdu. İrene adını verdikleri bu çocuğa çoğu kez dedesi, Pierre'in kısa bir süre önce dul kalmış babası Eugène baktı. İkinci kız çocuğu Eve 1904'te doğdu. Pierre ve Marie aile buluşmaları, bilimsel toplantılar ve fizik dünyasından birkaç yakın arkadaşlarla görüşmelerin ötesinde neredeyse geçmeyen bir toplumsal hayattan rahatsız değillerdi. Yakın meslektaşları arasında Pierre'in eski öğrencisi ve manyetizmaya ilişkin ilk elektron teorisiyle tanınan Paul Langverin, fizikokimyacı ve büyük moleküller üzerindeki çalışmasını daha önce değindiğimiz Jean Perrin ve araştırmaları fiziğin neredeyse bütün alanlarını kapsayan Georges Gouy vardı.

Hoşlarına gitsin ya da gitmesin, radyum araştırması yayımlandığında, dünyanın dikkati kısa sürede Marie ve Pierre Curie'ye dikkatini çevirdi. Radyum bakımından zengin numuneler bütün beklentilerin ötesinde radyoaktif ve sanki potansiyellerini göstermek için karanlıkta parlıyorlardı. Ernest Rutherford, Haziran 1903'te Marie'nin doktora tezini başarıyla savunduğu şenlik gününde Curie'leri ziyaret etti. Paul Langverin tarafından Marie'nin onuruna verilen bir akşam yemeğinde onlara eşlik etti. Daha sonraları bu olayı şöyle aktaracaktı: "Hoş bir akşamdan sonra, saat 11 civarında bahçeye çıktık ve Profesör Curie kısmen çinko sülfatıyla kaplı, içindeki çözeltide radyum olan bir tüp getirdi. Parlaklık karanlıkta muhteşemdi ve unutulmaz bir gün için görkemli bir final olmuştu."

Pierre, Londra'da Kraliyet Bilim Derneği'ne çalışmaları hakkında olumlu tepkiler alan bir konferans verdi. Kısa bir süre sonra Marie ve Pierre kimyada yılın en önemli buluşunu yaptıkları için Humphry Davy Madalyası'yla ödüllendirildi. Pierre'in madalyayı kabul etmesi, geçmişte ödülleri ve nişanları küçümseyen tavrında bir değişikliği gösteriyordu. Daha sonra Curie'ler 1903'te Becquerel'le birlikte Nobel Ödülü'nü paylaştılar. Nobel komitesi ödül gerekçesinde şunu belirtiyordu: "Fizik araştırmaları için çok önemli ve ilgi uyandıran tamamen yeni bir alan açılmış bulunuyor. Bu buluşlarda en büyük pay hiç şüphesiz en başta Henry Becquerel ile Bay ve Bayan Curie'ye aittir. ... Becquerel'in uranyumdaki spontane radyoaktiviteyi bulması ... ilginç özelliklere sahip başka elementleri bulmaya yönelik gayretli araştırmalara ilham oldu. Bu anlamda en görkemli, metotlu ve sebatkâr araştırmalar Bay ve Bayan Curie tarafından yapıldı."

Pierre bu sefer kısmen eski alışkanlıklarına döndü. Ödülü reddetmedi ama İsveç Akademisi'ne kendisinin ve karısının ödül töreninde bulunamayacağını bil-

dirdi. Gösterdiği gerekçe ise şuydu: “Yılın bu vaktinde her ikimize verilmiş olan öğretim görevlerini büyük ölçüde aksatmadan ayrılmamıza olanak yok.” Zorunlu Nobel konuşmasını sonunda 1905 sonbaharında Pierre yaptı.

Nobel Ödülü Pierre’e Sorbonne’da bir atama ve Curie’lerin tamamen hazırlıksız yakalandığı bir şöhret tufanını beraberinde getirdi. Gouy’a bir mektubunda şöyle yazıyordu Pierre: “Dünyanın bütün ülkelerinin gazeteci ve fotoğrafçıları tarafından kovalanıyoruz. Kızım ile dadısı arasındaki bir konuşmayı yazacak ve evimizde kalan siyah-beyaz kediye anlatacak kadar ileri gittiler. ... Dahası, bizden para isteğinde bulunan çok sayıda kişi var. ... Son olarak, imza toplayıcıları, züppeler, sosyete mensupları ve hatta kimi zaman bilimciler laboratuardaki [baraka] muhteşem ve asude mekânımızda bizi görmeye geliyor. Ayrıca gelen mektuplara cevaben her akşam bir yığın şey yazmak zorundayız.”

Gazeteciler “Curie çifti”ne ve onların “bir fizik laboratuvarındaki pastoral yaşamı”na hayran kaldılar. Özellikle Marie’nin üzerine odaklandılar. Yakın dönemde biyografisini yazan Susan Quinn’e göre o “alışılmış bir âlim karısı olmaktan çok uzaktı. Basının ve kamuoyunun ilgisini her şeyden daha fazla çeken nokta buydu. Bir kadın ile bir erkeğin hem aşta hem işte bir arada olabilecekleri fikri bazıları için heyecan verici, bazıları için de korkutucuydu.”

Ölümcül Saatler

Radyoaktivitenin bir de karanlık yüzü var. Radyumun ve diğer radyoaktif elementlerin saldıdığı “ışınlar” aşırı enerji yüklüdür ve canlı hücreleri yok edebilir, derin yanıklara yol açabilir, iç organları tahrip edebilir. Radyoaktivite araştırması sırasında Curie’ler ve meslektaşları bu biyolojik etkilerden bazılarının bilincinde olmakla birlikte, hasarın yüzeysel olacağını sandılar ve sağlıklarına yönelik sistemli tehlikeleri ciddi biçimde hafife aldılar. Bugün elde olan bilgilerle Curie’lerin tıbbi öykülerine baktığımızda, şimdiki adıyla “radyasyon hastalığı”nın çeşitli biçimlerine yakalandıkları kuşkusuna varabiliriz. Radyumun bulunuşunu izleyen yıllarda, Marie ile Pierre’in ikisi de artan biçimde bitkinlik sıkıntıları yaşadılar. Marie anemikti ve kilo kaybetti, Pierre ise “akut ağrı atakları çekmeye” başladı. Pierre’in sağlık sorununa önce “romatizma”, daha sonra “bir tür nevrasteni” tanısı kondu. Bacaklarında ve sırtında bir kemik ağrısı hissediyordu. Nobel konuşmasını ikinci kez ertelemesine 1904 yazındaki “şiddetli bir kriz” neden oldu. Ertesi yılın sonbaharında Gouy’a, acılar ve bitkinlik içinde “laboratuardaki çalışmanın güç bela ilerlediğini” yazdı. Bunların nedeni gerçekten biyolojik radyasyon hasarına bağlıysa, Pierre’in sağlığının zamanla daha da kötüye gitmiş olabileceği, böylece radyasyon yoluyla oluşan hastalıkların ilk kurbanı olabileceği gibi bir varsayımında bulunabiliriz. İyi mi, kötü mü oldu bilinmez ama Pierre bu tehlikeyle asla karşılaşmadı. 19 Nisan 1906’da Paris’in sıkışık bir kavşağını yaya geçmeye çalışırken, hırçın bir atın tekmesiyle yere devrildi ve başı bir arabanın tekerlekleri altında ezildi. Öldüğünde henüz kırk yedi yaşındaydı.

Marie onun ölümüyle yıkıldı. Acısıyla başa çıkabilmek için, anılarını ve duygularını Pierre’e hitap eden yazılarla güncesine döktü. Güncesinin tamamı

araştırmacılara ilk kez 1990'da açıldı. Susan Quinn nefis Curie biyografisinin merkezine bu günceyi koymuştur. "Talihsiz günden sonra bir yıl boyunca aralıklarla tutulan bu yas güncesi, güzel anlatımlı ve son derece dokunaklı bir belgedir" diye yazar Quinn. "Bu günceden yalnızca Marie Curie'nin kederini değil, Pierre'le ve iki küçük çocuğuyla birlikte yaşadığı hayatın keyifli ve gerilimli anlarından bazılarını da öğreniriz. Yine bu günce Marie Curie'yi yakından, katı bir kamusal kişiliğe bürünmesine yol açan meraklı gözlerden uzak haliyle tanımamızı sağlar. Ağırbaşlı bir maskenin altındaki ağıt duygularını anlatan bir yas güncesi bu." İşte Marie'nin kaza sabahıyla ilgili anılarının Pierre'le diyalog biçimindeki anlatımı: "Acele ediyordun. Ben çocuklarla ilgileniyordum ve sen ayrılırken, bana laboratuara gelip gelmeyeceğimi sordun. Ben de bir fikrim olmadığını ve bana eziyet etmemeni rica ettim. Sen ayrılıp gittin, üstelik benim sana söylediğim son cümle ne sevgi ne de şefkat içerirken. ... Başka hiçbir şey huzurumu daha fazla kaçırmamıştı."

Marie feci haberi aldıktan sonra, o akşam Pierre'in bedenini taşıyan arabayı beklerken "ölümcül saatler" boyunca oturdu. Sonunda araba vardı.

Üzerinde buldukları eşyaları bana getirdiler. ... Birkaç eski mektupla ve birkaç belgeyle birlikte senden bana kalan bütün şeylerin hepsi bu. ... Ömrümü birlikte geçirmeyi tasarladığım sevgili ve ince duygulu dostumun karşılığında kala kala bunlar var elimde. ... Arabada yüzünü öptüm, o çok az değişmiş yüzünü! [Evde] seni tekrar öptüm, hâlâ yumuşak ve sıcaktın, hâlâ bükük duran aziz elini öptüm. Pierre, canım Pierre, başı sanılmış halde uyuyan zavallı bir yaralı gibi sakince karşımda duruyorsun. Yüzün hâlâ sevimli ve dingin, bir daha çıkıp gelemeyeceğin bir rüyaya dalıp gitmiş gibisin.

Marie kendi adına ölümü kabullenebilirdi ama intiharı kabullenemezdi. "Hiçbir şeyi umursamadan, sanki hipnotize olmuş gibi yürüyorum. Kendimi öldürmeyeceğim, intihar etme arzusu bile yok içimde. Peki ama bütün o arabalar arasında, sevdiğim adamla aynı kaderi paylaşmamı sağlayacak bir tanesi bile yok mu?"

Skandal ve İftira

Nobel Ödülü şamatasından sonra ve Pierre için tuttuğu derin yas sırasında, Marie'nin tek ihtiyacı huzur ve sessizlikti. Ama karşısına çıkan şey daha fazla şamata oldu. İlk önce Sorbonne'da ciddi bir olay oldu. Pierre'in yerine atandı ve böylece Sorbonne'da ders veren ilk kadın oldu. "Bana senin yerini almam gerektiğini söylediler Pierre. ... Kabul ettim" diye yazar yas güncesinde. "İyi mi, kötü mü oldu bilmiyorum. ... Eğer seninle olmasaydın, herhalde bir daha çalışmaya çağımı kaç kere söylemiştim sana? Bilimsel çalışmalar için bütün umudum sendin ve şimdi bunu sensiz yapmayı göze alıyorum. Bu biçimde konuşmanın yanlış olduğunu ve 'Ne olursa olsun, devam etmek gerekir' derdin. Söyle misin acaba, 'Eğer benimle olmasaydın, yine çalışabilirdin ama ruhsuz bir bedenden başka bir şey almazdın' düşüncesi kaç sefer geçti içinden? Peki, benim ruhum seninle bir-

likte gidince, ben nasıl bir ruh bulacağım?" Sonradan güncesine şunu ekledi: "Beni gerçekten tebrik eden bazı ahmaklar var."

Marie'nin başlangıç dersinin "tiyatro ve gece kulübü kuşlarından, sanatçı-lardan, gazetecilerden, fotoğrafçılardan, Fransız ve yabancı şöhretlerden, Polonya kolonisine birçok genç kadından ve ayrıca bazı öğrencilerden" oluşan bir kalabalığın ilgi odağı olduğunu aktarır, Marie'nin eski bir öğrencisi. Tam belirlenen saatte Marie içeriye girdi. "Bize çok soluk göründü" diye belirtir aynı öğrenci. "Yüzü ifadesiz, siyah elbisesi son derece basitti. Güzelliğini gizlemeyi başarmak-sızın geriye doğru sıkıca çekip topladığı gür ve incecik kır saçlarının taçlandığı aydınlık ve geniş alnını görebiliyordu insan ancak." Marie'nin dersleri Pierre'in ders programının bir devamı olacaktı ve öyle de oldu. Hiç giriş yapmadan, Pierre'in sınıftaki son cümlesini aynen tekrarladı.

Marie 1910 ilkbaharında, arkadaşı Marguerite Borel'e göre, alışılmış siyah kostümünü çıkararak ve "belinde bir gül olan beyaz bir elbise" içinde görünerek çevresini şaşkınlığa uğrattı. "Her zamanki gibi sessizce oturdu ama bir şeyler yenden hayata döndüğünü gösteriyordu, tıpkı kışın yerini alan baharın kendisini ayrıntılarda ince bir biçimde haber vermesi gibi." Bu "yeniden doğuş" bir mucize değildi. Marie tekrar aşık olmuştu. Paul Langevin'le uzun süreli arkadaşlığı tutkulu bir aşka dönüşmüştü. "Temmuz 1910 ortasına doğru bütün belirtiler Marie ve Paul'un sevgili oldukların işaret ediyordu" diye yazar Quinn. "15 Temmuz'da Sorbonne yakınında birlikte bir apartman dairesi kiraladılar. Birbirlerine yazdıkları mektuplarda, buradan 'bizim yerimiz' (*chez nous*) diye bahsediyorlardı."

Langevin evli ve dört çocukluydu. Karısı Jeanne bu ilişkiyi öğrendi ve hikâye bir aşk romanının konusu gibi karmaşılaşıp renklendi. Jeanne Langevin sokakta Marie'ye sataştı, çalınmış, suç yükleyici bir mektup yayımlandı. Sağcı basın Marie'ye şiddetli, iftiralarla dolu saldırılarda bulundu, Marie birkaç sefer Paris'i terk etmek ve kılık değiştirerek dolaşmak zorunda kaldı. Langevin (hiç kurşun sıkılmayan) bir düello yaptı.

Marie'nin Bilimler Akademisi seçimleri için aday gösterilmesiyle birlikte, iftira kampanyası azgın bir hal aldı. "Bu adaylık vesilesiyle" diye yazar Quinn, "Marie yalnızca tutkuyla değil, ihtirasla da suçlanan yalnız bir kadının başına ne gibi belalar gelebileceğini öğrenmiş oldu." Çoğunlukla kıskançlığın körüklediği bir yabancı düşmanlığı ve anti-feminizm heyecan kasırgası Marie'nin üstüne çullandı. Akademi üyeliğini baş rakibi iki oy farkla kazandı ama o etkilenmemeye çalıştı. Pierre'in Akademi'yi küçümsemesi onun "haturalar dini"nin bir akidesiydi.

Bu kargaşanın ortasında ve şüphesiz kargaşayı artıran bir gelişmeyle, Marie ikinci kez Nobel Ödülü kazandı. 1911'de kimya dalında Marie'ye tek başına verilen bu ödülün gerekçesi "radyum ve polonyum elementlerini bularak kimyanın gelişmesine hizmetler" olarak açıklanmıştı. Svante Arrhenius'un temsil ettiği İsveç Akademisi, başlangıçta Paris'teki skandala karşı hoşgörülüydü ama Langevin'in düello haberi geldikten sonra fikir değiştirdi Arrhenius. Bu durumda Langevin'in yakında görülecek boşanma davasıyla Marie'nin adının temize çıkması

na kadar ödülün ertelenmesi gerektiğini ileri sürdü. İsveç Akademisi'nin başka bir üyesine Marie şöyle yazdı: "Aslında ödül radyumun ve polonyumun bulunmasından dolayı veriliyor. Bilimsel çalışmalarım ile özel hayatımdaki olgular arasında bir bağlantı olmadığı kanısındayım. ... Bilimsel çalışmaların değerini takdir etmenin özel hayatıma dönük karalama ve iftiralarından etkilenmesini ilke olarak kabul edemem. Bu görüşün birçok insanca paylaşıldığı inancındayım. Sizin bu görüşte olmamanızdan ötürü çok üzülüm." Marie Aralık 1911'de Stockholm'e gitti ve ödülünü aldı.

Hayatının bu korkunç dönemindeki son darbe sağlığının bozulmasıyla geldi. "Hiç şüphesiz skandalın verdiği üzüntüyle şiddetlenen ağır ve komplike bir böbrek rahatsızlığıydı bu" diye yazar Quinn. "Artık çalışamıyordum."

Ama gençliğinin "ilk kuralını", yani "olaylar ya da kişiler karşısında yenilmemeyi" unutmamıştı. 1913'te iyileşme yoluna girdi.

Hizmete Koşacağız

Marie Curie'ye dil uzatanların bazılarına göre, yaklaşık yirmi yıldır Paris'te yaşamasına ve bir Fransız ailesine gelin olmasına rağmen, o hâlâ bir "yabancı kadın"dı. Ama I. Dünya Savaşı'nda Fransa'ya hizmetlerinden sonra, onun yurtseverliğini sorgulayabilen yalnızca birkaç bağnaz kaldı. Ağustos 1914'te savaş ilan edildiğinde, Marie Paris'teydi ve Brittany sahilinde tatil yapan iki kızından ayrıydı. Artık kabına sığmaz bir genç olan Irène, annesinin mektubundaki şu özle-ri okuyunca heyecandan ürperdi: "Sen ve ben, Irène, hizmete koşacağız."

Savaşın patlak verdiği sıralarda, sivil doktorlar cerrahide ve teşhiste radyoloji uygulamasını ve x ışını cihazı kullanmayı artık öğreniyorlardı. Ama askeri hekimler x ışınları metotlarına çok az ilgi duyuyorlardı. Böylece Marie onların gelişmelere ayak uydurmasını sağlamayı kendisine görev bildi. Bir x ışını cihazını cepheye taşıyabilecek gezgin bir birim oluşturma yoluna gitti. Radyolog, x ışını teknisyeni, ambulans şoförü, eğitmen, para toplayıcısı ve askeri bürokrasiyi aşma uzmanı oldu. İlk gezgin birim başarılı oldu, ardından Marie büyük ölçüde özel katkılarla yirmi tane daha radyoloji birimi ve iki yüz tane sabit tesis kurmayı başardı.

Sözüne bağlı kalan Marie bu delice çalışmada kızı Irène'i başasistanı haline getirdi. Irène işe bir hemşirelik diploması alarak başladı. Eylül 1916'da başka hemşirelerle birlikte çalışacak ve bir radyoloji ekibini eğitecek noktaya geldi. Savaş yıllarında matematik, kimya ve fizikte yüksek notlarla Sorbonne'daki öğrenimini bitirdi. Tam annesinin kızıydı.

La Patronne

Savaştan sonra Marie yarım kalmış Radyum Enstitüsü işine döndü. Enstitü çok istediği halde hiç sahip olamadığı türden bir kurum olarak Pierre'e bir şükran borcuydu. Sorbonne'da onun için kürsü kurulması, radyoaktivite çalışmaları için bir laboratuvar sözü de verilmişti. Ancak öldüğü sırada henüz pek bir şey yapılmış değildi. Bir ara kendisine bir madalya verilmek istendiğinde, şu karşılığı

vermişti: “Bakana lütfen teşekkürlerimi iletin ve bir süs takısına zerre kadar ihtiyacım olmadığını ama bir laboratuara müthiş ihtiyaç duyduğumu bildirin.”

Pierre’in ölümünden üç yıl sonra, Marie, Sorbonne’da onun yerine geçtiğinde, laboratuvar hâlâ ortada yoktu. Derken olayların seyri değişti. Eve Curie anesini anlattığı *Madame Curie*’de bu hikâyeyi şöyle anlatır:

1909’da Pasteur Enstitüsü direktörü Dr. Raux, cömert ve cesur bir tasarıyla kendi kurumunda Marie Curie için bir laboratuvar açmayı önerdi. Böylece Sorbonne’dan ayrılmasını ve Pasteur Enstitüsü’nün bir yıldızı olmasını sağlayacaktı.

Üniversitenin başındaki kişilerin kulaklarına hemen kar suyu kaçtı. Madam Curie’nin gitmesi mi? İmkânsız! Neye mal olursa olsun, resmi kadromuzda kalmalı!

Dr. Raux ve [üniversitenin] rektör yardımcısı Liard arasındaki bir anlaşma tartışmaları sona erdirdi. Her iki tarafın 400 bin altın frankla katıldığı ortak bir harcamayla üniversite ve Pasteur Enstitüsü birlikte [Radyum Enstitüsü’nü] kurdu. Enstitü iki kısımdan oluşacaktı: Marie Curie’nin yönetimindeki bir [radyoaktivite laboratuvarı] ile bir biyolojik araştırmalar laboratuvarı ve kanser tedavisi çalışmalarının yürütüleceği, hasta bakımının düzenleneceği Curietherapy ... Maddi açıdan bağımsız bu ikiz kurumlar, radyum biliminin gelişmesi için bir arada çalışacaklardı.

Yeni laboratuvar 1915’de hazır olduğunda ve Marie oraya taşındığında hâlâ savaş zamanıydı. “Bir kez daha paradan ve yardımdan yoksun olduğum yorucu ve dolaşık bir uğraştı bu” diye belirtir Curie otobiyografisinde. “Bu yüzden radyoloji arabalarındaki laboratuvar donanımımı taşımayı ancak seyahatler arasında azar azar yürütebildim.”

Marie her zaman bahçeleri severdi ve enstitünün iki binası arasındaki avluda ağaçların ve çiçeklerin bulunması için ısrar etti. Alman bombardımanından korkmadan, kendi başına dikim işlerini yaptı: “Sonbahar ve yaz mevsimlerinde gözlerin körpe yaprakların gönül rahatlatıcılığını görmesi gerektiğini hissettim. Bu yüzden, yeni binada çalışanlar için işleri hoş bir hale getirmeye çalıştım. Boş yer bulabildiğimiz ölçüde birkaç ıhlamur ve çınar ağacı diktik; çiçek tarhlarını ve gülleri de unutmadık. Paris’in büyük Alman toplarıyla bombalandığı ilk gününü iyi hatırlıyorum. Sabahın erken saatlerinde çiçekçiye gitmiştik ve mermi kovanları çevremize düşerken bütün gün dikim işleriyle meşgul olmuştuk.”

Radyum Enstitüsü kısa sürede canlı bir araştırma merkezine dönüştü. Marie şaşmaz biçimde kadınları ve Polonyalıları kollayan bir yaklaşımla araştırmacıları bizzat seçti. Ona “*la patronne*” [patroniçe] diyorlardı. Gerekli gördüğü durumlarda, sert ve acımasız davranabiliyordu. İşte enstitüye yeni giren birinin ondan duyduğu talimat: “Bir yıl boyunca benim kölem olacaksın, daha sonra benim yönlendirmemle bir tez üzerinde çalışmaya başlayacaksın, ta ki seni uzmanlaşmak üzere yurtdışındaki bir laboratuara gönderene kadar.”

Daha sık takındığı tutum sempatiyle kulak vermek ve öğütlerde bulunmaktı. Başka bir laboratuvar da tez çalışmasına saplanıp kalmış bir genç kadın araştırmacı Marie’yle ilk görüşmesini şöyle aktarır: “[İlk başta] daracık bir siyah elbise

içindeki bu solgun ve ince kadının delici ve soğuk bakışlarla beni süzmesi karşısında korkudan donup kaldım. ... Ama bana büyük bir yalınlıkla sorular sormaya başladı ve yumuşayan yüzüne çekicilikle dolu bir gülümseme yayıldı. Öyle ki bir araştırmacı olarak başlangıçta yaşadığım hayal kırıklıklarını anlatma gücünü buldum kendimde ve beni Radyum Enstitüsü'ne kabul etmeye karar verdi."

Bir araştırma projesi ilerlemeye başladığında, Marie iki üç günde bir laboratuarda bir konferans vermek üzere boy gösterirdi. "Her zaman siyah elbisesiyle akşam altı civarında sessizce ve aniden ortaya çıkardı. Bir tabureye oturur ve dikkatle deneylerin açıklamasını dinler, önerilerde bulunurdu."

Marie laboratuvar uğruna her şeyi yaptı, hatta hiçbir zaman hoşlanmadığı iki şey olan seyahatten ve reklamdan bile kaçınmadı. Çevresinin "Missy" diye andığı Marie Meloney adlı Amerikalı bir gazetecinin enerjik yardımıyla, laboratuvar için çarpıcı bir bağış sağladı. Bunu karşılığını Amerika'ya yorucu bir geziyle ve yoğun tanıtım toplantılarıyla verdi.

Marie gibi Missy Meloney de durdurulması zor bir insandı. Bir yolunu bulup Marie'nin sağlam savunma hatlarını aştı ve onunla bir röportaj yapmayı başardı. Daha sonra, 1920'deki bu ilk tanışmalarını şöyle aktaracaktı: "Michigan'ın Grand Rapids yöresinden gelme mobilyalarla döşenmiş olması muhtemel sade bir büroda birkaç dakika bekledim. Derken kapı açıldı ve siyah pamuklu elbise içinde, rastladığım en hüznü yüzü sahip, solgun, ürkek, ufak tefek bir kadın gördüm. ... Nazik, sabırlı ve güzel yüzünde bir bilimcinin dalgın ifadesi vardı." Gördüğü kadarıyla Marie "yetersiz bir laboratuarda çalışan ve bir Fransız profesörünün sınırlı maaşıyla basit bir apartman dairesinde yaşayan basit bir kadındı." Bu anlatılanlar büyük ölçüde kurmacaydı ama Curie efsanesinin bir parçası oldu. Efsaneye katkıda bulunan bir başka şey de, Curie'nin kanseri radyumla iyileştirebileceği iddiasıydı. Missy, dergisi *Delineator*'da şöyle yazmıştı: "[Hayat] gelip geçiyor, koca Curie yaşlanıyor ve kaybeden dünya oluyor. Onda ne büyük sır var, ancak tanrı bilir. Milyonlarca insan da her gün kanser yüzünden ölüyor!" Aynı sayının başyazısında, "Önde gelen Amerikalı bilimcilere göre, Madam Curie, tek bir gram radyum verilmesi halinde, bilimi kanserin büyük ölçüde ortadan kalkacağı bir noktaya kadar götürebilir" gibi bir ifade yer alıyordu. Bu gibi iddialar en hafif deyimle abartılıydı. Radyumun bir yan ürünü kanser terapisinde belirli bir başarıyla kullanılıyordu ama hiçbir sorumlu bilimci kansere şifa olacak bir şeyden söz etmiyordu.

Marie'yi ayartıp ABD'ye getirtmek etmek için, Missy Meloney, Beyaz Saray'daki bir törende Başkan Harding tarafından Marie'ye sunulmak üzere bir gram radyum [fiyat etiketi o sırada yüz bin dolardı] satın almaya yönelik devasa bir girişim örgütledi. Para toplama işi başarılı oldu ve Marie sonunda ABD'ye gitmeye ikna oldu. Gezi Marie'nin istediği ya da beklediği gibi olmadı. Daha Fransa'dan ayrılmasından önce kutlamalar başladı. Quinn, Paris'teki şenlikleri şöyle anlatır: "[Bir] Fransız dergisi, *Je sais tout* ... Fransız biliminin zaferlerinden birini, radyumun bulunuşunu kutlamak için bir gala düzenledi. ... Aralarında Cumhurbaşkanı Aristide Briand'ın da bulunduğu Fransız ekâbirleri, Marie Curie'nin ba-

şarılarına ve buluşlarının geleceğine dair Jean Perrin ve başkalarının vereceği nutukları dinlemek üzere Opera Meydanı'nda toplandı. Ünlü Sarah Bernhardt bir "Maria Curie'ye Övgü" okudu. ... Langevin skandalının "yabancı kadını" unutulmuş, Marie Curie artık Fransa'nın modern Jeanne d'Arc'ı olmuştu."

Amerika'daki gezi, sonu gelmeyen ziyafetler, resepsiyonlar, akademik ayinler ve turistik ziyaretlerle doluydu. Marie bütün bunlardan bitkin ve hasta düştü ama elde etmek için geldiği şeyi aldı. Meşhur Beyaz Saray töreninde çok değerli bir gramlık radyumu kabul etti.

1920'li ve 1930'lu yıllarda Radyum Enstitüsü serpilip gelişirken, Marie'nin sağlığı yavaş yavaş bozuldu. Sonunda "ileri düzeyde anemi perniyöz" teşhisi kondu. Haziran 1934'te öldü. Sceaux'da küçük bir mezarlıkta, Pierre'in üzerine gömüldü.

Ömrünün son yıllarında Marie Curie için birçok güzel şey ve birkaç da alçakça şey söylendi. Jean Perrin en güzel başarısı için şu yalın değerlendirmeyi yaptı: "Madam Curie yalnızca meşhur bir fizikçi değildir, aynı zamanda tanıdığım en büyük laboratuvar yöneticisidir."

Bir Dalganın Sirtında Ernest Rutherford



Eyleme Geçmiş Bilim

İrkiyım ve biraz hantaldı. Gökğürültüsünü andıran bir sesi ve eski fotoğraflarda bile insanı ürküten delici gözleri vardı. Alışlagelmiş entelektüel rolü ona cazip gelmiyordu, bu nedenle kendi bildiği tarzda yerine getirdi bu rolü. Bir keresinde mümtaz bir yabancı, bilimsel havadan uzak aksanına ve görünüşüne hayret ederek, onun bir Avustralyalı çiftçi olduğunu sanmıştı. (Yeni Zelanda kökenli oluşu bu izlenimi kısmen açıklar niteliktedir.) Fen dışında bir akademik meslektaşı ona “vahşi, evet soylu olmasına soylu ama yine de bir vahşi!” olduğunu söylemişti. (Bu tepki öyle gelişigüzel değildi, bir kıskırtmanın sonucuydu. Rutherford sohbeti şu sözlerle açmıştı: “Alexander, son otuz yılda o kadar şey söyledin ve o kadar şey yazdın, peki ama hepsini toplasan ne çıkar? Boş laf! Boş laf!”) Gereği yokken tevazu göstermeye eğilimli biri değildi. İlk araştırmalarından bazılarını yürüttüğü Montreal'deki McGill Üniversitesi'nden, kariyerinin ara dönemine sahne olan Manchester Üniversitesi'ne geçtikten sonra, Yale'deki dostu ve meslektaşı Bertram Boltwood'a şunu bildirmişti: “Burada öğrencilerin bir profesöre neredeyse her şeye kadir bir tanrı gibi hürmet ettiklerini gördüm. Kanadalı öğrencilerin eleştirel tutumundan sonra insana şevk veren bir şey bu. Takdir edildiğini hissetmek her zaman hoş bir duygudur.”

Rutherford'un enerjisi ve hırsı için kullanılan yanardağ nitelendirmesi çok az abartılıdır. İlk akademik görevi üstlendiği McGill'deki dokuz yılda yetmiş kadar makale yayımladı, Kraliyet Bilim Derneği üyeliğine seçildi, önemli bir araştırma okulu kurdu ve daha sonra kendisine Nobel Ödülü kazandıracak araştırma-

sını tamamladı. Bütün bu başarıları çok sınırlı bir deneyim birikimiyle (Kanada'ya gittiğinde henüz yirmi yedi yaşındaydı), bir avuç öğrenciyle, yetersiz bir maaşla ve onu Britanya ile Avrupa'nın bilimsel merkezlerinden ayıran Atlas Okyanusu'na rağmen elde etti. McGill'de en önemli çalışmasında ona yardım eden Frederick Soddy, yanardağ altındaki hayatın, kimi zaman bayağı haşin olduğunu şu sözlerle anlatır: "Rutherford'un üzerinde çalıştığı radyoaktif yayılımlar ve aktif tortular daha birkaç hafta geçmeden yakama yapıştı ve her şeyi bir tarafa bırakarak onun peşinde düştüm. İki yılı aşkın bir süre boyunca, bilimsel hayat, bir bireyin ömründe, hatta belki de bir kurumun ömründe ender görülecek derecede bir telaşlı koşturmaya dönüştü." Robert Oppenheimer ise Rutherford'un çalışma yordamını "eyleme geçmiş bilim" ibaresiyle özetler. Gerçi bu ibareyi Rutherford'un "güçlü sağ kolum" dediği alfa parçacığına dayalı deneysel stratejilerine değinirken kullanmıştı ama aynı nitelendirme hiç durmamacasına araştırma ekibini tatlı sözlerle kamçılayan, harekete geçiren ve yönlendiren Rutherford'un kendisi için de geçerliydi.

Rutherford doğuştan esrarengiz bir bilimsel sezgiye sahipti. Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda kariyerinin son döneminde öğrencisi olan Charles Ellis'e göre, "doğanın sanatkârane becerisi" konusunda öylesine keskin ve hassas bir hissi vardı ki "neyi beklemek gerektiğini neredeyse önceden bilirdi." Rutherford daha 1920'de, Cavendish'te ikinci adam konumundaki James Chadwick'in nötronları deneysel olarak gözlemlemesinden on iki yıl önce, nötronun varlığını öngörmüştü. Bir deneysel problemi çarçabuk kavrayıp özüne inerdi. "Rutherford'un hiç kulak asmadığı ayrıntılara girmeksizin yalnızca temel olguları ve fikirleri anlatmanız gerekirdi" diyor Peter Kapitza, Cavendish'te çalışmış bir Rus fizikçi-mühendis. "Bir deneyin ana fikrini son derece hızlı, yarım kelimedede kapardı." Rutherford'un genellikle en basit asgari donanım ile hazırladığı deneysel tasarımlar, bütün fizikçiler arasında dillere destandır. Deneysel çalışmasındaki mucizenin "doğaya eldeki konuyla en ilgili soruları yöneltmesinde" yattığını yazar Manchester dönemi öğrencilerinden Alexander Russell. "Doğanın söylediği şeylerden çok fısıldadığı şeylere dikkat kesilmesini bilirdi. Bu anlamda Rutherford bir sanatkârdı." Rutherford'un başarılı deneylerinin güzelliği ve aynı zamanda ilkel yalınlığı ("asgari hatayla asgari yaygara") günümüze kadar aşılamamıştır.

Harika deneyleri yaratmak, harika romanları, tabloları ya da senfonileri yaratmaktan daha kolay değildir. Kapitza bize Rutherford ve Chadwick'in on iki yıl süren nötron arayışının büyük ölçüde zor, asap bozucu bir çalışma olduğunu ve sonunda elde edilen başarıda şans payının hiç de az olmadığını hatırlatır. Sonunda eserini ortaya çıkaran süreçteki yanlış çıkışları, hataları ve kazaları açığa vurmayı ve hatta tam kabul etmeyi içine sindiremeyen sanatçı gibi, Rutherford da sürmekte olan çalışmalar konusunda alışılmamış ölçüde ağzı sıkı davranırdı. "Araştırma projeleri hakkında konuşmaktan hoşlanmazdı ve daha çok halihazırda yerine getirilmiş ve sonuç vermiş olan şeylerden söz ederdi" diye anlatır Kapitza. Ardından şunu ekler: "Rutherford'un bilim üzerine tartıştığını hiç işitmedim. Genellikle konuya ilişkin görüşlerini çok kısa, azami berraklıkla ve çok doğ-

rudan bildirirdi. Biri onunla ters düşen şeyler söyleyecek olsa, ilgiyle dinler ama hiç cevap vermezdi ve tartışma orada kapanırdı.” (Tartışmaya can atan Bohr’la keskin bir tezattır bu.) Fizikçilikten romancılığa geçen C. P. Snow da Rutherford’daki bu farklılığı görenlerden biriydi. *The Search* (Araştırma) adlı romanının bilimcileri ve izledikleri metotları gerçekçi bir anlatımla sunduğu için Rutherford’u nasıl rahatsız ettiğini şöyle aktarır: “Bağırarcasına bir sesle ‘Başımıza neler örüyorsun öyle, delikanlı?’ diye sordu. ... Bütün romanlarımı herhalde bilimciler üzerine yazmayacağımı umuyordu. ‘Küçük bir dünya bu, anlarsın ya’ dedi. Bilim dünyasını kastediyordu. ‘Elinden geldiğince bizden uzak dur. İnsanlar içimizden bazılarını diline doladığını düşünmekten kendini alıkoyamıyor. Kaldı ki, hepimizin başkalarının görülmesini istemediği şeyleri vardır, sanırım.’”

Bu duyguyu paylaşabiliriz. Ne de olsa, seçkin bir romancının asıl metninde düzeltme üstüne düzeltme karalanmış sayfaları görmek için diretmez, öyle değil mi? Ama geriye yalnızca çeşni kabilinden birkaç ilginç anlatımın kalmış olması da hayıflanabilecek bir şeydir. Bunlardan biri de Cavendish döneminin sonlarında Rutherford’dan sonraki adam konumunda olan Mark Oliphant’ın, av peşindeki Rutherford’u takip etmenin gerçekte nasıl bir şey olduğunu göstermek üzere aktardığı olaydır. Rutherford’dan gelen bir telefon Oliphant’ı sabahın üçünde uyandırır. Arama nedeni, sürmekte olan bir deneye ilişkin bir öneridir. Görüşü Oliphant’a pek makul gelmez. Bunun üzerine “Bahaneler! Bahaneler!” diye bağırır Rutherford. “Sidiğimde aktığını hissediyorum işte!”

Rutherford bir bölüm komutanının amansız intizamıyla laboratuvar odalarında devriyeye çıkardı. Manchester’da bulunduğu sırada, günlük teftiş turlarındaki uygun adım yürüyüşüne, işlerin nasıl gittiğine bağlı olarak, “Haydi Hristiyan Askerler İleri” marşının çok az tanınır hale gelmiş bir versiyonu veya hüznü bir ağıt eşlik ederdi. Bir öğrencinin haftada birkaç sefer Rutherford’un endamını karşısında bulma ihtimali hayli yüksekti. Bu karşılaşmalarda kimi zaman hassas sayım araçlarını çalıştıracak kadar davudi bir sesle “Bu iş niye bir türlü ilerlemiyor?” ya da “Ne zaman bir sonuç alacaksın bakalım?” gibi dürtükleyici sorular savururdu.

Özellikle henüz acemi olanlar için ürkütücü ve fırçalayıcı olsa bile, bu tür yorumları özünde öğretici ve yüreklendirici bir etki yaratırdı. Cavendish dönemi öğrencilerinden Ernest Pollard, onun epeyce “bariz zıvalık” taşıyan bir deneysel tasarıma tepkisini şöyle aktarır: “Bu konudaki yorumları keskin ve bazen biraz yaralayıcı olsa da, asla bizi daha çok uğraşmaktan alıkoyacak bir etki yaratmazdı. Rutherford’un çalışmalarımızı küçümser bir tavır içinde olduğu duygusuna hiçbir zaman kapılmazdık, olsa olsa bizimle eğleniyor olabilirdi. Böyle bir fırsatı zaten kolladığı ve bunun katlanmamız gereken bir evre olduğu kuşkusuz, kimi zaman kafamızda uyanırdı ama daima bu işi gerçekten umursadığı, elimizden gelenin en iyisini yapmaya çalıştığımızın farkında olduğu ve bizi durdurmaya kalkmayacağı duygusunu taşırdık.”

Laboratuvarında olup bitenlerin çok azı Rutherford’un ilgi ve dikkatinden kaçardı. Onun denetimi dışına çıkan şeyler fazla değildi. Rutherford’la birlikte

çalışan fizikçilerin çoğu onun çalışmalarıyla dolaylı ya da dolaysız bağlantılı bir probleme odaklanmış bir durumda bulurlardı kendilerini. "Bir despot falan değildi" diye yazar Russell, "iyiliksever bir despot bile değil." Bu kolay ama güçlü nüfuz kısmen Rutherford'un bir fizikçi olarak ulaştığı büyüklüğün sonucuydu. Tasarımları öylesine gümrah ve verimliydi ki, bütün bir laboratuvarı işe koşturabilirdi, üstelik sırf meşgul olsunlar diye değil, yeni ve umut verici alanlara dalmalarını sağlayarak. "Öğrenciler çoğu kez işe kendi tercihleri doğrultusunda başladılar" der Oliphant, "ama Rutherford'un dehasından gelen içgüdünün ilginç ve önemli sonuçlara varmada daha emin rehber olduğunu kısa sürede fark ederdi."

Öbür Uçtan Gelen Adam

Rutherford 1871'de Yeni Zelanda'ya bağlı Güney Adası'ndaki Nelson kasabası yakınında doğdu. Ailenin on iki çocuğundan dördüncüsüydü. Babası James bu geniş ailenin geçimini, birçok değişik uğraştan elde ettiği mütevazı bir gelirle sağlıyordu: Keten ekiciliği ve dokumacılığı, travers yapımı, köprü inşaatı ve çiftçilik. Rutherford'un annesi Martha son derece güçlü karaktere sahip bir öğretmendi. Sıkı çalışmanın "dönemin birçok habisliğine karşı en etkili çare" olduğunu savunurdu. Yedi oğul ve beş kızın yaşadığı çapraşık hanede sözü geçen başat kişi oydu. Anne ile ünlü oğlu arasındaki bağlılık hiçbir zaman azalmadı. Rutherford annesine doksan iki yaşında ölene kadar haftada ya da iki haftada bir mektup yazmayı sürdürdü. Baron unvanını aldığı 1931'de ona şu telgrafı çekti: "Artık Lord Rutherford var, bu onur benden çok senin."

Küçük Ernest Rutherford'un eğitim görmesi burslar ve anne babasının fedakârlığı sayesinde oldu. İyi bir ortaöğrenim kurumu olan Nelson College'da mükemmel bir öğrenciydi. Deneysel bilime dönük olağanüstü yeteneğini Christchurch'teki Canterbury College'da göstermeye başladı. Heinrich Hertz'in kısa bir süre önce gözlemlediği elektromanyetik dalgaların miknatıslanmış çelik iğneler üzerindeki etkisini incelemeye girişti. Bu çalışma çok geçmeden onu uzak mesafeler boyunca iletilen Hertz dalgalarını belirlemeyi sağlayacak hasat bir aygıt geliştirmeye yöneltti. Bu detektör icadıyla yirmi dört yaşındaki Rutherford, kısa bir süre sonra Guglielmo Marconi'nin telsiz telgrafı geliştirirken yararlanacağı bir araştırma alanının öncüleri arasına girdi.

Rutherford'un Yeni Zelanda dışına çıkarak dünyaya açılmasını sağlayan билет bir 1851 Sergisi bursu oldu. Londra'da 1851'de düzenlenen Büyük Sergi'den elde edilen gelirlerle bir burs fonu oluşturulmuştu. Bu burslar sayesinde Britanya İmparatorluğu dominyonlarındaki liyakatli öğrenciler daha ileri öğrenim görmek üzere İngiltere'deki üniversitelere getirtilmekteydi. 1895'teki iki aday Rutherford ile altının işlenmesi üzerine bir makale yayımlamış olan J. C. Maclaurin adlı bir kimyacıydı. Dehanın farkına varamayan sınav görevlileri bursu J. C. Maclaurin'e verdiler. Ama kariyerinin hayati kavşaklarında çoğu kez Rutherford'un yanında yer alan talih bu olayda da devreye girdi: Maclaurin evlenip Yeni Zelanda'da kalmaya karar verince, ödül almaya hak kazanan Rutherford 1895 yazında seyahat için gerekli parayı borçla bularak İngiltere'nin yolunu tuttu.

Rutherford'un kararı Cavendish Laboratuvarı'nda bir araştırma öğrencisi olmaktı. Cavendish'in ilk direktörü olan James Clerk Maxwell, beş yıllık görev süresinde İngiltere'de yeni bir uygulamaya öncülük ederek lisansüstü öğrencileri için iyi işleyen bir laboratuvar düzenlemişti. Onun halefi John William Strutt, yani Lord Rayleigh kısmen kendi parasıyla laboratuvarı genişletmiş ve doğru, incelikli elektrik ölçümlerine ağırlık vermişti. Üçüncü Cavendish profesörü daha sonraları Rutherford'un akıl hocası olan Joseph John (daima kullanılan hitapla "J. J.") Thomson'dı ve William Thomson'la hiçbir akrabalığı yoktu.

Cavendish profesörlüğüne 1884'te henüz yirmi sekiz yaşındayken seçilen Thomson, bir deneysel fizik kürsüsüne pek uygun sayılamayacak biriydi. Ellerini kullanırken sakardı, dalgındı ve nazik aletlere dokunmaktan kaçınması için ara sıra uyarılmasına gerek vardı. Ama kendi deneylerinin iç işleyişini, yetenekli asistanların ve öğrencilerin hizmetlerini kavramadaki keskin zekâsıyla, Rutherford, yanlarına geldiği 1895'te, deneysel fizikçiler arasında ilk sıraya yükselmişti.

Selefleri gibi Thomson da, Cavendish kürsüsünün Cambridge genel düzeninde pek itibarlı bir yere sahip olmadığı kanısındaydı. Başka üniversitelerden gelmiş lisansüstü öğrencilerinin iki yıllık ikametle ve uygun bir tezle Cambridge lisans diploması almasına olanak veren bir araştırma derecesinin oluşturulması bile bu durumu düzeltmedi. Araştırma öğrencileri Cambridge camiasında hoş karşılanmıyordu. Birçok hocanın gözünde dışarıklı, hatta davetsiz misafir konumundaydılar. Cambridge adamı değillerdi ve asla öyle olamazlardı. Ancak Thomson söz konusu programı coşkuyla destekledi ve alınan ilk araştırma öğrencisi Ernest Rutherford tek başına bu yaklaşımın isabetli olduğunu doğruladı.

Rutherford Eylül 1895'in puslu bir gününde Londra'ya vardı ve Londra havası karşısında sendeledi. Hemen Cambridge'e kaçtı ve orada Thomson tarafından sıcak biçimde karşılandı. Yeni Zelanda'daki nişanlısı Mary Newton'a yazdığı mektupta, "Laboratuara gidince, Thomson'ı gördüm ve onunla uzun uzadıya konuştum" diye belirtiyordu. "Çok hoşsohbet bir adam ve hiç de fosilleşmiş değil. Görünüşüne gelince, orta boylu, esmer tenli ve hâlâ gayet dinç: Tıraşı çok berbat ve saçlarını iyice salmış. Yüzü oldukça uzun ve ince, kafası güzel ve burunun üst kısmında bir çift dikey kırışıklık var."

Rutherford daha resmen araştırma öğrencisi olarak kabul edilmeden önce, laboratuvar ortamına hemen ısındı. Öylesine hamarat ve gayretkeş bir çalışma içine girdi ki, Cavendish'teki yeni meslektaşlarından biri dayanamayıp şunu yazdı. "Bizim buraya dünyanın öbür ucundan bir tavşan geldi, bayağı derin kazıyor top-rağı."

Rutherford'un giriştiği ilk iş telsiz deneyleriydi. Gittikçe başarılı bir rotaya girmesine karşın, bu çalışmayı bilimsel açıdan yavan buluyordu. Derken Thomson'dan x ışınının gazlar üzerindeki etkilerine ilişkin bir çalışmaya katılması yönünde bir davet geldi. Thomson on yılı aşkın bir süreden beri "iyonlar" denen kaçamaklı fiziksel yapıların içyüzünü anlamak için uğraşmaktaydı. Michael Faraday'ın verdiği bu adın nedeni, söz konusu yapıların elektrik verilen alanlardaki toplu göçleriydi. İki metal levhanın arasındaki gazla dolu alana yüksek bir voltaj

verildiğinde, iyonlar ortaya çıkar, yani “iyonlaşma” meydana gelir. Thomson’ın daha sonraki deneylerde ortaya çıkardığı nedenlerle, verilen voltaj, gaz moleküllerinin elektrikle yüklenmesine, böylece bazılarının negatif, bazılarının da pozitif yükler taşımasına yol açar. İyonlar işte bu yüklü moleküllerdir.

Thomson’ın gaz iyonlaşmasıyla ilgili ilk deneylerinin sonuçları hayal kırıcıydı: Bazı durumlarda iyonlaşma denetimsiz, komplike kıvılcım ya da parıltı boşalmasına yol açmıştı, bazı durumlarda ise iyonlaşmanın elektriksel etkisi ölçülemeyecek kadar hafif olmuştu. Derken 1895’te, yani Rutherford’un Cambridge’e gittiği yıl içinde Wilhelm Röntgen, x ışınlarına ilişkin çalışmalarını yayımladı. Daha sansasyonel özelliklerin yanı sıra, Thomson’ın dikkatini çeken şey, kıvılcım yaratıcı düzeyin epeyce altında voltajlar verildiği zaman, x ışınlarının gazları minik elektrik akımları iletecek duruma getirebilmesiydi. Röntgen’in deneylerini tekrarlayan Thomson, x ışınıyla meydana getirilen küçük akımların büyük ölçüde iyonlaşma akımlarına benzediğini saptadı. İyonları denetimli koşullar altında yaratmak ve incelemek için uzun süreden beri bulmaya çalıştığı metod belki de buydu.

Mary Newton’a bir mektubunda “Uğraştığım eski konudan biraz gına getirmiş durumdayım” diye yazan Rutherford, telsiz deneylerini canı gönülden bir tarafa bıraktı ve x ışınlarının gazlar üzerindeki elektriksel etkilerini incelemesini isteyen Thomson’ın yeni görev önerisini şükranla kabul etti. Yaptığı deneyler Thomson’ın iyonlaşma konusundaki tahminini çok ayrıntılı biçimde doğrularken, iyonların nasıl ortaya çıktıklarını, ne kadar çabuk hareket ettiklerini ve birbirlerini nasıl yok ettiklerini gösterdi. Rutherford’un gözünde iyonlar artık öylesine berraktı ki, dostu ve önde gelen biyografi yazarı Arthur Eve’e “çakırkeyif küçümen dilencileri” neredeyse görebildiğini belirtmişti.

Üstlendiği x ışını çalışmasını tamamladıktan sonra, Rutherford için sonraki deneylerinin rotasını belirlemek zor değildi. Bu ışınların elektriksel etkilerinden ilginç sonuçlar çıktığına göre, Becquerel ile Curie çiftinin bir süre önce bildirdiği uranyuma ve diğer radyoaktif elementler bağlı radyasyonun yol açtığı benzer etkilerin aynı ölçüde verimli bir inceleme konusu olacağı rahatlıkla söylenebilirdi. Rutherford en temel buluşlarında kendisine rehberlik edecek olan araştırma çizgisine hiç duraksamaksızın yöneldi. Marie Curie’nin radyumu izole etmeye yönelik kimyasal metotları bulduğu sıralarda, o da radyoaktiviteye eşlik eden radyasyonun ayırıcı özelliklerini belirlemeye yönelik fiziksel teknikleri geliştirdi. En önemli buluşu uranyum radyasyonunun en az iki bileşen içerdiğini saptamasıydı. Bunlardan biri yoluna alüminyum yaprak katmanları konduğunda kolayca bloke edilirken, diğeri çok daha sızıcıydı. Rutherford “rahat anlaşılma açısından” sızıcı olmayan bileşene “ α ışınları”, sızıcı bileşene ise “ β ışınları” adını verdi. Bu adlar zamanla radyoaktif salımlar için neredeyse genel bir nitelen-dirmeye dönüştü. Sonradan yalnızca bir bileşen daha yine Rutherford tarafından bulundu ve buna “ γ ışınları” dedi.

Rutherford bu çalışmasını tamamlarken, bir yandan da Cambridge’de pek iç açıcı görünmeyen geleceği düşünüyordu. Önünde başka olanaklar duruyordu

ve elinde de yeteneğini tanıtmak için Thomson'ın verdiği hararetli bir tavsiye mektubu vardı: "Şimdiye kadar özgün araştırma açısından Bay Rutherford kadar hevesli ya da becerikli bir öğrencim olmadı." En cazip seçenek Montreal'deki McGill Üniversitesi'nde bir profesörlüktü. Rutherford gençliğine ve öğretim tecrübesi eksikliğine rağmen, McGill yarışmasını kazandı. Kusursuz bir uyuşma getirdi bu. McGill yetkilileri üniversitenin araştırma alanındaki ününü güçlendirmek istiyordu. (Mary Newton'a bir mektubunda bunu şöyle belirtiyordu Rutherford: "Benden şu Yankiler'in önüne geçerek fiyakalarını bozmak amacıyla epeyce özgün çalışma yapmam ve bir araştırma okulu kurmam bekleniyor!") Bu görev için Rutherford en çok gerek duyduğu şeyi, birinci sınıf bir fizik laboratuvarını elde etti. Dünyadaki en iyi laboratuvarlardan biriydi bu. Laboratuvar ve profesörlük için gerekli finansmanı ise dolar milyoneri bir tütün tüccarı olmasına rağmen, sigara içmeyi "pis bir alışkanlık" sayan Sir William MacDonald'dı.

Rutherford yeni görevi MacDonald Kürsüsü fizik profesörlüğüne Eylül 1898'de başladı. İlk araştırma girişimlerinden biri R. B. Owens adlı genç bir elektrik mühendisiyle işbirliği yapmak oldu. Bu mühendisin üstlendiği görev, Rutherford'un daha önce uranyum radyasyonu üzerindeki çalışmasına benzer biçimde toryum radyasyonunu incelemektir. Şaşırtıcı bir gelişmeyle, Owens, toryum radyasyonunun hava akımlarından etkilendiğini buldu. "Ne toryum ne alfa ne beta olan bir şeyler etrafa saçılıyordu!" diye belirtir bunu, Rutherford biyograflarından Arthur Eve. Rutherford bu yeni esrarengiz bileşeni toryum "yayılımı" olarak adlandırdı ve bir radyoaktif gaz olduğunu göstermek üzere deneyler tasarladı. (Daha sonraları soy gazlardan biri olduğu belirlendi ve "radon" olarak adlandırıldı.) Toryum yayılımı başka bir esrara bürünmüş halde karşısına çıktı: Bir gaz olmakla birlikte, yer aldığı kapların iç kısmını *katı* radyoaktif malzemelerden oluşan bir karışımla kaplayabilme özelliği vardı. Rutherford bu radyoaktif harmanları önce "kızışmış aktivite", özelliklerini daha iyi anlayınca da "aktif tortular" olarak adlandırdı.

Rutherford, yayılımların ve aktif tortuların karmaşık yapılarını çözerken, radyoaktif elementlerce yaratılan üçüncü bir temel radyasyon bileşenini buldu. Sızış gücü β ışınlarından daha yüksek olan bu bileşene γ ışınları adını verdi. Bunların x ışınlarına benzediği sanısını taşımakla birlikte, görüşünü kanıtlamanın bir yolunu ancak daha sonraları buldu.

Rutherford iki yıllık olağanüstü yoğun bir çalışmadan sonra, 1900 yazında bir tatile çıktı. Anne babasını görmek ve birkaç nikâh ertelemesine katlanmasına karşın, artık sabrı tükenen nişanlısını koluna takmak üzere Yeni Zelanda'ya gitti. Çift bir yıllık gelirin yarısını (1.250 \$) seyahat masrafları ve balayı için harcamış olarak Eylül 1900'de Montreal'e döndü.

Simya

Rutherford laboratuvarına döndüğünde, ilk düşüncelerinden biri becerikli bir kimyacıdan yardım almaksızın son buluşlarının zengin cevherlerini açığa çıkarmayacağı oldu. Üzerinde çalıştığı radyoaktif element olan toryum, yarattığı

yayılm ve aktif tortuların bileşenleri kimyasal açıdan belirgin farklılıklar göstermekteydi. Bunların belirlenmesine ve eğer mümkünse izole edilmesine ihtiyaç vardı. Rutherford bu iş için tam biçilmiş kaftan olan adamı yanı başında, McGill kimya bölümünde buldu. Bu kişi kısa süre önce Oxford'dan mezun olan Frederick Soddy adlı kimya alıştırmanı, yani laboratuvar uygulama öğretmeni idi. Soddy enerjik, hırslı ve geniş ufukluydu. Rutherford'un yanında çalışan çok sayıda araştırma partnerinin en yeteneklilerinden biri olduğunu göstermekte gecikmedi.

Rutherford ve Soddy önce toryumdan radyoaktiviteyi çıkarmanın kimyasal yollarını buldular. Son derece radyoaktif bir maddeyi ayırarak, buna "toryum X" adını verdiler. Geriye kalan toryum başlangıçta inaktifti. Ama bu aktivite ve inaktivite sürmedi, birkaç hafta içinde toryum eski aktivitesine yeniden kavuşurken, toryum X'in aktivitesi bozunuma uğradı. Daha önce Becquerel de uranyum deneylerinde benzer bir davranışı belirlemişti. Bu geri-kazanma ve bozunma düzenini matematiksel olarak inceleyen Rutherford ve Soddy, çığır açıcı bir teorenin kanıtlarına ulaştılar. Toryum X'in, tıpkı toryum gibi, ayrı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bir kimyasal element olduğunu, bir kimyasal tepkimeye toryumdan çok yavaş bir hızla kendiliğinden ortaya çıktığını ve daha sonra da bariz biçimde farklı olan, ama henüz belirlenemeyen başka bir elemente kendiliğinden dönüştüğünü varsaydılar. Ardışıklık şu şekildeydi:

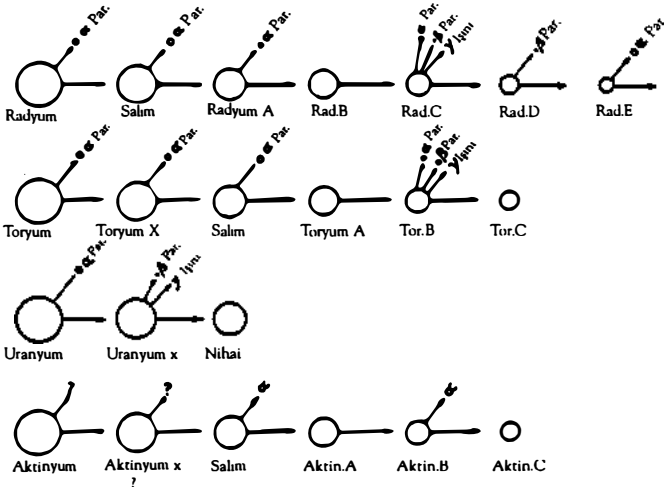


Bunlar henüz hiçbir kimyacının ya da fizikçinin uğramadığı bir alana ait kimyasal tepkimelerdi. Bir radyoaktif element ya da "radyo-element" kendiliğinden değişerek başka bir element haline gelmekteydi. Atom düzeyinde de atomlar kendiliğinden bozularak yeni atomlar oluşturmaktaydı. Kısacası, bir dönüşüm söz konusuydu. Simyaydı bu.

Rutherford-Soddy radyoaktivite bozunum teorisi, radikal niteliği göz önüne alındığında hiç de şaşırtıcı olmayan bir gelişmeyle, aralarında Pierre Curie ve Lord Kelvin'in (7. Bölüm'de tanıştığımız William Thomson) bulunduğu bir çevrenin itirazlarıyla karşılaştı. Ama teorenin olağanüstü sağlamlığı zamanla ortaya çıktı. Bunu artarda çeşitli ara radyo-elementlere uygulayan Rutherford ve Soddy, birbirini izleyen kendiliğinden bozunumlara ilişkin eksiksiz zincirler oluşturdular. Hepsisi de yayılımlarla ortaya çıkan toryum, radyum ve aktinyum aktif tortuları üzerindeki çalışmalarda, birçok yeni radyo-element buldular. Bozunumlardan çoğunun ayırıcı özelliği, Rutherford'un α , β ve γ ışınlarından birinin ya da daha fazlasının salınmasıydı. Her bozunum sürecini ayrıca radyo-elementin aktivitesinin bozunmaya bağlı yok oluş hızı belirlemektedir. Bu hızı bir elementin radyoaktivitesinin başlangıçtaki değerinin yarısına inmesi için geçen süreye göre ifade etmek uygun bir yaklaşımdı. Bu "yarı-ömürler" bir örnekteki 3×10^9 yıldan başka bir örnekteki 1,5 dakikaya kadar uzanan çarpıcı bir değişkenliğe sahipti. Radyo-elementlerin bazıları çok kararlı, zar zor belirlenecek ölçüde radyoaktifti, buna karşılık bazıları çok kararsız ve son derece radyoaktifti.

Rutherford ve Soddy'nin gözlemlediği radyo-elementlerden bazılarının miktarı o kadar ufaktı ki, tartılmalarına ya da kimyasal açıdan belirlenmelerine olanak yoktu. Üstelik Rutherford ve Soddy'nin başvurduğu son derece hassas yöntemlerle radyoaktivite düzeylerinin kesin olarak ölçülebilmesine rağmen. Böylece kimyasal yapıların belirlenmesine kadar, ki bu iş ancak on yıl kadar sonra gerçekleşti, Rutherford ile Soddy ve başkaları gözlemledikleri radyo-elementler için keyfi takma adlar kullanmak zorunda kaldılar. Örneğin, Rutherford ve Soddy radyum aktif tortusunda radyum A, radyum B ve böyle devam ederek radyum G'ye kadar uzanan elementler bulduklarını bildirdiler. Rutherford 1904'te Londra'daki Kraliyet Bilim Derneği'nde önemli bir buluşma olan Baker Konferansı'nda konuşmak üzere davet edildi. (Kraliyet Bilim Derneği'ne önceki yıl üye seçilmişti.) Soddy'yle birlikte yapmış olduğu bütün çalışmaları özetlemek için bunu bir vesile olarak kullandı. Çizim 21.1'de onun ve Soddy'nin 1902 ve 1903 yıllarında gözlemlediği bozunumları gösteren diyagram yer almaktadır. Her bozunum için (okun ardından) ortaya çıkan α , β ya da γ salımı belirtilmiştir. (Diyagramdaki "Par" kısaltması "parçacık" anlamına gelmektedir. O sırada Rutherford α ve β "ışınları"nın aslında parçacıklar olduğunu kavramıştı.)

Rutherford-Soddy dizgesinin çarpıcı bir özelliği radyoaktif bozunumların çoğunlukla ardışık diziler halinde bağlantılı olmasıdır: Örneğin, radyum A'nın bozunumu radyum B'yi oluşturur, bu da bozunarak radyum C'yi oluşturur ve aynı işleyiş radyoaktif olmayan bir elementin (Rutherford'un diyagramında göste-



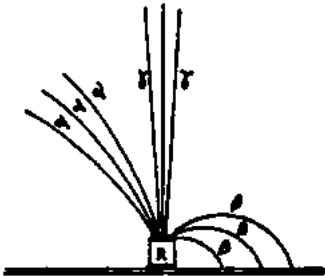
Çizim 21.1. Rutherford'un 1904 Baker Konferansı'nda sunduğu biçimiyle, radyoaktif bozunumların radyum, toryum, uranyum ve aktinyum dizileri.

rilmeyen radyum G) ortaya çıkmasıyla dizinin son bulmasına kadar sürer. Daha sonraları Rutherford uranyum X ile radyumun bağlantılı ve radyum dizisinin aslında uranyum dizisinin bir uzantısı olduğunu saptadı.

Rutherford'un radyoaktivite bozunum teorisi üzerine Soddy'yle birlikte yürüttüğü çalışma McGill'deki en büyük başarısıydı, ama tek başarısı değil. Aynı sıralarda α ışınlarının fiziksel özelliklerini daha kapsamlı bir çerçevede incelemeye koyuldu. Uyguladığı deneysel teknik ışınları güçlü bir manyetik alana yönlendirmektir. Alan bu ışınların doğrultusuyla dik açı oluşturacak biçimde düzenlenmişti. Newton'un hareket yasaları ile Maxwell'in elektromanyetizma yasaları birlikte ele alındığında, bu durumdaki elektrik yüklü bir parçacığın eğri bir yol izlemesi gerektiğini ve yolun eğriliğinin esasen parçacığın yüküne, kütlesine ve enerjisine bağlı olduğunu öngörür. J. J. Thomson bu stratejiyi katot ışınlarındaki elektronları belirlemek için kullanmıştı; Becquerel de aynı yaklaşımı β ışınlarına uygulayarak, tıpkı katot ışınları gibi β ışınlarının da aslında yüksek hızlı elektron akışları olduğunu göstermişti.

Rutherford radyumdan ve başka kaynaklardan gelen α ışınlarının da bir manyetik alanda "sapmaya eğilimli" olduğunu ama β parçacıklarına (ışınlar değil) çok daha düşük bir sapma görüldüğünü saptadı. Bunun üzerine α ışınlarının da parçacık akışları olduğu sonucuna vardı. Aradaki fark α parçacıklarının (ışınlar değil) β parçacıklarına oranla hatırı sayılır ölçüde daha yoğun olmasıydı. Buna karşılık γ ışınları bir manyetik alanda sapma göstermez ve x ışınları gibi sahiden ışın yapısındadır. Rutherford radyoaktif salımların bu değişken yönlerini 1904'te Kraliyet Enstitüsü'nde bir konferansta Çizim 21.2'deki çizimle ortaya koydu. Çizimde α ve β yollarının karşıt istikametlerde eğik olduğuna dikkat edin. Newton-Maxwell teorisi bu durumu α ve β parçacıklarının farklı işaretlere sahip elektriksel yükler, yani α parçacıklarının pozitif, β parçacıklarının ise negatif yükler taşımaları diye yorumlar.

Rutherford ve Soddy radyum dizisinin ardışıklığını çözdükten ve eşlik eden salımları tanımladıktan sonra, gözlemledikleri kimyasal dönüşümleri harekete geçiren enerji değişimlerini hesaplayabilirlerdi artık. Radyoaktivitenin genel tuhaflığına önceden bir aşinalık olmasa, vardıkları sonuca inanmamak çok zordu. Yaptıkları hesaplara göre, bir gram radyumun radyoaktif olmayan nihai ürüne kadar bütün dizi boyunca meydana gelen dönüşüm sırasında açığa çıkardığı enerji,



Çizim 21.2. Rutherford'un radyum kaynaklı üç tür salıma ilişkin çizimi.

hidrojen ve oksijenden bir gram suyun elde edilmesi sırasında üretilen enerjinin yaklaşık iki bin katıydı. Olağan standartlar içinde çok yüksek enerjili (kimi zaman patlayıcı) bir tepkimeydi bu. Rutherford ve Soddy birlikte yürüttükleri çalışmaya ilişkin son makalelerinde, “[radyoaktif olsun ya da olmasın] atomda saklı enerji, olağan kimyasal değişimde serbest bırakılan enerjiyle karşılaştırıldığında muazzam olmalıdır” sonucuna vardılar. Bu “atom enerjisi”nin Güneş’teki atomaltı değişimlerle sağlanıyor olması halinde, Güneş enerjisindeki sürekliliğin bu duruma açıklanabileceğini ileri sürdüler.

Alfa Bombardımanları

McGill’de çalışan Rutherford, gerek duyduğu hemen her şeye sahipti. Tabii İngiliz ve Avrupa bilim merkezlerine yakınlık sayılmazsa. Bu dezavantaj, Manchester Üniversitesi’ndeki Langworthy Fizik Kürsüsü’ne geçmesi yolunda bir öneri gelince, sonunda Kanada’dan ayrılmaya ikna olmasını sağladı. Öneriyi ileten Arthur Schuster, bu kürsüdeki profesörlükten emekliye ayrılmak üzereydi ve yerine Rutherford’un geçmesini istiyordu. İngiltere’de Cavendish’ten sonra gelen Manchester fizik laboratuvarının, ona çekici geleceğini gayet iyi biliyordu. Rutherford çifti (küçük kızları Eileen’le birlikte) 1907 ilkbaharında Manchester’a vardılar. Laboratuar Rutherford’un beklentilerine uygundu. “Laboratuar çok iyi” diye yazdı annesine. “Ama Montreal’deki laboratuar gibi hiçbir masraftan kaçınmaksızın inşa edildiği söylenemez.” Yine bu mektupta, “tevazu yüzünden neredeyse değinmekten kaçınma” gereğini bir tarafa bırakarak, resmi bir ziyaretçi üzerinde bıraktığı izlenime ilişkin bir hikâyeyi annesine keyifle anlattı: “Japon Eğitim Bakanı Sayın Kikuçi dün buradaydı ve Schuster onu benimle tanıştırdı. Daha sonra, ‘Sanırım, bana gösterdiğiniz Rutherford şu meşhur Profesör Rutherford’un oğlu olmalı’ demiş Schuster’e!!!”

Manchester laboratuvarında yalnızca mükemmel bir alet koleksiyonu değil, aynı zamanda yetkin bir genç asistan vardı. Rutherford’un daha sonraki α parçacıkları çalışmalarına hayati katkılarda bulunacak olan Hans Geiger’di bu. Bir Alman olan Geiger tam Rutherford’un gerek duyduğu türden biriydi, sınırsız çalışma kapasitesine sahip hünarlı bir deneyciydi., “Geiger iyi bir adam ve bir köle gibi çalışıyor” diye yazacaktı Rutherford bir meslektaşına, Manchester’da bir yılını doldurduğu 1908’de. “İşleri güzel bir üsluba oturtmamızdan önce, şu sıkıcı zımbırtıya ayıracak zamanı bir türlü bulamamıştım. Sonunda her şey yoluna girdi ama saçılma başımızdaki şeytan.” İleride göreceğimiz üzere, “saçılma” aynı zamanda bir melek barındırmaktaydı.

Rutherford gözde deney aracı, “güçlü sağ kolum” dediği α parçacığını da beraberinde Manchester’a getirdi. McGill’deki deneylerinde α parçacıklarının fiziksel özelliklerini belirlemiş ve yüklü helyum atomları, yani helyum iyonları oldukları tahminine varmıştı. Şimdi bu sanısını perçinlemek istiyordu. İyonlaşma etkilerini büyük ölçüde artırma yoluyla *tekil* α parçacıklarını saptayıp saymak üzere, Geiger’le birlikte bir elektrik aygıtı geliştirdi. (Bu aletin daha sonraki bir somut örneği, zamanla “Geiger sayacı” olarak anılmaya başladı.)

Aynı sıralarda Rutherford tekil α parçacıklarını belirlemek için bir başka metottan da yararlanma yoluna gitti: Çinko sülfürle kaplı bir perdeye çarpan α parçacıklarının yarattığı ufak ışık çakımlarını gözlemlemek. Geiger sayacı bir α parçacığının çinko sülfür perdesine her varışıyla birlikte bu "parıltı"lardan birinin ortaya çıktığını doğruladı. Parıltı saymak Rutherford için özellikle çekiciydi: Tekil bir parçacığı görmeye en yakın şeydi bu.

Rutherford ve Geiger bir gram radyumun bir saniyede saldırdığı α parçacığı sayısını saptamak için parıltı tekniğini kullandılar. Ardından bağlantılı elektrik yüküne ilişkin paralel bir ölçümle, bir α parçacığının taşıdığı yükün kesin bir saptamasını elde ettiler. Yükün büyüklüğünün bir elektronun iki katı olmasından ve başka doğrulayıcı bulgulardan hareketle, α parçacıklarının çift yüklü helyum iyonları (He^{++}) olduğu sonucuna vardılar.

Manchester'daki genç elemanlarıyla konuşurken, Rutherford'un tekrarladığı görüşlerden biri şuydu: "Bütün bilim, fizik ve pul toplama diye ikiye ayrılır." Bu "pul toplama" disiplinlerinden birinin kendisine iyi hizmet ettiğinin farkındaydı Rutherford. Radyoaktivite bozunum teorisinin ilham kaynağı ve doğrulama aracı, Soddy'nin kimya laboratuvarındaki mükemmel tekniğiydi. 1908'de, yani Manchester'a vardıktan bir yıl sonra Rutherford kimya dalında Nobel Ödülü kazandı. "Çok beklenmedik bir şey bu" dedi. "Üstelik, metamorfoz geçirerek bir kimyacı haline gelmekten epeyce ürküyorum."

Rutherford bir keresinde şöyle bir yorum yapmıştı: "Ben atoma hoş bir sıkı ahbap gibi bakacak biçimde yetiştirildim, zevke göre kızıl ya da soluk tenli sayılabiliirdi bu ahbap." Sıkı ve kaskatı atom görüntüsü, 1909'dan 1913'e kadar Rutherford, Geiger ve genç lisans öğrencisi Ernest Marsden'in yürüttüğü bir dizi deney sonunda bir daha belini doğrultamayacak biçimde yerle bir edildi. Üçlünün kafasına takılan husus, α parçacığı demetleriyle yapılan deneylerdeki "şeytan"dı: Yoluna herhangi bir madde, hatta bir gaz konduğunda demetin "saçılma", yani belirginliğini kaybetme eğilimi. Geiger parıltı sayma tekniğini kullanarak, bir α parçacık demetiyle ince bir metal yaprak bombardımana tutulduğunda, parçacıklardan çoğunun ya dosdoğru yaprağın içinden geçtiğini ya da hafifçe saptığını (saçıldığını) saptamıştı. Ama bazı α parçacıklarının daha geniş açılarla saçıldığını gösteren bir ipucu vardı.

Muhtemel görünmeyen deney sonuçları Rutherford'un merakını her zaman çekirdi. Marsden'in geniş açılı saçılma üzerinde çalışması yolunda bir karar verdi. Bu olayı çok sonraları şöyle anlatacaktı: "Geiger'le birlikte, radyoaktif metotlarda yetiştirdiği genç Marsden'in bir araştırmaya başlaması gerektiği konusunda görüş birliğine vardık. Hiçbir α parçacığının geniş açıyla saçılamayacağını bizzat gözleriyle görmesi iyi olmaz mıydı? Böyle bir şeyin olacağına inanmıyordum ben." Ama Marsden aslında birkaçının bu özelliği gösterdiğini saptadı: Sekiz bin örnekte yaklaşık bir α parçacığı bir platin yaprağına çarparken 90° 'den daha geniş bir açıyla sapmaktaydı. Rutherford'un tepkisi şöyle oldu: "Hayatımda başıma gelen en inanılmaz olaydı bu. Bir pelür kâğıdına açtığınız top ateşinde 15 inçlik bir merminin geri dönüp suratınıza çarpması kadar inanılmazdı."

Rutherford'un α parçacıkları çok yüksek enerjiliydi, milyonlarca volt içinden geçirilerek hızlandırılmaları halinde elde edebilecekleri enerjiye sahipti ve üstelik bir atom ölçeğine göre kütleliydi. Bir metal yapığa çarpınca ara sıra geri dönmeleri için, yüklü ve eşit ölçüde kütleli ama aynı zamanda çap olarak daha küçük bir şeyle karşılaşmaları gerekirdi. Rutherford deney sonuçlarını α parçacıkları ile son derece küçük bir "yük merkezinin" ya da sonradan verdiği adla "çekirdeğin" yoğun elektrik alanı arasında tek başına yakın karşılaşmaları varsa-yan bir modelle açıkladı. Kütleli ve yüklü çekirdeğin çapının 10-13 santimetre olduğunu tahmin etti. Bir bütün olarak atomun başka yollara göre tahmin edilen büyüklüğü 10-8 santimetre olduğu için, Rutherford'un modeli şaşırtıcı bir sonucu zorunlu kılmaktaydı: Atom büyük ölçüde boşluktu, yani daha önce tanıdığı "hoş sıkı ahbab"la pek benzerliği yoktu.

Bir seferliğine teorisyen rolünü yerine getiren Rutherford, modelini kolay anlaşılır bir matematiksel dille ifade etti ve kapsamlı bir deneysel testten geçirmeleri için denklemlerini Geiger ile Marsden'e verdi. Bu konuda Marsden'in daha sonraları aktardığı bir anı şöyle: "Eksiksiz kontrol, zahmetli ama heyecan verici bir görev. Geiger'in çalışma sürecinde bir milyonu aşkın alfa parçacığını saydığımızı ortaya koyan bir hesap çıkardığını hatırlıyorum." Parçacıklar doğrudan gözlemlerle teker teker, yani parıltıdan parıltıya sayıldı. Denklemler ve Rutherford'un garip modeli tuttu, yani testten başarıyla çıktı.

Ama işin tuhafı şu ki, Rutherford'un meslektaşları ikna olmadılar, hatta konuyla ilgilenmediler bile. "Bilim camiası ... tınmadı. Bu yeni atom teorisi itirazla karşılaşmadı ama büyük ölçüde gözardı edildi" diye belirtir Rutherford'un biyografi yazarlarından Lawrence Badash. Rutherford'un çekirdekli atomunun fizik düşüncesinde genel geçerlilik kazanmasını iki olay sağladı. Olaylardan biri Bohr'un atom teorisinin olumlu bir tepkiyle kabul görmesiydi. Bu teori çekirdek kavramından yola çıkıyor ve ardından yörünge içindeki elektronları ekleyerek eksiksiz atomu kuruyordu. Diğer olay Rutherford'un Manchester ekibindeki bir gencin iki makalesinin yayımlanmasıydı. Bu genç adam, kimyacılar elementlerin periyodik tablosuyla ilgili köklü gizemlerin nasıl çözüleceğini "pül toplama"ya başvurmadan gösteren Harry Moseley'ydı. Şimdi Moseley hikâyesine geçerek, onun döneminde kimyacıların periyodik tablolarını düzenlemek için kullandıkları bulgulara kısaca bir göz atalım.

Kimya Dersleri

1869'da, yani Rutherford'un atom modelinin sahneye çıkmasından yaklaşık elli yıl önce, St. Petersburg Üniversitesi'nde kimya profesörü olan Dmitri İvanoviç Mendeleyev kimyasal elementlerin özelliklerindeki belirli bir periyodikliğe dikkat çekti: "Atom ağırlıklarının değerlerine göre yerleştirilen elementler özellikleri bakımından açık seçik bir periyodiklik gösterir." Bir kimyacı "atom ağırlığı" derken, en hafif atom hidrojenin atom ağırlığını bir olarak kabul eden görece bir ölçeğe göre bir atomun kütlesini kasteder.

Hidrojenden sonra gelen sekiz element, Çizim 21.3'te 1911'de bilindiği ha-

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
He 6,94	Li 6,94	Be 9,1	B 11,0	C 12,00	N 14,0	O 16,0	F 19,0			
Ne 20,2	Na 23,0	Mg 24,32	Al 27,1	Si 28,3	P 31,0	S 32,07	Cl 35,46			
A 39,9	K 39,10	Ca 40,1	Sc 48,1	Ti 48,1	V 51,0	Cr 52,0	Mn 54,9	Fe 55,8	Co 59,0	Ni 58,7
	Cu 63,6	Zn 65,4	Ga 69,9	Ge 72,5	As 75,0	Se 79,2	Br 79,92			
Kr 82,9	Rb 83,5	Sr 87,6	V 89,0	Zr 90,6	Nb 94	Mn 96,0	?	Ru 101,7	Rh 102,9	Pd 106,7
	Ag 107,88	Cd 112,4	In 113	Sn 119,0	Sb 120,2	Te 127,5	I 126,9			
X 130	Cs 133	Ba 137,4	La 139	Ce 140,25	—	—	—			
	—	—	Yb 172,0	—	Ta 181,5	W 184,0	—	Os 191	Ir 193,1	Pt 195,2
	Au 197,2	Hg 200,6	Tl 204,0	Pb 207,1	Bi 208,0	—	—			
	—	Ra 226	—	Th 232,4	—	U 238,5				

Çizim 21.3. Rutherford'un zamanında bilinen haliyle elementlerin periyodik tablosu.

liyle gösterilen periyodik tablonun en üst satırına artan atom ağırlığı sırasına göre yerleştirilir. (Kısaltmaların açılımı: He = Helyum, Li = Lityum, Be = Berilyum, B = Bor, C = Karbon, N = Azot, O = Oksijen, F= Flüor.) Onuncu element neon (Ne), Mendeleyev'in kimyasal periyodiklik kuralını yansıtır: Bir gazdır, kimyasal tepkimeye girmez ve helyuma benzer. Tabloda yeni bir satırı başlatır ve kimyasal hısımlı helyumla aynı sütuna yerleştirilir. Sonraki element sodyum (Na), tabloda hemen yukarısına düşen lityumla kimyasal benzerlikler taşır. Bu düzen ikinci satır boyunca sürer: Magnezyum (Mg) berilyumu, alüminyum (Al) boru andırır vb.

Üçüncü ve dördüncü satırlarda karışıklıklar ortaya çıkar. Burada bunlara ayrıntılı olarak girmeyip yalnızca şu kadarını belirteyim: Argon (A) ve potasyum (K) uygun kimyasal aileleri içinde yer alırlar ama Mendeleyev kuralına göre değil: Potasyuma göre argon biraz daha ağırdır. 1911 tablosundaki boşluklardan bazıları henüz bulunmamış elementlerden, bazıları ise bir dizi elementin uygun olmamasından kaynaklanır. Seryum (Ce) ve iterbiyum (Yb) arasında böyle birçok uyumsuz durum vardır ve bunların bir kısmı kimyacıların "azrak toprak elementi" dediği elementlerdir.

Kimyacılar bu kusurlu 1911 periyodik tablosundaki karışıklığı giderecek kimyasal bulguları belki zamanla tarihi derleyecekti. Ama Rutherford ile Bohr'un ipuçlarını ve kendisine ait bazı x ışını verilerini kullanan Moseley, onlara tablonun kimyaya hiç başvurmadan nasıl çarçabuk düzene konabileceğini gösterdi.

Atomlardan Gelen X Işınları

Harry Moseley öğrenci olarak Eton ve Oxford'daki silik bir sicilin ardından Manchester'a gitti. Akademik standartlara göre değerlendirildiğinde geleceğinin pek parlak görünmemesi, bir başka başarısız öğrenci Albert Einstein'ı hatırlatacak niteliktedir. (Moseley daha sonraları Oxford'dan mezun olduğu sırada kafasının "örümcek ağılarıyla dolu" olması yüzünden araştırmalar konusunda yaratıcı düşünemediğini belirtecekti.) Ancak Rutherford nitelikten anlayan keskin gözüyle belirgin bir kıvılcım gördü ve Moseley'yi alıştırıcı olarak yanına aldı. Moseley'nin ilk projesi radyum B ve radyum C'nin saldırdığı β parçacıklarını saymaktı. Çalışması ona bir araştırma bursu kazandırdı ve bunu x ışınlarının dalga-parçacık davranışı konusunda beliren paradoksu incelemek için kullanmaya karar verdi. Manchester'da kadrolu teorisyen olarak çalışan ve *Türlerin Kökeni*'nin yazarının torunu olan Charles Darwin'le bir partnerlik oluşturdu. İkisi birlikte Rutherford'a başvurarak, bir x ışını çalışması yapmayı önerdiler. Üstat kuşkuluydu, çünkü Manchester'da x ışını araştırmasının karmaşıklıkları konusunda kimsenin deneyimi yoktu. Moseley bu sorunu Leeds'e giderek ve İngiltere'nin önde gelen x ışını otoritesi William Bragg'den ders alarak çözdü.

Rutherford'un tatmin olması üzerine, Moseley ve Darwin dalga olarak ele aldıkları x ışınları üzerine bir çalışmaya giriştiler. Bu çalışmada x ışını frekanslarının geniş bir yelpazeye kesintisiz biçimde dağıldığını saptadılar ama kesintisiz tayfa bindirilmiş sivri dorukları bulma fırsatını kaçırdılar. Bir baba-oğul ekibi ola-

rak çalışan William ve Lawrence Bragg bu dorukları buldu. Moseley ve Darwin onların açtığı yolu ayrıntılı bir çalışmayla izleyerek, gözlemledikleri şeyin daha önce İskoç fizikçi Charles Barkla tarafından bildirilen homojen bir x ışını bileşeniyle aynı olduğunu açıklığa kavuşturdular.

Barkla radyasyonu, x ışınları kaynağı olarak kullanılan maddenin karakteristik özelliği olarak biliniyordu. Moseley bir dizi element tarafından yaratılan karakteristik x ışınları üzerine sistematik bir araştırma yapmaya karar verdi. Hedefi öncelikle Barkla'nın "K" adını verdiği belirli karakteristik x ışınları ile elementin "atom sayısı", yani periyodik tablodaki yerini belirleyen sayı (hidrojen için 1, helyum için 2, lityum için 3 vb) arasında bağıntı kurmaktır.

Artık kendi başına çalışmakta olan Moseley, bu projeye neredeyse çılgınca bir yoğunlaşmaya gömüldü. "Tanıdığım hiç istisnasız en çalışkan kişiydi" diye yazıyordu Darwin bir anısında. Moseley çoğu kez gece yarısına kadar çalışırdı ve sabahın üçünde Manchester'da yiyecek bir şeyi nerede bulacağını bilirdi. Zihinsel yorgunluk onu çalışmaktan alıkoyacak bir şey değildi. "Ona evine gidip yatması gerektiğini söylediğimde" diye aktarır Darwin, "kendini iyi hissettiği zaman içinden kirlere çıkıp dolaşmak geldiğini ve ancak bu biçimde yorgun düştüğü zaman laboratuvarında çalışma isteği duyduğunu belirtirdi." Elinin altındaki x ışını donanımında küçük ya da büyük düzeltmeler yapma isteğine hiç karşı koyamazdı. "Umulabilecek bir olası düzeltme fırsatı gördüğü anda, bütün cihazı söküp parçalara ayırmaya ve yeni baştan kurmaya her zaman hazırıdı."

Moseley'nin ilk buluşu şaşırtıcı ölçüde basit ve kesin bir denklemdi. Kalsiyumdan çinkoya kadar olan elementlerin atom sayısı ($Z = 20$ ila 30) ile K karakteristik x ışınlarının ν_K frekansı arasında bağıntı kuran bu denklem şöyleydi:

$$\nu_K = \left(\frac{3R'}{4} \right) (Z - 1)^2 \quad (1)$$

ya da

$$\nu_K = R' \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{2^2} \right) (Z - 1)^2 \quad (2)$$

Buradaki R' hidrojen optik tayfında bulunan ν frekanslarına ilişkin ve n_1 ile n_2 değerlerinin birer tam sayı olduğu şu Balmer denklemindeki sabitle aynıdır:

$$\nu = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (3)$$

Moseley başarısından aldığı cesaretle, Barkla'nın L adını verdiği karakteristik x ışınları için

$$\nu_L = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) (Z - 7,4)^2 \quad (4)$$

biçimindeki ikinci bir ampirik denklem önerdi ve bunu zirkonyum ($Z = 40$) ile altın ($Z = 79$) arasındaki birçok elemene uyguladı.

Moseley'nin bu araştırmayla uğraştığı sıralarda, Bohr da Manchester laboratuvarında çalışmaktaydı ve Balmer formülüne, yani denklem (3)'e ilişkin çarpıcı teorik açıklamasını sonuca bağlamak üzereydi. Moseley ve Bohr'a göre, Moseley'nin ortaya koyduğu denklem (2) ve denklem (4) ile Balmer formülü arasındaki belirgin benzerlikler daha ileri teorik gelişmeler vaat ediyordu. Bohr'un tek elektronlu hidrojen atomu teorisi nasıl Balmer denkleminde doğmuşsa, çok sayıda elektron içeren atomlara ilişkin bir teorisinin de Moseley denklemlerinde ortaya çıkacağını umuyorlardı. Bu beklentileri hiçbir zaman gerçekleşmedi ama teorik çabalarında ileri sürdükleri iki varsayım ayakta kaldı ve zamanla atom teorisinin demirbaşları haline geldi: Bir elemente ilişkin Z atom sayısı o elementin her bir atomundaki elektron sayısını belirtir ve aynı zamanda elektron birimlerinde yola çıkarak çekirdekteki dengeleyici pozitif yükü ölçmeye yarar.

Moseley alüminyum ve altın arasındaki altmış yedi elementten otuz dokuzundan salınan karakteristik x ışını tayflarını gözlemledi ve kendi denklemlerini kullanarak atom sayılarını belirledi. Atom sayılarına ilişkin bu dupduru değerlendirmeye (argon ve potasyum örneğinde) bazı elementleri atom ağırlığı ardışıklardaki sıranın dışına koyma gereğini doğrulamanın yanı sıra, bir atom sayısının bulunduğu ama buna denk düşen elementin bilinmediği boşlukları gösterdi. Atom sayıları 43, 61, 72 ve 75 olan dört eksik element saptandı ve sonuncusu otuz bir yıl sonra olmak üzere, bunların hepsi bulundu. Her element, Moseley'nin ifadesiyle, "ait olduğu doğru bölme"ye kondu, buna hiç görülmemiş olan elementler de dahildi. Moseley'ye azrak toprak element numuneleri sağlayan Fransız kimyacı Georges Urbain, Ruherford'a yazdığı bir mektupta Moseley ve başardığı şeyler karşısındaki hayretini şöyle anlatıyordu: "Böylesine çarpıcı işleri becerebilen çok genç bir adamı görmek beni son derece şaşırttı. ... Moseley yasa, azrak toprak elementlerin hareket noktası kadar vardığı nokta açısından da, benim yirmi yıllık çabalarımın sonuçlarını birkaç gün içinde sağlam bir temele oturtmuş bulunuyor."

Moseley x ışını çalışmasını, bir ömre mal olsa bile olağanüstü denebilecek böyle bir girişimi bir yıldan az bir süre içinde tamamladı. (Manchester'dan Oxford'a taşınmak ve "baş belası" bir a teknisyenin kuşku verici hizmetleriyle aygıtların baştan aşağı yeniden kurulması için gereken süre de buna dahildi.) Moseley için "yanımda çalışan gençlerin en iyisi" demişti Rutherford. Günün birinde pekâlâ Rutherford ayarında bir bilimci olabilirdi.

Gelgelelim, İngiltere 1914'te Almanya'yla savaşa girince, Moseley hemen gönüllü olarak askere yazıldı. Kraliyet İstihkâm Birliği'ne verildi ve bir işaret subayı oldu. Bağlı olduğu tugay Haziran 1915'te Çanakkale'ye gönderildi. İki ay sonra dolaşık bir harekât sırasında, Moseley'nin tugayı daha sonra ortalıktan kaybolan iki kılavuz tarafından, kasıtlı olarak ya da yanlışlıkla İngiliz hatlarının önündeki bir mevzie götürüldü. Geceleyin uyuyan askerler sabah uyandıklarında

gündüz gözüyle hatayı fark ettiler ama o sırada Türkler saldırıya geçmişti bile. Sabah saatlerinde Moseley başından vuruldu ve anında öldü.

Bölmeler Yetersiz Olunca

Moseley'nin elementler numaralandırması atom ağırlığına temelde daha önemli bir atom parametresi ekledi: Atom sayısı. O sıralarda bu iki parametre tamamen farklı bir yoldan buluşmaya doğru gidiyordu. Önceleri periyodik tabloda ki yalnızca en ağır on kusun kadar elementin radyoaktif olduğu varsayılmıştı. Oysa Rutherford, Soddy ve başkaları bundan daha fazla radyo-element bulduklarını öne sürmüş, salımlarına ve yarı-ömürlerine göre tanımladıkları bu elementlere radyum A, toryum X ve iyonyum gibi bağlayıcı olmayan adlar vermişlerdi. Pe ki, bu radyo-elementler periyodik tabloya nasıl sığacaktı? Yeterince bölme yoktu çünkü.

1910 dolaylarında şu açık seçik görüldü: Sayıca çoğalan radyo-elementler fiziksel bakımdan ayrı olmakla birlikte, kimyasal bakımdan tamamen benzersiz değildi. Örneğin, toryum X ile radyumu birbirinden ayırmak mümkün değildi, çünkü kimyasal özellikleri aynıydı. Benzer biçimde radyum D ile kurşun, iyonyum ile toryum ayrılmaz nitelikteydi. Soddy buna benzer ayrılmaz çiftlerin farklı atom ağırlıklarına ama aynı kimyasal kimliğe sahip olduklarını varsayarak bölme krizine çözüm buldu. Bunlara periyodik tabloda aynı bölme verilmeliydi. Bu fikrin ortaya çıkışı çapraşıktır. Soddy'yle birlikte doğduğu söylenemez. Aynı iki element farklı atom ağırlıklarına sahip atomları Soddy'nin terminolojisinde "izotoplar" olarak anılır. Günümüzde kullanılan gösterim biçiminde, izotopları belir tirken kimyasal sembolde, bir alt-sayı olarak çekirdek yükünün büyüklüğü (atom sayısına eşit) ve bir üst-sayı olarak yaklaşık atom ağırlığı kullanılır: Rutherford'un radyum A'sı günümüzde ${}_{84}\text{Po}^{218}$, yani atom ağırlığı yaklaşık 218 ve atom sayısı (çekirdek yükü) 84 olan polonyum olarak ifade edilir. Eğer gereksizse atom sayısı boş bırakılır ve gösterim Po^{218} biçimini alır.

Soddy izotopların gerek radyoaktif gerek inaktif elementlerin yapısında önemli bir yer tuttuğunu kavradı. Sözelimi, doğada bulunan haliyle klor elementi iki inaktif izotopun, ${}_{17}\text{Cl}^{35}$ ve ${}_{17}\text{Cl}^{37}$ izotoplarının bir karışımıdır. Klor için ölçülen atom ağırlığı 35,47'dir, yani ilki ağır basmak üzere 35 ve 37 atom ağırlıklarının bir ortalamasıdır.

Soddy'nin çalışmaları çekirdeği radyoaktivitenin meydana geldiği yer olarak gören ve yeni gelişmekte olan kavrayışın açıklığa kavuşmasına da yardımcı oldu. Radyo-elementlerin α ve β parçacıkları salımıyla dönüşüme uğradığında periyodik tabloda nasıl yer değiştirdiğini çok sayıda örnekle gösterdi. Bu radyo-aktif atom sayısı değişimlerinin çekirdeksel değişimler olduğu tahmininde bulundu. Moseley'nin savları da bu tahminle uyuyormaktaydı.

Atom Yıkımı

1914'te savaş patlak verince, Rutherford'un öğrencilerinden çoğu askerlik hizmetine girdi ya da başka savaş dönemi görevleri üstlendi. Böylece Manchester

laboratuvarı kısa sürede boşaldı. Rutherford da denizaltı araçlarını saptamaya yönelik sonar metotlarını geliştirmekle görevli bir komitenin sivil üyesiydi. Bununla birlikte savaş yıllarında en iyi işi sayılan bir araştırma dizisini tamamlamaya zaman buldu.

Çalışmanın çıkış noktası, Marsden'in birkaç yıl önce bir radyum C (Bi^{214}) kaynağından salınan α parçacıklarıyla hidrojen gazı bombardımanı uygularken saptadığı bazı ilginç gözlemlerdi. Aynı deneyi tekrarlayan Rutherford, α parçacıkları ile hidrojen çekirdeklerinin tıpkı iki bilardo topu gibi birbirlerine çarptıkları, ortaya çıkan yeterli enerjinin her iki çekirdeği geri tepme hareketiyle sektirdiği ve sonuçta bu çekirdeklerin bir parıltı perdesinde izlerini bıraktıkları sonucuna vardı. Rutherford'un artık "proton" olarak andığı hidrojen çekirdeklerini, yollarına konan maddelere sızış güçlerinin daha yüksek olmasıyla, α parçacıklarından ayırt etmek mümkündü.

İşin bu kısmı anlaşıldı. Ama Rutherford daha sonra hidrojeninin yerine nitrojen gazını geçirerek deneyi yaptığında yine proton parıltıları gördü. Buna getirdiği açıklama, α parçacıkları çarptığında nitrojen çekirdeklerinin yapay olarak bozunuma uğradığıydı: "Alfa parçacıklarının nitrojenle çarpışmasından kaynaklanan uzun erimli atomların nitrojen atomları olmadığı, muhtemelen hidrojen atomları ya da 2 kütesine sahip atomlar olduğu sonucundan kaçınmak zordur" diye yazdı 1919'da. "Eğer durum böyleyse, hızlı bir α parçacığıyla yakın çarpışmada ortaya çıkan şiddetli kuvvetler altında nitrojen atomunun bozunuma uğradı ve serbest kalan hidrojenin nitrojen çekirdeğindeki bir bileşen parçasını oluşturduğu sonucuna varmalıyız."

Savaştan sonra 1919'da, Rutherford sevdiği bir yeri ve görevi bırakmaya bir kez daha ikna edildi. Annesine şöyle yazdı:

Şu anda Trinity [College] Dekanı olan Sir J. J. Thomson'dan boşalan Cavendish Fizik Kürsüsü'ne seçildiğim haberini herhalde almış olacaksın. Bana karşı çok iyi davranmış olan Manchester'dan ayrılıp ayrılmamaya karar vermek zor bir konu oldu ama benim için buraya gelmek galiba en iyisi, ne de olsa bu ülkedeki başta gelen fizik kürsüsü ve son 20 yıldaki fizik profesörlerinden çoğunun çıktığı yer. ... Bir kez daha köklerimi koparıp yeni dostluklar kurmaya sil baştan girişmek elbette hazine olacak ama çok şükür ki oradaki epeyce insanı önceden tanıyorum ve Trinity College'da bir yabancı gibi durmayacağım.

Rutherford'un biyograflarından ve bir Manchester mezunu olan Edward Andrade şunu belirtir: "Onu tanıyanların ve konu hakkında yazmış olanların genellikle katıldığı ortak görüş, hayatının en mutlu yıllarını Manchester'da geçirdiğidir. Nükleer atomun ve ilk [yapay] çekirdek bozunumunun doğmasına sahne olan yıllardı bunlar."

Rutherford'un gelişini kutlamak amacıyla Cavendish Laboratuvarı sakinlerinin (tam "Gilbert and Sullivan" tarzında) bestelediği şarkının bir bölümü şöyleydi:

Ne var bakayım şu atomda,
 En içte kalan alt katmanda?
 İşte budur uğraştığı sorun şu anda.
 Hani var ya şu son buluşu,
 Atomlar karşısında birer yağmurkuşu,
 Nasıl atlınsınlar artık yere savruluşu.
 Çıkarken bu av kovalamacasına,
 Güveniyor kullanacağı mühimmatına,
 Yani radyumdan fırlamış alfa parçacıklarına.
 Bütün yüzlere yayar bir hayret,
 Ve de gerektirir biraz marifet,
 Bir atomu kanadından vuran bu hikmet.

Koronun karşılığı ise şuydu:

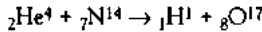
Var artık bir halef,
 Yerin doldu yüce selef,
 İkinizin harika işleri olur mu hiç telef:
 Tencere yuvarlanıp kapağını buldu,
 Bize de birlikte anmak farz oldu,
 J. J. ile Rutherford'u.

Cambridge'te de Rutherford "atomu kanadından" vurmak için α parçacığıyla nişan almaya devam etti. Bu çalışmaya Manchester'dan onunla birlikte ayrılan ve zamanla en yakın iş arkadaşı, sır ortağı ve Cavendish Laboratuvarı'nın ikinci adamı haline gelen James Chadwick de katıldı. Daha sonraları Rutherford'un yardımcı olarak Chadwick'in yerine geçen Mark Oliphant, "[Chadwick] laboratuvarı kimin tam olarak ne yaptığını Rutherford'dan daha etraflı bilirdi" diye yazdı. "Rutherford'un makam odasının yukarısındaki çatı katında bulunan 'çocuk yuvası' laboratuvarında ham çaylaklara araştırmayı öğreten oydu. Rutherford'la birlikte çoğu öğrencinin araştırma görevini belirler ve daha sonra onları kendi yollarına salardı. ... Chadwick'in hiç aksamayan ve bencillikten uzak ihtimamı olmasa, [Rutherford'un] laboratuvar dışındaki meşgalelerine yetişmesi asla mümkün değildi." Chadwick belki soğuk ve mesafeli sayılabilirdi ama makul olmayan bir tutuma nadiren girerdi, üstelik deneysel fizik sanatında Rutherford'un diğer araştırma partnerlerinin hepsinden daha ustaydı.

Rutherford ve Chadwick önce α bombardımanlarının yalnızca nitrojen çekirdeklerini değil, bor, flor, sodyum, alüminyum ve fosfor gibi daha hafif elementlerin çekirdeklerini de bozunuma uğratabileceğini ortaya koydular. Ama bu deneyler bir soruyu cevapsız bırakmaktaydı. Acaba α parçacıkları gerçekten hedef çekirdeğe sızarak bir bileşik çekirdek ve bir proton oluşturuyor muydu, yoksa bir kayayı sıyırarak mermiler gibi hedef çekirdekten protonları koparıyor muydu?

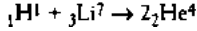
Aslına bakılırsa, bu soruya cevap vermek için gerekli donanım Cavendish Laboratuvarı'nda hemen ellerinin altındaydı. Genellikle "C. T. R." Wilson olarak anılan Charles Thomson Rees Wilson'ın çalışmasıydı bu donanım. Rutherford'la aşağı yukarı aynı yaşta ve eski bir dostu olan Wilson, bulutlar ve bulut oluşumu üzerinde çalışan bir uzmandı. İlk laboratuvarı İskoçya'daki en yüksek dağ ve çarpıcı bir bulut yaratma odağı olan Ben Nevis doruğuydu. Cavendish'te J. J. Thomson'ın yanında çalışmaya başladıktan sonra, Ben Nevis'in doğada yaptığı şeyi laboratuvar ortamında yapabileceğini gördü. Bunun için su buharıyla doymuş havayı aniden genleştirmesi ve ardından soğutması yeterliydi. Wilson ayrıca havayı x ışınlarıyla iyonlaştırmanın yapay bulut oluşumunu ileriye götürdüğünü saptadı. Bu da 1911'de en önemli buluşuna varmasını sağladı: "Bulut odası"nda bir α parçacığının geride bıraktığı iyonların izi, parçacığın izlediği rotayı açık seçik belli eden bir bulut hattı yaratmaktaydı. Bir uçağın buhar kuyruğunun minyatür bir versiyonuydu bu. Tıpkı parıltı perdesi gibi, Wilson'ın bulut odası da deneycinin tekil parçacıklarla, yalnızca α parçacıklarıyla değil, bir x ışını demetinin yarattığı β parçacıklarıyla, protonlarla ve elektronlarla da temasa girmesini getirdi.

Patrick Blackett 1920'lerde Wilson'ın bulut odasını daha da yetkinleştirdi ve Rutherford ile Chadwick'in bildirdiği atom yıkımlarına ilişkin doğrudan kanıtlar elde etti. Dört yüz bin kadar α parçacığı hattını gösteren fotoğraflarda iki kola ayrılan çatallı sekiz hat saptadı. Bu kollardan biri salınan protona, diğer bileşik çekirdeğe aitti. Üç kola ayrılan hiçbir hatta rastlanmadı. Demek ki sekip yön değiştiren bir α parçacığı yoktu. O halde Rutherford'un nitrojene dönük α bombardımanında gözlemediği nükleer "tepkime"nin şöyle olduğu apaçıktı.



Bu tepkime bir α parçacığı (${}_2\text{He}^4$) ve nitrojen (${}_7\text{N}^{14}$) ile başlar, bir proton (${}_1\text{H}^1$) ve bir bileşik çekirdek (oksijen izotopu ${}_8\text{O}^{17}$) verir.

Alfa parçacıkları Rutherford'un laboratuvarındaki en büyük dostlarıydı. Onları yeğ tutmasının nedeni, basit radyum ve polonyum kaynaklarından kolayca elde edilebilir ve güçlü olmalarıydı. Tek bir radyum α parçacığı, bir nükleer çarpışmaya milyonlarca volt içinden geçirilerek hızlandırılması halinde elde edebileceği enerjiyi katar ve bu da α parçacığının bir çekirdeğe sızarak onu bozunuma uğratmasına yetecek düzeydedir. Rutherford milyonlarca voltluk enerji düzeylerinde elde edilmeleri halinde, proton gibi diğer parçacıkların da "av kovalarken mühimmat olarak kullanılabilmesi" kanısındaydı. Ne var ki, protonlar söz konusu olduğunda, radyo-elementler α parçacıklarındaki kadar cömertlik göstermez. Bu nedenle iki Cavendish fizikçi-mühendisi, John Cockcroft ve Ernst Walton birkaç yüz bin volt içinden geçirilerek hızlandırılan bir proton demetini yaratacak bir makine yaptılar. Bir lityum hedefini bu demetle bombardımana tuttular, lityum çekirdeklerini bozunuma uğrattılar ve α parçacıkları elde ettiler. Yarattıkları nükleer tepkime şöyleydi:



Cockcroft-Walton makinesi protonları düz bir tüp içinde hızlandırıyordu. Aynı sıralarda Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'nde Ernest Lawrence "siklotron" adını verdiği bir dairesel hızlandırıcı makine geliştirdi. Lawrence'ın siklotronu yüklü parçacıkları sarmal yollara yönlendiriyor ve tedricen artan adımlarla, sarmal etrafındaki her turda iki kat hızlandırıyordu. Cockcroft-Walton doğrusal hızlandırıcısına göre bu tasarımın avantajı, hızlandırma boşluğu boyunca daha az alan ve daha düşük voltaj gerektirmesiydi.

Cavendish ve Berkeley'deki hızlandırıcılar, birçok laboratuarda fizikçilerin ve mühendislerin gerek doğrusal gerek dairesel hızlandırıcılar silsilesinin atalarıydı. Günümüzün yüksek enerji fiziği pratisyenleri hızlandırıcı makinelere ve parçacıkları belirlemek için kullandıkları Wilson bulut odası türevlerine milyarlarca dolar harcamaktadır. Bu donanımlarla bir deneye girişmek için onlarca, hatta bazen yüzlerce bilimciye, mühendise ve teknisyene gerek duyulmaktadır. Halihazırda hedef, yüz milyarlarca volt içinden geçirilerek hızlandırılmaya eşdeğer çarpışma enerjileri sağlayacak makineler kurmaktır.

Cockcroft ve Walton'a destek veren Rutherford, böylece büyük hızlandırıcılar çağıının başlamasına katkıda bulundu. Ama büyük makineler ve bunların finansmanı için gereken büyük paralar onun üslubuna uygun değildi. Tipik bir Rutherford deneyi için gerekli aygıt, bir bank üstünde çırpıştırılırdı, bir ya da iki araştırma öğrencisince çalıştırılırdı ve en fazla elli sterlin tutarında bir yıllık masraf gerektirirdi. Gelgelelim, Rutherford ancak büyük hızlandırıcıların sağlayabileceği yüksek enerjiler olmadan ağır atomlara dönük bombardımanın randımanlı olmayacağını gayet iyi biliyordu. İki milyon voltluk bir ticari doğrusal hızlandırıcının ve en az tuttuğu makine olan bir siklotronun kurulmasına ilişkin planlara onay verdi ama onun öldüğü 1937'ye kadar her ikisi de önemli katkılar sağlamadı.

Kaçamaklı Nötron

Rutherford 1920'de Kraliyet Bilim Derneği'ne sunulan saygın Baker Konferansı'nda ikinci kez konuşmacı oldu. 1904'teki ilk konferansında radyoaktiviteye eşlik eden kendiliğinden dönüşümleri anlatmıştı. İkinci konferansında ise hayranlık uyandırıcı α parçacıklarının yardımıyla bir süre önce meydana getirdiği yapay dönüşümlerden söz etti. Araya bazı kehanetler de kattı. Bunların en önemlisi elektriksel bakımdan nötr olan belirli bir parçacıkla ilgiliydi: "Bazı koşullarda bir elektronun [hidrojen atomundaki duruma göre] çok daha sıkı biçimde [bir protonla] bir araya gelerek bir tür nötr eşlik meydana getirmesi mümkün olabilir. Böyle bir atomun çok yeni özellikleri olacaktır. Çekirdeğe çok yakın bir kısım hariç tutulursa, dış alanı hemen hemen sıfır olacaktır. Buna bağlı olarak madde içinden serbestçe geçip hareket edebilecektir. ... Ağır elementlerin yapısını açıklamak açısından, böyle atomların varlığı neredeyse zorunlu görünmektedir."

Rutherford'a göre "nötr eşlikler", yani kısa bir süre sonra (başka bir bağlamda daha önce kullanmış olduğu bir terime dayanarak) verdiği adla "nötronlar", temel nükleer yapı taşları olarak protonlarla birleşmekteydi. Bir çekirdekdeki proton sayısı çekirdeğin pozitif yükünü, protonlar ile nötronların toplam sayısı ise çekirdeğin atom ağırlığını belirlemekteydi. Örneğin, nitrojen izotopu ${}^7\text{N}^{14}$, + 7 nükleer yükü ve 14 atom ağırlığıyla 7 proton ve 7 nötron barındırır. Rutherford'un bir elektron ile bir proton arasındaki yakın bağlantıyla oluşmuş nötron tasarımı, ileride 26. Bölüm'de göreceğimiz üzere, modern teoriye ve deneysel sonuçlara göre doğru kabul edilmemektedir.

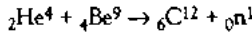
James Chadwick'in nötronu bulmasını sağlayan yol uzun ve zahmetli oldu. Hiçbir elektrik yükü taşımayan nötronlar, madde içinden geçerken gözlemlenebilir iyon izleri bırakmadıkları gibi, Wilson bulut odasında da hiçbir hat oluşturmuyorlardı. Deneyci için görünmez bir varlık gibiydiler. Chadwick nötrona doğru dolambaçlı yolda ilerlerken, birçok yanlış dönemece girdi ve birçok çıkmaz sapağa çakıldı. "Asla üzerinde konuşmadığım bir sürü deney yaptım" diye anlattı daha sonraları bir muhabire.

Bunlardan bazıları gayet ahmakçaydı. Sanırım, bu huyu ya da dürtüyü, işte adına ne dersiniz deyin, bu şeyi Rutherford'dan kaptım. Kimi zaman feci biçimde saçma birtakım deneyler yapardı, bunlardan bazıları da birlikte yapardık. Sahiden feci saçmalıklardı bunlar. Ama asla duraksamazdı. Bazen epeyce salakça görünen bir tarzda konuşurdu. Yazıya döküldüğünde salakça olan ve salakça görünecek olan şeyler söylerdi. Ama bunlara biraz kafa yorduğunuzda, kullandığı kelimelerin zihninden geçen şeyleri ifade etmek için yetersiz kaldığını, kelimelerin arkasında düşünölmeye değer bir şeylerin yattığını anlamaya başladınız. Saçma olduğunu söylediğini bu [nötron] deneylerinden bazıları için de bunun geçerli olduğu görüşüneyim. Her zaman bir şeylerin ortaya çıkması olasılığı vardı ve de tam emin olmak için sözgelimi birkaç saatlik, hatta birkaç günlük fazladan çalışma yapmayı ihmal etmemesi gerekir insanın. ... Ama ben sebatla didinip durdum işte. Çekirdekleri başka bir tarzda [yani nötronlar olmadan] kurma yolu görmüyordum ben.

Chadwick'in buluş için gerek duyduğu son ipucu Paris'ten geldi. 1931'de, Marie Curie'nin kızı Irène Joliot-Curie ile kocası Frederic Joliot bir polonyum kaynağından α parçacıklarıyla berilyum hedefine yöneltilen bombardımanın yarattığı radyasyonu tanımladılar. Parafin katmanlarıyla bu radyasyonu zayıflatmaya çalıştıklarında, radyasyon azalacağına daha da arttı ve de bunu oluşturan şey protonlardı. Protonların varlığına getirilen açıklama, Arthur Compton'ın 1920'lerde saptadığı bir etki sonucunda, bunların hidrojen içeren parafinden polonyum γ ışınlarıyla söküldüğüydü. Böylece γ ışınlarının bu işi başarması için sin derece yüksek enerjiyle yüklü olması gerektiği sonucuna varıldı Bunu duyan Rutherford "Olamaz, inanmıyorum" dedi.

Chadwick de inanmamıştı ve daha iyi bir açıklaması vardı. Berilyum çekirdekleriyle (${}^4\text{Be}^9$) tepkimeye giren α parçacıkları (${}^4\text{He}^4$), karbon çekirdekleri

(${}_6\text{C}^{12}$) ve nötronlar (yaklaşık bir atom ağırlığından ve sıfır elektrik yükünden dolayı ${}_0\text{n}^1$) oluşturmaktaydı:



Parafine çarpıp protonları söken mermiler için, neredeyse kütsüz γ ışınlarına oranla yoğun kütleli nötronlar çok daha uygun bir adaydı.

Rutherford ve Chadwick on iki yıl nötronun peşinde koştular. Chadwick kesin buluşa Joliot-Curie makalesinin tetiklediği bir aylık çılgınca deney çalışmaları sonunda vardı. 1930'larda bir Cavendish araştırma öğrencisi olan C. P. Snow, "Yaklaşık üç hafta boyunca gece gündüz çalıştı" diye yazar.

Şu diyalog Cavendish geleneğine girdi:

"Yoruldu mu, Chadwick?"

"Çalışacak kadar yorulmadım."

Chadwick, serüveninin hikâyesinin Cavendish araştırma grubuna anlattıktan sonra, "kloroformla uyutulmasını ve on beş gün boyunca yataktan çıkarılmamasını" rica etti.

Ev Hayatı

Rutherford'un Yeni Zelanda'daki kökleri öyle ahım şahım değildi. Elde ettiği şöhrete ve nüfuza rağmen, basit bir adam olarak kaldı. Hiçbir zaman servet sahibi olmadı. Karısı Mary'yle birlikte kaldıkları evler gösteriştan uzaktı. Cambridge'deyken kirada oturdukları Newnham Konutu için, Rutherford'un en son biyografisini yazmış David Wilson şunu belirtir: "Zarafetten ya da hayal gücünden yoksun olan rahat, zevksiz, akademik bir ev. Dönemin tarzına uygun olarak üç-dört hizmetçinin işleri çekip çevirdiği, hanımın asıl ilgi alanının bahçe, beyin asıl ilgi alanının ise laboratuvar olduğu bir ev."

Cavendish'te Rutherford'un asistan direktörü olarak Chadwick'in yerini alan Mark Oliphant ise Mary Rutherford'u (1913'ten sonra Leydi Rutherford) "toparлак yüzlü ve tıknaz bedenli ama hareketlerinde çevik olan dobra, dürüst bir kadın" diye anlatır bize. Ardından Rutherford çiftinin evdeki hayatına ilişkin şöyle bir eskiz çizer:

Rutherfordlar gerek Newnham Konutu'nda gerek gittikleri kır evlerinde ayrı yatak odalarında kalırlardı. Aralarında öyle uluorta sevgi gösterileri olmazdı. Yine de birbirlerine düşküydüler. Leydi Rutherford kocasının işlerinden pek ve hatta hiç anlamazdı ama ona verilen nişanlardan gurur duyardı ve her türlü eleştiriye şiddetli tepki gösterirdi. Ona birçok bakımdan sanki çocukmuş gibi davranırdı. Sözgelimi yemek yerken kusurlarını düzeltmeye kalkışırdı. Böyle bir davranışa maruz kalan çoğu erkeğin yapacağı biçimde, sabrı tükenerek karşılık verdiğini hiç işitmedim.

Leydi Rutherford'un kahvaltı masasındaki sohbete katkısı "Ern, ağzının kenarında yağ damlası var" ya da "Ern, ceketinin üstüne marmelat döktün" gibi sözleri de kapsardı.

Rutherford ailesinin tek çocuğu Eileen, Cavendish'in önde gelen teorisyeni Ralph Fowler'la evlendi. Fowler çiftinin dört çocuğu oldu. Eileen dördüncü çocuğunun doğumundan kısa bir süre sonra trajik biçimde öldü. Rutherford torunlarını severdi ve onların dünyasına rahatça girerdi. Biyografisini yazanlar kitaplarında dedenin deniz sahilinde kumdaki inşaat projeleri için küçük kız torununa yardım ederken çekilmiş bir fotoğrafına hep yer verirler. Buna karşılık anneanne daha çok çocuklara görgü dersleri vermeye eğilimliydi. Torunları ona "Lady Rutherford" ya da "Lady R" diye hitap ederdi.

Başarının Unsurları

Rutherford, hayatının her alanında olduğu gibi, fizikçi olarak da dürüst, yapmacıksız ve hiç kuşku yok ki başarısının sırlarından biri buydu. "Kendim de basit bir insan olduğum için, her zaman basitliğe inanırım" derdi. Eğer bir kadın barmene bir fizik ilkesi açıklanamıyorsa, sorunun onda değil, ilkede olduğunu ısrarla belirtirdi.

Rutherford için basitlik asgari matematiğe ve temel donanımına dayalı somut, gözde canlandırılabilir kavramlar demektir. "Başkalarını gördükten sonra bir [Rutherford] deneyi öylesine dolaysız anlaşılır, öylesine berrak ve öylesine inandırıcı gelir ki insanda neredeyse huşu uyandırır ve deneyleri öylesine çoktur ki insan tek kişinin bu kadar çok iş yapmasına hayret eder" diye yazmıştı Chadwick 1937'de, Rutherford'un ölümünden kısa bir süre sonra. "Fiziksel süreçler konusunda son derece şaşırtıcı bir kavrayışı vardı ve birkaç sözle bütün bir konuyu aydınlatırdı. ... Onunla birlikte çalışmak sürekli bir keyif ve meraktı. Daha deney yapılmadan cevabı bilirdi sanki ve karşı konmaz bir itkiyle sonrakine geçmeye hazırdı." Başkaları "sembollerle oynayabilir" derdi Rutherford. "Ama bizler Cavendish'te doğanın gerçek, somut olgularını ortaya koyarız."

Rutherford'un gür bir sesi vardı. Bir arkadaşı Rutherford'un bir konuşmasının radyo yayınıyla Atlas Okyanusu ötesine iletileceğini işitince, "Radyoya ne gerek var?" diye sormuştu. Rutherford'a özgü hırçınlıklar ve öfke patlamaları kimi zaman öğrencileri ve asistanları dehşete düşürürdü ama fırtına çok geçmeden diner ve genellikle ardından bir özür gelirdi. Kaldı ki, bu sinirliliğin ve sabırsızlığın altında ince bir ölçülülüğün yattığını belirtmek gerekir. Çok eski bir arkadaşı bir keresinde, "Rutherford asla düşman kazanmadı ve asla dost kaybetmedi" demişti. Abartılı bir görüştür bu. Rutherford gibi şöhretli ve nüfuzlu birinin bazı düşmanlar edinmesi kaçınılmazdı. Ama sayısız dostları arasında ona sırt çevirmiş birini bulmak zordur. Bilimsel anlaşmazlıklardan uzak durur, siyasal ve dinsel tartışmalardan kaçınırdı. Ara sıra ihtilafli konular ortaya çıktığında, bütün ilgili tarafları sakinleştirici bir çözüm yolu bulurdu. Ölçülülük ve sevecenlik hünerinin karşılığını ise onlarca yetenekli, çalışkan öğrenci ve yardımcının paha biçilmez hizmetleriyle gördü. Hepsini sevdi.

Panteonumuzdaki akranları -Newton, Faraday, Maxwell, Gibbs, Einstein ve Bohr- gibi, Rutherford da zor, sinir bozucu bir probleme uzun süre zihin keskinliğini ya da hevesini yitirmeksizin yoğunlaşabiliyordu. Manchester mezunlarından Harold Robinson'ın aktardığı bir hikâye, Rutherford'un en kötü koşullar altında bile laboratuvar işlerinden aldığı katışıksız keyfi gösterir. Güzel bir Cumartesi öğleden sonrasını hiç istemeden laboratuvarında Rutherford'la birlikte heba etmek durumunda kalan Robinson şunu anlatır:

Üzerinde çalışmayı umduğumuz çok küçük bir radon [yayılımı] numunesini birkaç sıvı hava tortusuyla arındırmak gibi gayet beyhude olduğu belli bir çaba içindeydik. Girişim daha önce elde etmeyi başardığımızdan çok daha yüksek hacimde havanın içeriye girmesine yol açan Rutherford'un bir anlık sürçmesiyle son buldu. Kendine özgü "Boş verin, bu güzel hالتı işleyen siz değilsiniz, benim" ifadesini getiren bir aksamaydı bu. İster istemez o öğleden sonrayı daha iyi geçirebileceğim düşüncesi uyandı bende ama bizleri ortalığı toparlarken, piposundan hoşnut biçimde bir nefes çeken Rutherford'un son yorumu şöyle oldu: "Robinson, içinde çalışacak laboratuvarı olmayan zavallılara ne kadar üzüldüğümü bilemezsin!"

Rutherford'un başarısındaki sırların listesini bir unsur daha ekleyerek kapatacağım: Şans. Tam mesleğe atıldığı sıralarda radyoaktivitenin bulunması, tam onun tarzına uyan araştırmalara davetiye çıkardı. Diyelim ki otuz yıl sonra doğmuş olsaydı, aynı başarıyı yakalayabilir miydi acaba? Belki yakalayamazdı ama Rutherford'un kendi şansını yaratmadaki şaşırtıcı becerisini hafife almamalıyız. Ne de olsa, radyoaktivite çalışmalarına başladığında, annesine söylediği gibi, "bu araştırma yolunda başka koşucular" vardı ama hepsinin *birleşik çabası* onunkinden azdı. Arthur Eve bir sohbette "Şanslı adamsın, Rutherford, hep bir dalganın sırtındasın!" deyince, "Eh! O dalgayı ben yarattım, değil mi?" karşılığını vermişti. Daha sonra "En azından bir ölçüde" diye de eklemişti.

Fizik ve Dostluklar

Lise Meitner



Viyana

Şimdiye kadar yirmi iki büyük fizikçiyle tanıştık. Bunlardan biriyle gelişigüzel sohbet ederek birkaç saat geçirmenin ne ölçüde eğlenceli olabileceğini merak ettiniz mi hiç? Newton doyurucu bir sohbele girilemeyecek kadar nevrozlu olabilir mi? Einstein fazla savruk gelebilir mi? Heisenberg fazla kuralcı? Rutherford fazla gürültücü? Faraday fazla meşgul? Maxwell fazla ironik? Boltzmann fazla dalgın? Schrödinger fazla benmerkezci? Şimdi ele alacağımız Lise Meitner'e gelince, bu tür çekinceleriniz olmazdı herhalde. Onunla birlikte geçirilen bir akşam zevkli, uyarıcı ve dopdolu olurdu. Muhabbeti güzeldi onun.

Lise Meitner 1878'de Viyana'da orta sınıfa mensup, liberal bir Yahudi ailesinin sekiz çocuğundan üçüncüsü olarak dünyaya geldi. Babası değişik ilgi alanları olan bir avukattı. Onun, karısı Hedwig'le birlikte "evlerini milletvekilleri, yazarlar, satranç ustaları, avukatlar gibi ilginç insanların bulunduğu bir dönüştürdüğü" belirtir, Meitner'in başta gelen biyografi yazarı Ruth Sime. "Çocuklar uyanık kalıp onları dinlerdi. Yıllar sonra Meitner'e çocukluk dönemi sorulduğunda, en çok hatırladığı şeyleri 'annem ile babamın olağandışı iyiliği ve kardeşlerimle birlikte yetiştiğim olağanüstü uyarıcı entelektüel ortam' diye sıralamıştı."

Meitner ailesinin çocuklarında yetenek vardı ve bunu karşılığını da gördüler. Lise'nin ablası Auguste (Gusti) müziğin bir harika çocuğuydu. Daha sonra besteci ve konser piyanisti oldu. Lise de müziği severdi ama bir icracı mizacından yoksunda. Daha sekiz yaşındayken matematiğe ve fiziğe karşı sağlam bir ilgi duymaya başladı ve önüne üniversite eğitimi hedefini koydu. Ancak 19. yüzyıl

Avusturya'sında bir kızın devlet okullarındaki eğitimi on dört yaşında son buldu. Bu da üniversiteye girmek için gerekli hazırlığa yetmezdi. Tıpkı Marie Curie gibi, eksik ortaöğrenim Lise Meitner'in önünü kesemedi. Bir özel öğretmenin yardımı ve aralıksız sıkı çalışma sonunda, *Matura* denen üniversite giriş sınavını kazandı. Aile arasında yapılan bir şakaya göre, Lise günün her dakikasında elinde bir kitap bulundurmasa bu sınavdan asla geçemezdi.

Viyana Üniversitesi'ne giren Meitner, teorik fizik üzerine Ludwig Boltzmann'ın verdiği son eksiksiz ders programına katılma gibi olağanüstü bir şansı yakaladı. Üstelik Boltzmann kadınların kendi derslerine girmesinden keyif alan biriydi. Daha sonraları en önemli araştırmasında Meitner'e yardımcı olan yeğeni Otto Frisch, "Boltzmann ona fiziğin kesin hakikat uğruna bir kavga olduğu vizyonunu, ömrü boyunca asla gözden kaçırmadığı vizyonu kazandırdı" diye yazar. Boltzmann o sırada dünyadaki en iyi fizik hocasıydı. Programının ilk dersinde öğrencilerine şunu anlatırdı:

Eğer bütün bu şeyler, ilgili teoremler, son derece incelikli kavramlar ve çapraşık kanıtlar konusunda bugün pek fazla şey anlatmayı başaramadıysam beni başışlayın. ... Sanırım, bu kadarı çalışmamızın gidişatında daha berrak hale gelecektir. Bugün size oldukça mütevazı bir şeyi, benim açımdan sahip olduğum tek şeyi, yani kendimi, her bakımdan düşünme ve hissetme tarzımı sunmak istedim yalnızca. Benzer biçimde, derslerin seyri sırasında sizlerden bir dizi şey rica etmek zorundayım: Sıkı dikkat, sağlam gayret, yılmaz irade. Ama beni başışlayın, yolumuza devam etmeden önce sizlerden benim açımdan en büyük önemi taşıyan şeyi isteyeceğim: Güveniniz, sempatiniz, sevginiz, tek kelimeyle bana verebileceğiniz en büyük şey, yani kendiniz.

Meitner büyülenmişti. Boltzmann'ın talep ettiği her şeyi verdi ve bunun karşılığında dönemin teorik fiziğinde üstün bir birikim elde etti. Boltzmann'ın derslerine ilişkin özenli notları bir başka Boltzmann öğrencisinin, daha sonraları seçkin bir teorisyen olarak adını duyuracak olan Paul Ehrenfest'in ilgisini çekti. İkisi derslere birlikte çalıştı ve Meitner en az Boltzmann'ın hocalığı kadar Ehrenfest'in zengin hayal gücüne dayalı öğreticiliğinden de yararlandı. "[O] kusursuz ve uyarıcı bir öğretmendi" diye yazacaktı daha sonraları Meitner. "Onunla birlikte çalışmanın bilimsel gelişimime büyük bir katkı sağladığına eminim." Ne var ki, Meitner hâlâ utangaç ve toymdu. Cazibeli, daha dünyevi Ehrenfest kimi zaman ona asılırdı. "Şunu itiraf etmeliyim ki" diye yazar Meitner, "onun tamamen kişisel şeylerle ilgili sorular yöneltme eğiliminden bazen rahatsızlık duyardım."

Boltzmann ve Ehrenfest'in yanında Meitner teorisyenlik rolünü çalıştı. Öğrendiği teoremin bir kısmını laboratuara taşımak amacıyla, Maxwell denklemlerinden birinin deneysel testine dayanan bir doktora tezi seçti. 1905'te girdiği sözlü sınavlardan iftihar derecesiyle geçti. Böylece Viyana Üniversitesi'nde doktora diploması alan ikinci kadın oldu.

Bütün fizikçiler 1906 sonbaharında Boltzmann'ın derin bir depresyon sıra-

sında intihar ettiği haberiyle yıkıldı. Boltzmann'ın davranışını anlamak Meitner için zordu. Bunu ancak bir “zihinsel dengesizlik” olarak görebilirdi. Ama bu olay onu kariyer açısından fiziğe daha çok yaklaştırdı. Ruth Sime'in belirttiği gibi, “Boltzmann'ın ölümü fizik alanında kalma kararlılığını pekiştirdi, çünkü onun gönlünde yaktığı kıvılcımın bu yolla canlı kalmasını istedi.”

Meitner geri kalan kariyerinde izleyeceği araştırma yolunu birdenbire ve beklenmedik bir biçimde buldu. Boltzmann'ın enstitüsünün başına geçen radyoaktivite araştırmaları öncülerinden Stefan Meyer, onu metallerden geçen α ve β radyasyonunun davranışını incelemeye çağırdı. Meitner saçılma fenomenine odaklandı. Rutherford'un daha sonraları “şeytanca” bulacağı ve ardından atom çekirdeği arayışında büyük yarar göreceği fenomendi bu.

Meitner için fizik her zaman bir teknik uğraş olduğu bir insan uğraşıydı. Hocalarını ve meslektaşlarını insani vasıflarına göre seçti ve onlarla birer yakın dost gibi çalıştı. Stefan Meyer'in yanında bir yıl süren araştırmanın ardından, 1907'de fizik camiasında en çok hayranlık duyduğu adamlar, yani Max Planck'la birlikte çalışmak üzere Berlin'e gitmeye karar verdi.

Berlin Kazanımları

Meitner, Berlin'de Planck'ın dostça sıcaklığını ve Almanlar'ın üniversitelerdeki kadınlara dönük düşmanca tutumlarını yakından tanıdı. On dokuzuncu yüzyıl boyunca Alman üniversitelerinde kadınların ancak giriş sınavından geçmemiş dinleyici olarak derslere katılmalarına hoşgörüyle bakılmıştı. Meitner de derslerine girmek istediği Planck'tan izin istemek zorunda kaldı. Planck sevecen ve sempatik ama kuşkucuydu. Meitner *Geriye Bakış* adlı anı kitabında ilk görüşmelerini şöyle anlatır: “Beni çok iyi karşıladı ve kısa bir süre sonra evine davet etti. İlk ziyaretimde, ‘Ama sen zaten bir doktorsun! Daha ne istiyorsun?’ dedi. Fizik konusunda somut bir kavrayış edinmek istediğimi belirtince, birkaç dostça söz söylemekle yetindi ve meseleyi daha fazla kurcalamadık. Haliyle, kadın öğrenciler hakkında çok olumlu bir kanaatinin olmadığı sonucuna vardım ve o sıralarda büyük ihtimalle bunun epeyce doğru olduğu söylenebilirdi.”

Planck'ın belki profesyonellik açısından kadınlara ilişkin çekinceleri vardı ama Meitner'i evinde ağırlamaktan memnundu. Müzikli akşamlar gözde bir eğlence biçimiydi. Çoğu kez icracı olarak Planck piyanoya geçer, ünlü konser kemancı-sı Josef Joachim ve (daha sonraları) Einstein keman çalardı. Meitner bir çalgı çalmamakla birlikte, müziği derinlemesine anlayan biriydi. Kendisiyle yaşıt yakın arkadaşları arasında Planck'ın tek yumurta ikiz kızları Emma ve Grete vardı.

Planck'ın müzikli akşamlarına katılanlardan biri de güzel tenor sesiyle şarkılar söyleyen ve Montreal'de Rutherford'un yanında eğitim görmüş olan Otto Hahn adlı genç bir radyokimyacıydı. Hahn sokulgan ve teklifsiz bir insandı, pek fazla patırtı koparmadan Meitner'e radyoaktivite araştırmalarına katılmasını önerdi. Capcanlı Berlin atmosferinde utangaçlığını ve güvensizliğini hâlâ üzerinden atamamış olan Meitner, Hahn'a bir dost ve değerli meslektaş olarak çabucak ısındı. “Hahn benimle aynı yaşıydı ve tavırlarında çok samimiydi” diye aktarır

Meitner *Geriye Dönüş* kitabında. “Bende öğrenmek istediğim şeyleri hiç duraksamadan ona sorabileceğim izlenimini uyandırmıştı. Dahası, radyoaktivite alanında çok iyi bir şöhreti vardı, bu nedenle bana epeyce şey öğreteceğine ikna oldum.”

Böylesine gelişigüzel bir yaklaşımla benzersiz bir bilimsel işbirliği başladı. Hahn radyokimyada uygulanan kimyasal ayırma tekniklerinde uzman bir kimyacıydı. Meitner hem teorisyen hem de deneyci olarak kendisini hızla geliştiren bir fizikçiydi. Radyoaktivite araştırmalarının disiplinler arası gereklerini birlikte yerine getirmeleri mümkündü. 1907’de başlayan çalışmaları Meitner’in Nazi ırkçı yasaları uyarınca Almanya’dan sürüldüğü 1938’e kadar aynı enstitüde sürdü. Bu dönem boyunca yalnız birer meslektaş değil, iki yakın dost olarak birlikte çalıştılar. Hahn atılgan ve yakışıklı, Meitner de çıtı pıtı ve cana yakındı ama aralarında hiçbir zaman romantik bir ilişki olmadı. Victoria Dönemi edep erkânına uymak zorunluydu: Birlikte yemeğe ya da dışarıda gezmeye çıkmazlardı, on altı yıl boyunca birbirlerine “*Herr Hahn*” ve “*Fräulein Meitner*” diye hitap ettiler. Curie çiftininkine benzemeyen bir partnerlikti bu.

Hahn ünlü organik kimyacı Emil Fischer yönetimindeki Berlin Üniversitesi Kimya Enstitüsü’nde asistan olarak görevliydi. Buna karşılık Meitner’in profesyonel bir mevkisi yoktu. Daha da kötüsü kadınların bu enstitüye girmesi yasaktı. (Fischer’in korkularından biri kadınların saç stillerinin bir yangın tehlikesi oluşturmasıydı.) Ama Hahn’ın ikna gücü yüksekti ve Fischer sonunda Meitner’in daha önce bir marangoz dükkânı olarak kullanılan ve dışarıdan ayrı bir girişi olan bir bodrum odasında çalışmasına razı oldu. Meitner enstitüde başka bir yere adım atmaksızın bu odayı kullandı. Buna ve başka aşağılamalara çilekeş bir tavırla katlandı. Gidebileceği tek tuvalet aynı caddenin ilerisindeki bir lokantadaydı. Bazı enstitü asistanları için neredeyse görünmez bir kadındı. Bunlar Meitner ve Hahn’ı birlikte “*İyi günler, Herr Hahn!*” diye selamlardı.

Enstitü dışında Meitner’in fizik camiasında kurduğu birçok kalıcı dostluk vardı. Heinrich Rubens’in düzenlediği fizik kolokyumlarında James Franck ve Max von Laue’yle bir araya gelirdi. Bir deneyci olan Franck, daha önce Gustav Hertz’le birlikte atomların kuantumlara ayrıldığı gerçeğini ortaya koyan ve Nobel Ödülü kazanan bir deneyi gerçekleştirmişti. Meitner ve Franck daha ilk görüşmelerinde aynı dili konuştuklarını anladılar. Laue daha çok x ışını kırılması alanındaki öncü çalışmalarıyla tanınan biriydi. Nazi rejiminin karanlık günlerinde Laue ve Meitner birbirlerine destek oldular. Laue yıllar sonra Meitner’e şükran borcunu şöyle ifade edecekti: “Sözlerinin bizleri ne kadar derinden etkilediğinin farkında mıydın? ... Senin iyiliğin, senin ferasetin amacına ulaştı. İnsanlık anlayışı ete kemiğe büründü. Bunun için sana minnettarım. ... Kendimi asla bağışlayamayacağım şeylerden uzak kaldım.”

Prusya üniversitelerinde kadınların önündeki engeller tedrici ve kademeli adımlarla alçaltıldı. 1909’da kadınlar için üniversitesi eğitimi resmen onaylandı, Meitner’e kimya enstitüsü laboratuvarlarına girme izni verildi (ve de bir hanımlar odası açıldı). Ancak Meitner hâlâ ücret almıyordu ve anne babasından aldı-

ğı harçlıkla kıt kanaat geçimini sağlıyordu. İlk çalışma koşullarına rağmen, Meitner ve Hahn 1908'de üç ve 1909'da altı önemli makale yayımladılar. Asıl odak noktaları "β salıcıları", yani bozunuma uğradıklarında β parçacıkları salan radyo-elementlerdi. Kafa karıştırıcı "β bozunumu" teorisi Meitner için on yılı aşkın bir süre boyunca ilgisini çeken bir tema olacaktı.

Radyokimyanın temel uğraşı bir elementin diğerinden ayrılmasıdır. Bu da kimyasal yollarla sağlanabilir. Örneğin, bir karışımın kimyasal işlemle geçirilmesiyle belirli element bileşikler çökelir ve diğerleri çözeltide kalır. Kimyasal yöntemler kullanışlı olmakla birlikte nadiren "temiz" olur, yani tamamen saf bir ürün elde etmeye pek elverişli değildir. Hahn ve Meitner daha verimli bir metod geliştirdiler. Radyoaktif bozunum sırasında oluşan bir "yavru" atomun içerdiği büyük enerjiden dolayı ilk ortaya çıktığı katı yüzeyden kopup uzaklaştığını ve böylece başka bir yüzeyde saf halde toplanabileceğini belirlediler. Bir mısır tanesinin kızgın tavadan sıçrayıp başka bir yere konması gibi bir şeydi bu.

Nihayet 1912'de Meitner marangoz dükkânından taşınma ve akademik merdivenin ilk basamaklarını tırmanma fırsatını yakaladı. Kayser Wilhelm'in desteğiyle bir Berlin varoşu olan Dahlem'de kimya ve fiziksel kimya enstitüleri açıldı. Hahn "bilimsel yardımcı uzman" olarak atandığı Kayser Wilhelm Kimya Enstitüsü'nün bünyesindeki radyoaktivite kısmının başına getirildi. Meitner de ücretsiz "konuk fizikçi" olarak ona katıldı.

Aynı sıralarda Planck da, Meitner'e asistanlık görevi önerdi. Yapacağı iş sıradandı. Öğrencilerin sınav kâğıtlarını okuyup not verecekti. Ama Planck'ı sevdiği için, bu ilk ücretli akademik görevi kabul etti. Birkaç yıl sonra, kadınları laboratuarlara sokmama paranoyasından kurtulmuş olan Fischer, bir yolunu bulup Meitner'e aynen Hahn gibi bilimsel yardımcı uzman unvanı verilmesini sağladı ama Hahn'a göre oldukça düşük bir maaş alacaktı. Radyoaktivite kısmı artık Hahn-Meitner Laboratoriyumu olarak anılıyordu. Maaş uçurumu bir yana bırakılırsa, Meitner muradına erdiğini bilmenin keyfi içindeydi. "Fiziğin hayatımdaki bir parçası olmasını hayal etmek benim için çok zor. Bir tür kişisel aşk bu, insanın birçok şeyi borçlu olduğu bir kişiye duyacağı türden bir aşk. Üstelik vicdan azabı çekmeye yatkın bir kişiliğim olsa bile, en ufak vicdan azabı içinde olmayan bir fizikçiyim ben."

Yeni yerlerinde Meitner ve Hahn aktinyumun habercisi, "ana maddesi" olduğuna inandıkları uzun ömürlü radyo-elementi bulmaya dönük zahmetli uğraşa giriştiler. Hahn'ın orduda aktif görev aldığı savaş yıllarında büyük ölçüde Meitner'in yürüttüğü bu çalışma dört yıl sürdü. Görüş alışverişleri temelde posta yoluyla oldu. Nihai makale 1918'de yayımlandı. Her zaman Meitner'in bir hayranı olarak kalan Stefan Meyer, yeni element için "lisonyum" ya da "lisotonyum" adlarını önerdi. Resmi ad olarak aynı sevimliliği taşımayan protaktinyum benimsendi.

Daha protaktinyum başarısından önce, Meitner kariyerinin serpilme yoluna girdiğini gördü. Prag'dan cazip bir teklif aldı, ilerleme açısından önü açık bir

akademik görevdi bu. Planck bu gelişmeyi önemsemedi ve bir biçimde Fischer'e haber uçurdu. Fischer derhal Meitner'in maaşını bir misli artışla üç bin marka çıkardı ve Meitner minnettar bir tavırla Berlin'de kaldı.

Meitner'in akademik dünyadaki ilerleyişi sürdü. 1917'de onun için bir fizik kısmı oluşturuldu ve maaşı dört bin marka yükseltildi. Evlilik yardımıyla birlikte beş bin mark alan Hahn'ın maaşıyla esasen denkti bu. Hahn-Meitner Laboratoryumu ikiye ayrılarak Hahn Laboratoryumu ve Meitner Laboratoryumu haline getirildi. İki yıl sonra Meitner enstitüde profesörlük makamını elde etti ve büyük olasılıkla Almanya'da profesör unvanını alan ilk kadın oldu. Bu unvana pek fazla değer vermemekle birlikte, "dostlarının bundan duyduğu samimi keyif hoşuna gitti."

β Bozunumu Problemi

Partnerliklerinin başından itibaren, Meitner ve Hahn, β parçacıklarının ortaya çıkmasıyla bozunuma uğrayan radyo-elementlere ilgi duymuşlardı. Ancak β bozunumunda Meitner'in açığa çıkarmakta kararlı olduğu bozunuma ters düşen derin bir esrar vardı. Verili bir radyo-elementin ürettiği α parçacıkları her zaman yaklaşık aynı enerjiyle ortaya çıkmaktaydı. Buna karşılık β parçacıkları salındığında açığa çıkan enerjiler neredeyse sıfırdan belirli bir maksimum değere kadar uzanan geniş bir kesintisiz yelpazeyi kapsamaktaydı. Acaba bu elektronlar nereden gelmekteydi? Meitner bunların kısmen "ikincil" kökenli oldukları, yani çekirdekten "birincil" elektronlar halinde salındıktan sonra ikincil süreçlerde çekirdeğin güçlü elektrik alanının içinde x ışınları olarak enerji kaybettikleri kanı-sındaydı.

Cavendish Laboratuvarı'nda Rutherford'un yardımcılarının biri olan Charles Ellis bu görüşe karşıydı. Ona göre, Meitner'in önerdiği ikincil etkiler β parçacıklarında gözlemlenen kesintisiz tayfı açıklamaya yetmeyecek kadar küçüktü. Ellis 1925'te yazdığı bir mektupta, uyuştukları ve uyuşmadıkları noktaları şöyle özetlemekteydi: "Ana atomun dışına çıktıklarında [β parçacıklarının] hız açısından artık homojen olmadıkları [kesintisiz bir enerji yelpazesini kapsadıkları] konusunda görüş birliği içindeyiz. Kuantumlara ayrılmış bir çekirdeğin kesin [enerjiye] sahip [β parçacıkları] salması gerektiği konusunda görüş birliği içindeyiz. Siz çeşitli yan etkilerin böylesi bir homojenlikten uzaklığı yaratmak için yeterli olduğunu düşünürken, ben bunların haddinden fazla küçük olduğunu düşünüyorum."

Ellis ve öğrencisi William Wooster kendi bakış açılarını sağlam biçimde destekleyen bir deney gerçekleştirerek konuyu kendilerince sonuca bağlamışlardı. Meitner aynı deneyi tekrarladı ve Ellis'e şunu yazdı: "Vardığınız sonuçları tamamen doğruladık. Artık şunu söyleyebilirim ki, β radyasyonlarının esas olarak homojenlikten uzak olduğunu [geni bir tayfını kapsadığını] varsaymanın tamamen doğru olduğuna kesinlikle kuşku olamaz. Ama bu sonucu bir türlü anlamıyorum."

Uzayıp giden Meitner-Ellis tartışmasına son nokta konmuştu ama β bozu-

numunun temel yapısı eskiden olduğu gibi esrarla örtülüydü. Problem suydı. Tartışmanın her iki tarafı da β bozunum sürecindeki toplam enerjinin sabit olduğu kanısındaydı. Enerjinin bir kısmı β parçacığına, bir kısmı yeni bir çekirdeğe gidiyordu. Ancak Ellis'in savunduğu ve artık Meitner'in de kabul ettiği tayfa olabileceği üzere β enerjisinin küçük olması durumunda, iki enerji gerekli toplamı vermiyordu. Peki, geri kalan enerjiye ne oluyordu? Teorisyenler sıkıntıdaydı. Hatta bir ara atom ölçeğinde enerjinin korunumu ilkesinden vazgeçmeye bile razı oldu.

Böylesine köklü bir çözüme başvurmanın gereksiz olduğu anlaşıldı: Wolfgang Pauli farklı bir fikirle ortaya çıktı. Her zamanki aykırı tavrıyla, teorisini 1930'da yazdığı bir açık mektupta ana hatlarıyla açıkladı ve bunu Tübingen'de Lise Meitner, Hans Geiger ve başkalarının hazır bulunduğu bir konferansa sundu. Pauli "nötron" adını verdiği yeni bir parçacık önerdi ama Chadwick'in iki yıl sonra gözlemleyeceği ve çekirdekteki protona eşlik eden nötron değildi bu.

Sevgili Radyoaktif Hanımlar ve Beyler. Bu satırların hâmininin, ki ondan nazik ilginizi esirgememenizi rica ederim, sizlere daha ayrıntılı açıklayacağı üzere, ... karışımıza dikilmiş kesintisiz β tayfı için çılgınca bir çareye tesadüfen denk gelmiş bulunuyorum. Demem şu ki çekirdekte elektriksel olarak nötr parçacıklar olabilir. Nötron olarak anacağım bu parçacıklar yarım spinlidir, dışlama ilkesine uymaktadır ve ayrıca ışık hızıyla hareket etmeme açısından ışık kuantumlarından farklıdır. Nötronun kütlesi elektronun kütlesiyle aynı büyüklük düzeyinde olmalı ve hiçbir durumda 0,01 proton kütlesinden daha büyük olmamalıdır. Böylece β bozunumu sırasında elektronla birlikte bir nötronun salındığını, öyle ki nötron ve elektron enerjilerinin toplam olarak sabit kaldığını varsayarsak, kesintisiz beta tayfı anlaşılır hale gelir...

Şu an itibarıyla, sevgili radyoaktifler, bu fikir üzerine bir şey yayımlayacak ve bunu sizlere emin biçimde sunacak kadar güvenmiyorum kendime. Girim gücünün γ radyasyonuna yakın ya da yaklaşık 10 kat daha yüksek olması halinde, böyle bir nötronun deneysel olarak nasıl kanıtlanacağı sorunu var ortada. Bulduğum çarenin ilk bakışta ancak birazcık muhtemel olabileceğini itiraf ediyorum, çünkü nötronlar gerçekten varsa, çoktan gözlemlenmiş olmaları gerekirdi! Ama hiçbir atılım yok, hiçbir kazanım yok ve de kesintisiz tayfa ilgili durumun vahametini, benden önce bu makamda bulunan muhterem Herr Debye'nin geçenlerde Brüksel'de bana aktardığı şu saptama gözler önüne seriyor: "Oh, bu konuya hiç kafa yormamak en iyisi, tıpkı yeni vergiler gibi!" O halde her türlü kurtuluş yolu tartışılabilir. Dolayısıyla, sevgili radyoaktifler, test edin ve karar verin! Zürih'te 6-7 Aralık gecesi yapılacak bir baloda mutlaka hazır olmam gerektiği için, maalesef Tübingen'de şahsen bulunamıyorum. Hepinize kucak dolu selamlar. Naçiz ve ita'atkâr hizmetkârınız W. Pauli.

Pauli'nin önerisi gerçekten de "çılgınca bir çare"ydi, Bohr'un temel parçacıklar için enerjinin korunumu ilkesinden vazgeçmeye razı olmasından yalnızca biraz

daha az çığlncaydı. Pauli'nin "nötron"u çok az kütleyle sahipti (tahmininin büyüklük düzeyine göre bol keseden olduğu sonradan anlaşıldı) ve elektrik yükünden yoksundu. Pauli meslektaşlarından "test etmelerini ve karar vermeleri"ni istiyordu. Peki ama nasıl yapacaklardı bunu? Dönemin hiçbir deney donanımı böyle bir parçacığı dolaylı ya da dolaysız belirleyemezdi. Doğrudan gözlemlenmeyen bir şeye hiç tahammül edemeyen 19. yüzyıl pozitivistlerini mezarlarından kaldırmaya yetecek bir konuydu bu. Ancak çaresizlik tuhaf teorilere güveni besler. 1934'te Enrico Fermi β bozunumuna ilişkin daha eksiksiz bir teori sundu. Bu teoride Chadwick'in (1932'de gözlemlenmiş) nötronları çekirdeğin asli sakinleriydi. Bunlar β bozunumunda bir elektrona (bir β parçacığına), bir protona ve Pauli'nin "nötron"larından, Fermi'nin yeni terimiyle "nötrino"lardan birine dönüşmekteydi. Fermi'nin teorisi β bozunumunun gevşek uçlarını, ayrıca bazı nükleer istatistik meselelerini sonuca bağladı ve çarçabuk benimsendi. Böylece elektronlar, protonlar, nötronlar ve yeni bulunan ama deneysel olarak ancak yirmi iki yıl sonra belirlenebilen temel parçacık türü "pozitron"lar (pozitif yüklü elektronlar) arasına nötrinolar da katıldı. Fermi'nin nötrinosunun kütlesi, hâlâ ucu açık bir sorudur.

Berlin Kâbusları

30 Ocak 1930'da Adolf Hitler yeni Alman şansölyesi olarak yemin etti. Göreve gelişinden önce niyetleri konusunda var olan kuşkular, izleyen dönemde büyük ölçüde dağıldı. Mart ayına varmadan Reichstag dağıtıldı, yeni seçimlerin takvimi belirlendi ve Hitler muhalefeti sindirmek üzere özel milis birliklerini ortalağa saldı. Çoğu bilimci gibi, Meitner de olup bitenlere pek inanamıyor ve akılselimin üstün geleceğini umuyordu. O sırada ABD'yi ziyaret etmekte olan Hahn'a yazdığı bir mektupta şunu belirtiyordu: "Siyasal durum oldukça garip ama daha sakin, daha makul bir gidişat alacağını büyük içtenlikle umuyorum." İki hafta sonraki mektubunda ise şu saptama vardı: "Siyasal çalkantılar her şeyi ve herkesi etkiliyor."

Kısa bir süre sonra Hitler'e bağlı Nazi Partisi'nin ırkçı politikaları uygulamaya kondu. Nisan ayında Yahudi işyerlerine karşı ülke çapında boykot çağrısı yapıldı ve bütün meslek dallarında, idarede, tıpta, hukukta, eğitimde ve güzel sanatlarda Yahudiler'i temizlemeye yönelik bir genel kampanya başlatıldı. Prusya Eğitim Bakanı Bernhard Rust, Almanya'daki ve hiç kuşkusuz dünyadaki en ünlü Yahudi Albert Einstein'ı Prusya Bilimler Akademisi'nden kovarak Yahudi boykotunu dramatik boyuta ulaştırmayı umuyordu. Ama Nazi yetkililerinin harekete geçmesinden önce, yurtdışında bulunan Einstein "medeni özgürlükten, hoşgöründen ve bütün yurttaşların yasalar önündeki eşitliğinden" yoksun olan, "vahşi ve kudurmuş Nazi milisleri güruhu" tarafından yönetilen bir Almanya'ya dönmeceğini duyurdu.

Böylece Almanya'nın en süzme bilimcilerinden ve aydınlarından bazıları'nın ülkeden kaçışı başladı. Göttingen'deki İkinci Fizik Enstitüsü'nün direktörü James Franck ilk istifa edenlerden biri oldu. Onu Göttingen'deki Teorik Fizik

Enstitüsü'nün direktörü Max Born ile tanınmış matematikçi Richard Courant izledi. Bunun üzerine yeni eğitim bakanı, Göttingenli matematikçilerin en büyüğü David Hilbert'e "Yahudiler'in ve dostlarının ayrılışı"ndan enstitülerin zarar görüp görmediğini sordu. "Zarar görmek mi? Hayır, zarar görmediler, Sayın Bakan" diye karşılık verdi Hilbert. "Artık hiç yoklar, efendim!"

Ahlak standartlarının darmadağın olduğu bu ortamda, Lise Meitner tehlikeli denecek ölçüde kaçamak bir tepki gösterdi. Born'a göre "şiddet ve baskının zamanla yatışacağına, her şeyin normale döneceğine inanan, tersine dönmeyecek bir sürecin yaşanmakta olduğunu görmeyen" Planck'a kulak verdi. Meitner'in en güvendiği akıl hocası olan Planck, ona kalmasını tavsiye etti. Hahn da aynı görüşteydi. Daha sonraları bir arkadaşına mektubunda belirttiği gibi, Meitner artan tehlikeyi sezmış ama "Planck ve Hahn tarafından ikna edilmeye fazlasıyla teşne" bir tutum göstermişti. İçinde bulunduğu durum ıstırap vericiydi. Ruth Sime şöyle yazar: "Göç etmek zordu: Dünya ekonomik bunalımın pençesindeydi ve boş görevler çok azdı. Lise meçhule atılmayı, Berlin'deki eski günlerini yeniden yaşamayı, tekrar ürkek bir yabancı olmayı, ecnebi bir diyarda gurbetçi olmayı göze alamıyordu. Başında bulunduğu fizik kısmına sıkıca sarıldı: 'Onu ilk ufak taşından başlayarak inşa ettim. Deyim yerindeyse ömrümün eseriymi o ve kendimi ondan kopmam müthiş zor geliyordu bana.' "

Bohr'un Kopenhag Enstitüsü'nde bir yıl kalmasını sağlayacak bir bursu elinden kaçırarak Meitner, ABD'de Swarthmore College'da bir kadro bulma şansını da tepti. (Swarthmore onun laboratuvar alanı, donanım ve eleman gereklerini karşılamadı.)

"Lise her şeyini kaybedene ve kovulana kadar ayrılmayacaktı" diye yazar Sime. Önce Berlin Üniversitesi'ndeki görevinden uzaklaştırıldı ve oradaki toplantılara ya da kolokyumlara katılması yasaklandı. Nazi karşıtı olan Planck, Laue ve Hahn, Avusturya yurttaşlığı olmasını kalkan gibi kullanarak bir süre onu koruyabildiler. Derken 1938'de Avusturya'ya dönük *Anschluss* (ilhak) gündeme geldi ve bu cılız savunma silahı da ortadan kalktı. Hahn kendi enstitüsündeki hırslı Nazi yanlılarının sürekli saldırısına uğramaktaydı ve cesaretini kaybetmeye başladı. Amirlerinin baskısı altında, Meitner'den bir daha enstitüye gelmemesini istedi. "İşin özüne bakılırsa, beni kapının önüne koydu" diye yazmıştı Meitner güncesinde. Bir erteleme söz konusuydu ama buna güvenemezdi. Daha sonra güncesine düştüğü not şöyleydi: "Sözler yarasız, çünkü tutulmuyor. Olanaklar daralıyor." Almanya'dan çıkmak zorunda olduğunun bilincindeydi ama geçerli bir pasaportu olmadığından kapana kısılmış, teknik ve akademik personelin Almanya'dan ayrılmasını yasaklayan yeni bir kararnameden dolayı eli kolu bağlanmıştı artık.

Bu arada Meitner'in birçok dostu, ülkeden çıkması için kahramanca çabalar gösteriyordu. Hollanda'da Dirk Coster ve Adriaan Fokker adlı fizikçiler, bir Hollanda üniversitesinde en az bir yıl kalması için gerekli parayı toplamaya çalışıyordu. Bohr beyhude bir çabayla Kopenhag'da çalışmasını sağlayacak bir burs aradı. Zürih'li fiziksel kimyacı Paul Scherrer ona bir "konferans"a katılması için

defalarca telgraf çekti ama bu yol kapalıydı, çünkü İsviçre geçerli bir pasaport olmadan kabul edemezdi. Gittikçe çılgınca bir hale bürünen bu kurtarma çabaları sırasında, iletişim hatlarını Berlin'deki Kayser Wilhelm Fiziksel Kimya Enstitüsü'nün direktörü olan ve Hollanda yurttaşlığının koruması altında bulunan Peter Debye açık tutmaktaydı. Sonunda Bohr bir olanak daha yarattı: Deneyisel fizikçi Manne Siegbahn yeni kurduğu Stockholm Enstitüsü'nde Meitner için bir yer bulabilecekti.

İvedi durum gözükaralığı getirdi. Debye açık bir anlam taşıyan şu şifreli mesajı Coster'e gönderdi: "Eğer Berlin'e gelirsen bizde kalmanı rica edeceğim, ayrıca (tabii şartların hâlâ elverişli olması halinde) sanki bir SOS almış gibi gayet erken gelecek olursan, karıma ve bana daha da büyük bir keyif verecektir bu." Coster hemen Berlin'e gitti ve Meitner kuşku uyandırmamak için büyük bir özen göstererek birkaç eşyasını topladı. Coster'in eşliğinde Hollanda sınırına gitti. Coster daha önce sınır muhafızlarıyla görüşerek bazı gerekli tertibatları ayarlamıştı. Hahn Berlin'de veda ettiği Meitner'e ailesinden kalma bir elmas yüzüğü verdi: "Acil bir durumda elinin altında bir şey olsun istedim."

Meitner artık güvendeydi ama kalıcı bir ikamet edinememişti henüz. Coster ve Fokker ödenek için hâlâ para arıyorlardı. Derken birkaç ay boyunca gündeme gelip düşen İsveç teklifi sonunda sağlamlaştı ve Meitner bunu kabul etmeye karar verdi. Gelişmelerin gösterdiği gibi, akıllıca bir tercihti bu. Eğer gitmeseydi, Almanya'nın daha sonra Hollanda'yı işgal etmesiyle yeniden âciz duruma düşecekti. Meitner'in Kopenhag'a ve ardından Stockholm'e uçuşu sırasında birkaç endişeli an daha yaşandı. Kötü hava koşulları az daha uçağın Almanya'da iniş yapmasına yol açıyordu. Meitner 1 Ağustos 1938'de Stockholm'e vardı. Nazi tehdidinden uzak ama kendine özgü bunalımcı sorunları olan bir dünyaydı burası. "İnsan geriye bakmaya cesaret edemiyor" diye yazmıştı Coster'e, "ileriye ise bakamıyor."

Stockholm'de Yalnızlık

Meitner'in Stockholm'deki velinimetisi Manne Siegbahn, onun için pek fazla teşvik unsuru barındırmayan bir uğraş içindeydi. Daha önce x ışını spektroskopisi üzerine çalışmalarıyla 1924'te Nobel Ödülü kazanmış bir deneyciydi. 1937'de bir siklotron yapımını içeren bir nükleer araştırma programına başlamıştı. Siegbahn ve Meitner ayrı kuşaklardandı. Sime'in belirttiği gibi, "Siegbahn onu pekâlâ eski kafalı saymış olabilir. Sekiz yaş daha büyük olan Meitner nükleer fizik alanına çok daha önce girmiş ve basit donanımla önemli buluşlar yapmıştı. Siegbahn her zaman deneylerinin başarısını aletlerin daha gelişkin düzeye çıkarılmasına bağlayan biriydi. Meitner ise teori ve deneyin birlikte ilerlediği problemlere yönelmişti. Kendince Siegbahn'ın onu yanına almaktan memnun olacağını varsayıyordu. Buna karşılık Siegbahn onun laboratuvar alanıyla yetineceğini ve başka bir şey istemeyeceğini düşünmüş olabilir."

Meitner'e, İsveç Akademisi'nin karşıladığı bir kıdemsiz asistan maaşı veriliyordu. Berlin'deki banka hesabı dondurulmuştu ve emeklilik ikramiyesini al-

ma şansı pek yoktu. Küçük bir otel odasında borç harç hayatını sürdürüyordu. Hahn'a yazdığı mektuplarda perişanlığını anlatıyor ve Berlin'deki malvarlığıyla banka hesabının serbest bırakılmasını sağlayacak bir yol bulması için yalvarıyordu. Kendi payına Hahn da enstitüde hırslı, acımasız Nazi astlarının saldırısı altında olmaktan yakınıyordu. En berbat koşullarda zorla birbirinden ayrılmış bir evli çiftte benziyorlardı.

Meitner'in hoşnutsuzluğunu artıran bir başka husus Siegbahn Enstitüsü'ndeki konumu, daha doğrusu konumdan yoksunluğu. "Siegbahn Enstitüsü akla hayale sığmayacak kadar boş" diye yazmıştı Hahn'a. "Bir siklotron ile büyük bir x ışını spektroskopisi aletinin hazırlandığı ama deneysel çalışmaya dönük bir düşüncenin pek görülmediği çok güzel bir bina. Pompalar, reostalar, kondansatörler, ampermetreler, kısacası deney yapmaya yarayacak hiçbir şey yok ve koca binada topu topu dört genç fizikçi ve çok hiyerarşik bir çalışma düzeni var." Sime aynı konuda şunu belirtir: "Ve bu düzende Meitner'e yer yok gibiydi. Siegbahn'ın grubuna katılması istenmediği gibi, ona kendi grubunu oluşturacak kaynaklar da verilmiyordu. Bu nedenle laboratuvar alanı olsa bile, birlikte çalışacağı elemanlar, ekipman ya da teknik destek, hatta atölyelere ve laboratuvarlara girmesi için bir anahtar takımı yoktu." Berlin'de Fischer'in kimya enstitüsündeki ilk döneminde olduğu gibi yine görünmez bir kadındı. Yine de böylesine iç karartıcı koşullarda, Lise Meitner, yeğeni Otto Frisch'le birlikte 20. yüzyıl fiziğinin en önemli buluşlarından birini gerçekleştirdi: Rutherford'un atom çekirdeğini bulmasıyla kesinlikle eşdeğer bir başarıydı bu.

Nükleer Fizyon ya da Olmayan Uranyum-Ötesi Elementler

Teorik fizikçiler (siyasette olmasa bile, mesleki uğraşlarında) temelde tutucu olurlar. Teorilerini olabildiğince daha önce yolculuk edilmiş düşünsel rotalar doğrultusunda geliştirirler. Ancak aksi yönde tartışmasız kanıtlarla ikna edildikleri zaman, bilinen yoldan ayrılır ve meçhule atılırlar. Bunu yapınca da telaşa düşerler. Pauli'nin β bozunumunda "nötron"un rolüne ilişkin ikircikli önerisini hatırlayacaksınız. ("Şu an itibarıyla bu fikir üzerine bir şey yayımlayacak kadar güvenmiyorum kendime.") Meitner-Frisch buluşunun hikâyesi de aynı dersi öğretiyor bize.

Roma'da uranyuma dönük nötron bombardımanı deneyleri yapmakta olan Enrico Fermi, 1935'te bazı yeni radyo-elementler gözlemlemişti. Tutucu varsayım bunların bombardıman sırasında uranyum bir nötronu soğurarak daha ağırlaşmasıyla ve β aktivitesi kazanmasıyla ortaya çıktığı yönündeydi. Buna göre β parçacığının salınması atom sayısını uranyuma özgü 92 düzeyinin ötesine, doğada bulunmayan yapay "uranyum-ötesi" elementler alanına taşıyordu. Hahn ve Meitner çok geçmeden bu "uranyum-ötesi element"leri incelemeye giriştiler.

Paris'teki Irène Joliot-Curie ve Pavel Savitch de uranyum-ötesi elementler arayışına aktif olarak katılanlar arasındaydı. Meitner Berlin'den tehlikelerle dolu kaçışından hemen önce, Hahn ve genç bir analitik kimyacı olan Fritz Strassman'la tuhaf görünen bir Joliot-Curie-Savitch bulgusunu gördü. Bulguya göre,

uranyuma dönük nötron bombardımanıyla ortaya çıkan radyo-elementlerden biri, kimyasal davranışı bakımından lantana, atom ağırlığı uranyumunkinin yaklaşık yarısı kadar olan bir elemente benzemektedir. Bu sonucun radikal bir yorumu, nötron bombardımanının uranyum çekirdeğinin her biri uranyumunkinin yarısı kadar atom ağırlığına sahip daha küçük iki çekirdeğe bölünmesine yol açtığıdır.

Kimse böyle bir şeyi öngörmüyordu ama Joliot-CurieSavitch deneyini tekrarlayan Hahn ve Strassmann bir başka şaşırtıcı buluşa vardılar: Nötron-uranyum bombardımanı ürünleri arasında radyum gibi davranan radyo-elementler vardı. Tek farkları radyuma oranla yarı-ömürlerinin çok daha kısa olmasıydı. Strassmann'ın titiz analitik çalışması bunların baryum izotopları olduğunu gösterdi. Baryum da uranyumunkinin yaklaşık yarısı kadar atom ağırlığına sahip bir başka elementti. Uranyumun nötron bombardımanı sırasında bölündüğünü ortaya koyan daha çok kanıt vardı burada.

Hahn hâlâ kuşkuluydu. Meitner'e 1938'de yazdığı bir mektupta, "Kendi hesabımıza [uranyumun] aslında parçalanıp [baryuma] dönüşmeyeceğini biliyoruz" diye belirtiyordu. "Ben yayımlayabilirim diyebileceğin bir şey varsa, bu yine de bir biçimde üçümüzün çalışması olacaktır." (Hahn artık Yahudi meslektaşıyla birlikte makale yayımlayamıyordu.) Birkaç gün sonraki mektubunda ise şunlar yazılıydı: "Eskisi gibi birlikte çalışabilseydik, ne kadar güzel ve ne kadar heyecan verici olurdu. Fiziksel açıdan belki saçma olsa bile, vardığımız sonuçları hasır altı edemeyiz. Anlayacağın, bundan bir çıkış yolunu bulabilirsen, güzel bir iş yapmış olacaksın." Meitner cevabında "bir çıkış yolu" göremediğini ama bir teorisyen olarak tecrübelerine bakılırsa tuhaf kavramların ara sıra başarıya ulaştığını belirtti. "Nükleer fizikte öylesine çok sürprizler yaşadık ki, bir şeyin olanaksız olduğunu kayıtsız şartsız söyleyemeyiz" diye yazdı Hahn'a. Daha sonra Hahn kendisinin ve Strassmann'ın sonuçlarını yayımladığında şöyle bir kıvırtma yoluna gitti: "Kısaca açıkladığımız deneyler, birer kimyacı olarak bizleri, daha önce radyum, aktinyum, toryum olarak tanımlanan [ağır] elementlerin yerine [çok daha hafif] elementler olan baryum, lantan ve seryumu geçirmeye zorluyor ama fiziğe yakın birer 'nükleer kimyacı' olarak, bütün nükleer fizik tecrübelerine aykırı olan bu atılımı henüz yapamayız." Bu, Hahn'ın görüşüydü. Strassmann daha sonraları kendisinin "atılımı yapmaya" ve nötron bombardımanının uranyum çekirdeğini bölebileceğini önermeye daha yatkın olduğunu aktaracaktı.

Aynı sıralarda, 1938 Noel'inden hemen önce, Meitner'in gözde yeğeni (ablası Gusti'nin yetenekli oğlu) Otto Frisch, çok sevdiği teyzesiyle birlikte tatilini Doğu kıyısındaki Kungälv kasabasında geçirmek üzere İsveç'in yolunu tuttu. Bohr'un enstitüsünde çalıştığı Kopenhag'den geliyordu. "Kungälv'deki ilk gecemden sonra otel odamdan çıktığımda" diye yazar otobiyografisinde, "Lise Meitner'i Hahn'dan gelen bir mektubu incelerken buldum. Mektuptan dolayı tedirgin olduğu apaçıktı." Frisch ona Kopenhag'deki çalışmalarını anlatmak istediğinde, "hiç kulak vermeyerek, mektubu okumasını istemişti." Hahn mektupta kendisinin ve Strassmann'ın vardığı bulguyu, yani uranyuma dönük nötron radyasyo-

nunda baryumun ortaya çıktığını bildiriyor ve Meitner'den bu gizemi çözmesini istiyordu.

Hahn yetkin bir radyokimyacıydı ve Meitner onun baryum konusunda yanlış olduğu kanısında değildi. Bu durum uranyum çekirdeğinin gerçekten de bölündüğü sonucunu zorunlu kılar gibiydi. Peki, nasıl olabilirdi bu? Bohr ile onun enstitüsüne sıkça uğrayan eğlenceli ziyaretçilerden genç Rus teorisyen George Gamow, daha önce çekirdeğin bir sıvı damla gibi olduğu görüşünü ortaya atmışlardı. Bir damlanın sünmeyle uzaması, orta noktada daralması ve sonunda bölünüp iki damlaya dönüşmesi kolayca göz önünde canlandırılabilir bir şeydi. Sıradan bir sıvı damlada yüzey gerilimi gibi bir şeyin böyle bir bölünmeye karşı koyması söz konusuydu. Oysa her uranyum çekirdek parçası büyük bir pozitif yük taşıdığından, bu yükler arasındaki itme bölünme sürecine güçlü biçimde yardımcı olabilirdi.

Karlı İsveç ormanlarında Frisch'in kayakla kaydığı ve Meitner'in "kayaksız da aynı ölçüde hızlı yürüyebileceği iddiasını pek boşa çıkarmadığı" bir yürüyüş sırasında, iki fizikçi bir teorinin gerekli özelliklerini ucundan kenarından görmeye başladı. "İşte o noktada" diye yazar Frisch, "ikimiz de bir ağaç kütüğüne oturduk ve kâğıt parçaları üstünde hesaplar yapmaya koyulduk. Uranyum çekirdeğinin yükü, vardığımız sonuca göre, yüzey gerilimine bağlı etkinin üstesinden neredeyse tamamen gelebilecek kadar büyüktü. O halde uranyum çekirdeği tek bir nötronun çarpması gibi en ufak bir tahrikle kendi kendine bölünmeye hazır olan çok titrete, kararsız bir damlaya gerçekten benzeyebilirdi."

Meitner ve Frisch artık uranyumun bölünme sürecini görsel çerçeveye oturtabilecek durumdaydılar ama aşmaları gereken bir problem daha vardı. Pozitif yüklü iki parça karşılıklı itme sonucunda olağanüstü bir enerjiyle kopup birbirinden uzaklaşacaktı. Bu da 200 MeV, yani 200 milyon elektron volt düzeyinde enerji, yani bir elektronun 200 milyon volt içinden geçirilerek ivmelendirilmesi için gereken enerji demekti. Daha önce bir nükleer süreçte gözlemlenmiş olan enerjinin yaklaşık on katıydı bu. Böyle bir enerji nereden gelebilirdi? Meitner bölünme sürecinde ortaya çıkan iki tipik parçanın kütlelerini hesaplamak için gereken formülleri hatırladı. Uranyum kütlesi ile parçaların toplam kütlesi arasındaki farkı bularak ve bunu Einstein'ın $E = mc^2$ denklemi aracılığıyla enerjiye dönüştürerek, uranyumun bölünmesine eşlik etmesi muhtemel olan 200 MeV düzeyindeki enerjiyi açıklayabilirlerdi. Böylece karlı bir Aralık günü bir kayak patikasının yanı başında, Meitner ve Frisch nötron bombardımanı altında uranyum çekirdeğinin bölünmesini açıklayan bir teorinin ana hatlarını saptamış olurdular.

Kopenhag dönen Frisch'in bu gelişmeyi aktardığı Bohr, teoriyi derhal anladı ve benimsedi. "Ona daha yeni anlatmaya başlamıştım ki" diye yazar Frisch, "elinin içini alnına vurarak hayret dolu bir sesle şöyle dedi: 'Ah, ne aptalmışız hepimiz! Ah, harika bu ya! Tam olabileceği gibi işte! Sen ve Lise Meitner bu konuda bir makale yazdınız mı?' Henüz yazmadığımızı ama bunu bir an önce yapacağımızı söyledim. Bohr da makalenin çıkmasından önce bu konuda hiç konuş-

mayacağına söz verdi." Saatlerce süren bu sohbetten sonra, Bohr bir dizi konferans vermek üzere ABD'nin yolunu tuttu.

Meitner ve Frisch uzun uzadıya birkaç şehirlerarası telefon konuşması yaparak tarihsel makalelerini yazıya döktüler. Biyologların canlı hücre bölünmesinden söz ederken kullandıkları "fizyon" teriminin uygun olacağına karar verdiler. Meitner-Frisch süreci böylece "nükleer fizyon" olarak anılmaya başladı.

Frisch'in kuşkucu meslektaşlarından George Placzek ona meydan okuyarak, uranyum çekirdeği bölünmesi sırasında ortaya çıkan "fizyon parçaları"nı saptayacak bir deney tasarımıyla teorisini test etmesini istedi. "Ne gariptir ki böyle bir düşünce hiç aklıma gelmemiştir" diye yazar Frisch, "ama çarçabuk işe koyuldum, (sahiden çok kolay olan) deney iki gün içinde yapıldı ve buna ilişkin kısa bir notun yanı sıra Lise Meitner'le birlikte yazdığımız bir başka not *Nature* dergisine yollandı."

Amerika'ya yolculuğu sırasında Bohr yardımcısı Léon Rosenfeld'le Meitner-Frisch sürecini tartıştı. Böylece önemine ve geçerliliğine daha da ikna oldu. Ancak New York'a ayak bastıklarında, Meitner ve Frisch'in görüşlerini yayımlayıp öncelik haklarını güvence altına almalarına kadar, haberin gizli tutulması gerektiğini Rosenfeld'e söylemeyi ihmal etti. Bohr birkaç günlüğüne New York'ta kalırken, Rosenfeld hemen Princeton'a geçerek bir seminere katıldı ve hayretler içinde kalan bir dinleyici kitlesine nükleer fizyonla ilgili her şeyi anlattı. Haber bir sansasyon yarattı. Deneyciler hemen laboratuvarlarına koşturarak Frisch'in deneyini tekrarladılar. Birçoğu bunu başardı ama Bohr'u rahatlatan bir gelişmeyle, Meitner ve Frisch teorilerine ilişkin, Frisch de fizyon parçalarını saptamasına ilişkin öncelik haklarını yitirmediler.

Uranyum nükleer fizyonunun benimsenmesiyle birlikte, daha önce ortaya atılmış olan uranyum-ötesi elementler savı çıktı ve bunlardan yalnızca ikisi ayakta kaldı. Elinde yoğun bir nötron kaynağı olması halinde, söz konusu iki element Meitner'in buluşu olabilirdi. Edwin McMillan ve Emilio Segre uranyuma dönük nötron bombardımanı için Berkeley siklotronunu kullanarak, β aktivitesi gösteren ve yarı ömrü 2,3 gün olan bir radyo-element bulmuşlardı. Segre bunu bir fizyon parçası olarak tanımlamıştı. Meitner bu yoruma inanmadı, çünkü 2,3 günlük aktivite uranyumla birlikte kalmaktaydı. Bir fizyon parçasının McMillan ve Segre tarafından kullanılan ince uranyum örneklerinden tepmeye yetecek kadar bol enerjiye sahip olması gerekirdi. Meitner'e göre, 2,3 günlük aktivitenin sahibi bir uranyum-ötesi element, yani element 93 olduğu ve bunun β bozunumunun bir başkasını, yani element 94'ü ortaya çıkardığı açıktı.

Meitner bu görüşünü kanıtlamak için, McMillan-Segre deneyini tekrarlamak zorundaydı. Siegbahn'ın siklotronunu kullanma olanağını elde etmek için aylarca boşuna bekledi. Sonunda Bohr enstitüsündeki siklotronu kullanmak üzere Nisan 1940'ta Kopenhag'a gitti. Oraya varmasından bir gün sonra Alman birlikleri Danimarka'ya saldırdı, Danimarka askerleri teslim oldu ve Meitner'in planları bir kez daha aksilikle karşılaştı. Yedi hafta sonra McMillan ve Philip Abelson onun öngörmüş olduğu element 93'ü belirledi ve neptünyum olarak adlandırdı. "Bunu kabullenmek onun için müthiş zordu" diye yazar Ruth Sime,

“McMillan ve Abelson’ın bulduğu neptünyumun bir beta salıcısı olarak bir başka uranyum-ötesi elementin, yani element 94’ün [sonradan verilen adıyla plütonyumun] habercisi olması daha da sarsıcıydı. Berlin’den ayrıldıktan sonra Meitner’in yaşadığı birçok keder arasında, ona en çok acı çektiren element 93’ü bulma şansını kaçırmasıydı. Böyle bir şey kendi ifadesiyle geri kalan ömrü boyunca bir *crève coeur* olarak kalacaktı.”

Haklı ve Haksız Şöhret

Nükleer fizyonun daha sonraki gelişim çizgisi yalnızca fiziğin değil, ulusal ve uluslararası siyasetin, bürokrasinin, askeri kontrolün, kimyanın ve mühendisliğin devreye girdiği karmaşık bir hikâyledir. Sonuçlardan biri, sonraki bölümde değineceğimiz üzere, Ağustos 1945’te Hiroşima ve Nagasaki’ye atom bombalarının atılması oldu. Burada nükleer fizyonun 1939’un ilk aylarında ortaya çıkan iki özelliğini daha belirteceğim. Bohr ile Princeton teorisyenlerinden John Wheeler, doğal uranyumun “yavaş” (düşük enerjili) nötronlarla bombardımana tutulmasından kaynaklanan fizyonun esas olarak doğada çok bulunan U^{238} izotopuna değil, daha nadir bulunan U^{235} izotopuna bağlı olduğunu gösterdiler. Ayrıca Paris’teki ve Columbia Üniversitesi’ndeki deneyler her uranyum fizyonunun sadece bir nötronu *tüketmekle kalmadığını*, aynı zamanda iki üç nötronu daha *açığa çıkardığını* ortaya koydu. Bu durum bir fizyonda elde edilen nötronların bir ya da daha fazla fizyonu hareket geçirebileceği, bu fizyonlarla daha fazla nötronun elde edilebileceği ve sürecin böyle sürüp gideceği yolundaki heyecan verici olanağı gündeme getirdi. Böyle hızlı nötron çoğalması, özellikle sürecin denetimsiz olması halinde, inanılmaz düzeyde bir enerjiyi açığa çıkaracak zincirleme bir nükleer tepkimeyi sağlayabilirdi.

O sırada Alman orduları Avrupa’yı ezip geçercesine istila ediyordu ve bir uranyum fizyon bombasına dönük askeri olanaklar bütün nükleer fizikçiler için barizdi. Başkalarının yanı sıra Werner Heisenberg ve Otto Hahn’ın da içinde yer aldığı bir Alman girişimi sonunda can sıkıcı bir başarısızlıkla noktalandı. ABD’de ise yavaş bir başlangıçtan sonra çeşitli yerlerde yürütülen yoğun bir girişim, Japonya’ya atılan iki tahrir edici bombanın üretilmesini getirdi.

Lise Meitner nükleer silahlara kesinlikle karşıydı. Bombaların tasarlandığı New Mexico’daki, Los Alamos’da hızla büyümekte olan laboratuarda görevli İngiliz ve mülteci fizikçiler ile mühendislerden oluşan bir gruba katılması yönünde bir davet aldı. Öneriyi kararlılıkla geri çevirdi ve Müttefikler safında böyle bir tutum takınan tek seçkin nükleer fizikçi oldu. Los Alamos’da görev almak Stockholm’deki tikanıklıktan kurtulmasını ve arkadaşlarıyla birlikte yeniden çalışma fırsatını sağlayacaktı. Ama hiçbir akıl çelici husus fikrini değiştiremedi. “*Benim bir bombayla hiçbir ilgim olmayacak!*” diye ilan etti.

Hiroşima ve Nagasaki’den korkunç haberler gelince, Meitner bir yerlere tıkmamış ve basının ulaşamayacağı biçimde saklanmamış tek nükleer fizikçi olma gibi rahatsız edici bir konumda buldu kendisini. Alman fizikçiler o sırada İngiltere’de gözetim altına alınmışlardı. Amerikalı, İngiliz ve mülteci nükleer uzmanlar ise Los Alamos’da, ABD, Britanya ve Kanada’daki diğer nükleer tesisler-

de sıkı korunan tel örgüler arkasındaydı. Meitner muhabirlerce kuşatıldı. Bir anda Hitler'in bilimcilerinden atom bombası sırrını çalarak İngiliz dostlarına veren "kaçak Yahudi" haline geldi. Saygın bir *New York Times* bilim muhabiri Meitner'in sırrı telgrafla Kopenhag'daki Otto Frisch'e iletildiğini ve onun da bunu "kayınpederi" Niels Bohr'a aktardığını anlattı. Bazı muhabirler Meitner'i "bombanın Yahudi annesi" olarak anma sevdasına kapıldı.

Bomba şöhreti Meitner için hiç istemediği ve son derece huzursuz olduğu bir şeydi. Buna karşılık hak ettiği ve de beklemesi için her türlü nedenin bulunduğu şöhret ona çok görüldü. 1944'te Nobel Kimya Ödülü nükleer fizyon buluşundan dolayı tek başına Otto Hahn'a verildi. Hahn'ın ödüllendirilmesine Meitner'in bir itirazı yoktu, ancak birçok arkadaşı gibi o da kendisinin ve Frisch'in katkılarının niçin gözardı edildiğini bir türlü anlayamıyordu. Bunu bir arkadaşına şöyle açıklamıştı: "Hahn, elbette Nobel Kimya Ödülü'nü hak ediyor. Buna hiç kuşku yok gerçekten. Ama uranyum fizyonu sürecinin açıklığa kavuşturulmasına Frisch'le birlikte yaptığımız katkının hiç de önemsiz olmadığı kanısındayım. Sürecin nasıl ortaya çıktığına ve bu kadar büyük enerjiyi nasıl yarattığına ilişkin bu katkı, Hahn'ın çok uzak olduğu bir şeydi bu."

Hahn'ın (ve Strassmann'ın) radyokimyasal deneyleri buluş için temel öneme sahipti ama Meitner ve Frisch'in ortaya koyduğu fizik kavramlar için de aynı şey geçerliydi. Dönüp geriye baktığımızda, nükleer fizyon gibi önemli bir buluşun iki ödülü hak ettiğini, kimya ödülünün Hahn'a (ve ayrıca Strassmann'a), fizik ödülünün de Meitner ve Frisch'e verilmesi gerektiğini söyleyebiliriz. Davranışına akıl sır erdirilemez Nobel Komitesi durumu böyle görmemişti. Bazıları bu işte Meitner'in cehennem zebanisi Siegbahn'ın parmağı olduğu kanısındaydı. "Lise'nin İsveç'teki dostları çılgına döndü" diye yazar Sime. "Onun dışlanmasını ihmale ya da gaflete değil, düpedüz kasıtlı kişisel itiraza, Manne Siegbahn'ın bir marifetine bağladılar."

Lise Meitner her ne kadar birinci ödülün mahrum bırakıldıysa da, çalışmalarının takdir edilmemesi gibi bir durumla kesinkes karşılaşmadı. 1946'da ilk kez gittiği ABD'de ardı arkası kesilmeyen resepsiyonlara, toplantılara, ödüllere, konferanslara, onursal diplomalara ve bir tebrik mektupları seline boğuldu. Olay Marie Curie'nin ikinci gelişi gibi bir hal aldı. Hollywood onun için *Sonun Başlangıcı* adlı bir film senaryosu hazırladı. Bu senaryo için "başından sonuna kadar saçma sapan bir şey" diye yazmıştı Frisch'e. "Çantamda bombayla Almanya'dan ayrıldığım, Himmler'in adamlarının Dahlem'e gelerek görevden alındığımı bildirdiği ve aynı minval üzerinde başka birçok şeyin sıralandığı ahmakça bir gazette haberi üzerine kurulu." Meitner film için işbirliğine yanaşmadı. "Bu'nu yapmaktansa Broadway'de çırılçıplak dolaşmayı yeğlerim" dedi.

Son Günler

Meitner savaştan kısa bir süre sonra, 1947'de Siegbahn Enstitüsü'nden emekliye ayrıldı ve İsveç Atom Enerji Komisyonu'nun sırf onun için Kraliyet Teknoloji Enstitüsü'nde oluşturduğu küçük bir laboratuarda çalışmaya başladı. Ardından

bir deneysel nükleer reaktörle bağlantılı araştırmalar için Kraliyet Mühendislik Bilimleri Akademisi'nin laboratuvarına geçti. Nihayet 1960'ta, İsveç'te yirmi yıl geçirdikten sonra, Otto Frisch'e ve ailesine yakın olmak için İngiltere'nin Cambridge şehrine yerleşti. Yolculuklar yaparak, konferanslar vererek ve konserlere giderek faal bir hayat sürdürdü.

Meitner'in 1938'de Berlin'den ayrılmasından sonra, Meitner-Hahn partnerliği son bulmuştu ama aralarındaki dostluk devam etti. Üstelik kimi Meitner açısından bir elem ve burukluk izi bırakarak. Bunu özellikle 1946 Nobel oturumunda Nobel payesinin yeni sahibi Hahn'ı Stockholm'de ağırlama ve kutlama gibi bir görevi hiç haset belirtisi göstermeksizin yerine getirirken yaşadı. Meitner'e göre, Hahn uranyum fizyonu buluşunu tek adamlık bir gösteri olarak sunmuştu. Bir arkadaşına yazdığı mektupta şunu belirtmekten kendini alamadı: "[Hahn'ın] röportajlarda benden tek bir kelimeyle bile söz etmemesi, birlikte otuz yıl yürüttüğümüz çalışmalara hiç değinmemesi hayli ağrıma gitti. Bu davranışının ardındaki güdüler biraz çapraşık. Almanlar'ın haksız bir muameleye maruz kaldığı kanısında, o kadar ki düpedüz geçmişi örtbas ediyor. Dolayısıyla burada [Stockholm'de] bulunduğu sırada, tek düşüncesi Almanya'nın sözcülüğünü yapmaktı. Bana gelince, örtbas edilen geçmişin bir parçasıyım yalnızca."

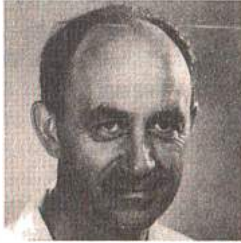
Ama böyle anılar zamanla solup gitti ve Meitner'in Hahn'la dostluğu (Hahn'dan çok Meitner'in çektiği) bütün meşakkatleriyle ayakta kaldı. Meitner'i Cambridge'den tanıyan moleküler biyolog Max Perutz, Otto Frisch'in dul karısını kaynak göstererek, Meitner'in "Hahn hakkında derin sevgi dışında bir şeyi hiç dile getirmediğini" aktarır.

Lise Meitner doksanıncı yaş gününden birkaç gün önce öldü. Otto Hahn ise birkaç ay önce dünyadan göçmüştü. Meitner bir İngiliz kır kilisesinin avlusuna gömüldü. Frisch'in hazırladığı mezar taşında şu yazılıdır:

Lise Meitner: İnsanlığını hiç yitirmeyen bir fizikçi.

Dolu dolu hak ettiği şeyleri elde etmişti: Seçkin bir kariyer, uzun bir ömür, çok sayıda nişan ve sayısız kalıcı dostluklar.

Tam Fizikçi Enrico Fermi



Harika Çocuk

Kural olarak bir bilimci, yeteneğini ya teorisyen ya da deneyci olarak sergiler. İki alanda birden pek başarılı olmaz. Sözelimi Einstein, Maxwell ve Gibbs büyük teorisyenlerdi ama deneycilik açısından yaratıcı değillerdi. Buna karşılık Faraday ve Rutherford gibi büyük deneycilerin ise teorisyenlik yönü sınırlıydı. Şimdiye kadar ele aldığımız fizikçiler arasında yalnız Newton hem deneyci hem de teorisyen (ayrıca matematikçi) olarak üstün yetenek sergilemiştir. Bu bölüme konu olan Enrico Fermi, fiziğin iki fırkalı bir camia olması kuralının bir başka istisnasıdır. Biyografisini yazan meslektaşı Emilio Segrè, onun “başından itibaren teoriyi ve deneyi eşit ağırlıkta gören tam bir fizikçi” olduğunu belirtir.

Fermi teorisyenliğini ilk kez 1926'da, Pauli dışlama ilkesine göre atomların kuantum durumlarının nasıl sayılacağını göstererek ortaya koydu. 1930'larda Pauli'nin bir başka fikrinden, β parçacıklarının her zaman elektrik yüksüz ve neredeyse kütesiz ufak parçacıklarla birlikte görüldüğü fikrinden yola çıkarak, eksiksiz bir β bozunum teorisi kurdu. Bu çalışma günümüzdeki adıyla kuantum alan teorisinde öncü bir girişimdi. Fermi aynı doğrultuda ilerleyerek tamamen bu işe sarılmış bir teorisyen olabiliirdi. Ama bunun yerine, nötron bombardımanı tekniğiyle donanmış bir deneyci olma yolunu seçti. Yine öncü nitelikteki girişimleri modern deneysel fiziğin çığır açıcı başarılarından birine varmasını sağladı: Zincirleme nükleer tepkimenin kontrol altına alınması.

Enrico Fermi 1901'de Roma'da doğdu, ailedeki üç çocuğun en küçüğüydü. Annesi Ida ilkokul öğretmeni, babası Alberto bir demiryolu görevlisiydi. Fermi

ailesinin çok az lüksü vardı. Kaldıkları apartman dairesinde, Fermi'nin karısı Laura'nın *Atoms in the Family* (Ailedeki Atomlar) adlı büyüleyici biyografi ve hatıra kitabında aktardığına göre, "herhangi bir ısıtma tertibatı yoktu." Enrico ders çalışırken ellerini sıcak tutmak için altına destek yaparak oturmak zorundaydı ve bir bakıma mecburiyetten "ellerini o kuytu sıcaklıktan çekmektense, kitap sayfalarını dilinin ucuyla çevirmeye" alışmıştı.

Fermi ailesinde başat konum taşıyan kişi Ida'ydı. "Onları bir arada tutan [Ida'nın] ailesine engin ve bilgiç bağlılığıydı" diye yazar Laura Fermi. Annenin kuralları vardı ve bunlara uyulurdu: "Bu bağlılığı aşırı vurgulanmış bir görev duygusuyla ve sıkı bir dürüstlikle iç içe geçmişti. Ara sıra canlarını sıkırsa bile, çocuklarına da geçen özelliklerdi bunlar. Sevgisine kattığı belirli bir katılıktan dolayı, başkalarından da kendisinin verdiği kadar sevgi beklerdi. Çocukları onun önlerine koyduğu ve şart koştuğu yüksek ahlaksal ve düşünsel standartları tutturmak için büyük çaba göstermek zorundaydı."

Enrico ve ağabeyi Giulio sonu gelmez çocukça projelerin değişmez kafadarları ve oyun arkadaşlarıydı. Giulio'nun anlaşıldığına göre sıradan bir gırtlak ameliyatı sırasında ölmesiyle bu birliktelik trajik biçimde son buldu. Aile bir yıkıma uğradı. Ida duygusal çöküntüye girdi. Enrico en iyi arkadaşının yokluğunda yapayalnız kaldı, çevresindeki melankoliden kaçmak için kendi başına yoğun biçimde matematik ve fizik çalışmaya yöneldi.

İlk başlarda bu çalışması gelişigüzel. Tek rehberi, bir kitap sergisinde bulabildiği her türlü kitabı okumaktı. Ama onlu yaşlarına girdiğinde karşısına bir koruyucu melek çıktı: Alberto Fermi'nin mühendislik birikimine ve yüce gönüllü mizaca sahip meslektaşı Adolfo Amidei. Enrico'nun geometriyle ilgili sorularından etkilenen Amidei, ona izdüşümlü geometri üzerine bir kitap verdi. İki ay sonra kitabı iade eden Enrico'nun, kanıtları su gibi yuttuğunu ve bazıları içinden çıkılmaz alıştırmaların hepsini yaptığını hayretle gördü. Kendisi bile bu kadarını başaramamıştı. Enrico'nun kanıtlarına bakınca şu sonuca vardı: "Çocukcağız lise derslerinin gereklerini yerine getirdikten sonra kalan sınırlı boş zamanında izdüşümlü geometriyi dört dörtlük öğrenmiş ve yüksek seviyede birçok problemi pek fazla güçlükle karşılaşmadan çarçabuk çözmüştü. Enrico'nun sahiden bir harika çocuk olduğuna, en azından geometride öyle olduğuna kanaat getirdim."

Amidei genç dostunu dört yıl boyunca trigonometri, cebir, kalkülüs ve teorik mekanik kitaplarıyla uğraştırmaya devam etti. Fermi ergenlik çağında bile bir matematik ya da fizik kitabında yazılı şeyleri hemen kapıp akılda tutabiliyordu. "Onun bir kitabı tek sefer bile okuduğunda eksiksiz anladığını ve hiç unuttuğunu çoktan saptamıştım" diye aktarır Amidei. Küçük Fermi bir kitabı bitirdiğinde, bunu başvuru kaynağı olarak yanında tutmuyordu. "Aslına bakarsan" diye anlatmıştı Amidei'ye, "içinde yazılanları birkaç yıl sonra şimdikinden çok daha berrak göreceğim ve bir formüle gerek duyduğumda, bunu gayet kolayca türetme yolunu bileceğim." Bu hafızada tutma, yani gerek duyduğu fizik pasajını "gayet kolayca türetme yolunu bilme" becerisi, Fermi'nin yeteneğinin temel unsurlarından biriydi. Bir müzisyenin bir müzik parçasının notalarını ezberleme be-

cerisi gibi bir şeydi bu. "Sonraki yıllarda" diye anlatır Segrè, "Fermi zihninde fizik konularını tıpkı orkestra şefinin bir senfoniye prova ettiği gibi çalıştı. Bu işi uzun kir gezilerinde ya da benzer durumlarda yapardı."

Amidei yetiştirmesi için ailedeki kederli havanın engelleyici olduğunu görebilecek kavrayıştaydı. Ida ile Adolfo'yu oğullarının Pisa Üniversitesi'ne bağlı Scuola Normale Superiore'de okuması gerektiğine ikna etti. Eskiden öğretmenlerin yetiştirildiği bu okul zamanla evrim geçirerek, her yıl İtalya'da en parlak öğrencilerden kırkının sınavla alındığı bir kuruma dönüşmüştü. Fermi bu seçkin ortamda bile öne çıkmayı başardı. Giriş sınavında yazdığı "Sesin Ayırıcı Özellikleri" konulu deneme yüksek düzeyde bir matematiksel analizdi. Sesin yayılmasına ilişkin diferansiyel denklemleri ve çözümlerini içermektedir. Sınav görevlisi bu performans karşısında öylesine hayrete düştü ki, alışılmış prosedürün dışına çıkma pahasına adayla görüşmek için ısrar etti ve ona uzun akademik kariyeri boyunca böyle bir öğrenci yazılı kâğıdı görmediğini anlattı. Okulun fizik laboratuvarı direktörü, cana yakın ve maharetli bir adam olmakla birlikte, mesleğindeki gelişmelerin gerisinde kalmış biriydi. Fermi'nin üstünlüğünü hiç gocunmadan kabul ettiği için, sık sık "Biraz ders ver bakayım bana" derdi.

Fermi 1922'de Pisa'dan ayrılarak Roma'ya döndü ve bir başka koruyucu melek, Roma Üniversitesi fizik laboratuvarı direktörü Orso Mario Carbino'yla tanıştı. Amidei gibi Carbino da onun dehasını çarçabuk kavradı ve hem koruyucusu hem de dostu oldu. Carbino'nun düşü İtalyan fiziğini yeniden eski konumuna yükseltmekti. Fermi'de yeni bir Galileo'yu görmektedir ve bunda da haklıydı. O sıralarda İtalyan fizikçiler ve matematikçiler genel görelilik teorisine önemli katkılarda bulunuyordu ama Avrupa'nın başka ülkelerinde gelişen diğer yeni alanlarda, en başta da kuantum teorisinde ders bile veremiyordu. Carbino'nun tavsiyesi üzerine, Fermi aldığı burslarla yurtdışındaki bilim dünyasında bir yolculuğa çıktı. Önce Max Born'un Göttingen'deki enstitüsüne gitti, orada Heisenberg-Pauli çevresine pek ısınmadı. Sonraki durağı Leiden oldu, onu büyük klasik fizikçi Hendrik Lorentz'in ardılı olan teorik fizik profesörü Paul Ehrenfest davet etmişti. Ehrenfest'in çağdaş fizikle aşinalığı (tıpkı daha sonraları Fermi'de olduğu gibi) ansiklopedik düzeydeydi. Ona göre, yakında yaşanması beklenen devrimci gelişmelerde Fermi'nin oynayabileceği bir rol vardı.

Fermi ülkesine döndüğünde Floransa Üniversitesi'nde görev aldı ve bir zamanlar Galileo'nun son günlerini geçirdiği Arcetri'de kaldı. Bu görevinde yeteneğinin bir başka yönünü, üstün hocalık becerisini sergiledi. "Bir öğretim görevi istemesinin ciddi nedenlerinden biri, çocukluk döneminden başlayarak bütün uğraşlarında belirgin olarak ortaya çıkan öğretme sevgisiydi" diye yazar Segrè. Öte yandan Fermi güncel fizik dergilerini de okuyor ve her zamanki gibi verimli biçimde özümseyordu. "Okuduğu şeyler üzerine derin düşüncelere dalar ve çoğu kez yeni bir şey ekleme ilhamını alırdı" gözleminde bulunur Segrè. "Nötron üzerine çalışmasına kadar süren bu alışkanlık, bilgi birikiminin enginliğini ve evrenselliğini açıklayıcı niteliktedir." İşte çağdaş fizik literatüründeki bu kısa gezintilerinden birinde, Pauli dışlama ilkesine "yeni bir şey ekleyerek" ilk önemli katkısını yaptı.

Kuantum İstatistiği

Fermi dolambaçlı bir yoldan Pauli ilkesine ulaştı. Amacı atomlardan oluşmuş ideal bir gaz için entropi hesaplamasını yapmaktı. Bunun için de Boltzmann'ın

$$S = k \ln W$$

biçimindeki istatistiksel entropi denklemini kullanırken, kuantum mekaniği kurallarına da titiz bir özen gösterdi. Bu kurallardan biri atomların ancak belirli ayırılabilir durumlarda varolabileceği ve başka hiçbir durumda varolamayacağıdır. Bir başka kural ise kapalı bir ortamdaki atomların birbirinden ayırt edilemeyeceğidir. Bunun nedeni, bir atomu temsil eden dalga fonksiyonunun yeterince uzun bir erime sahip olması, böylece aynı kapalı ortamdaki diğer atomlara ilişkin dalga fonksiyonlarıyla örtüşmesidir. (Elektronlara ilişkin dalga fonksiyonlarını daha önce 19. Bölüm'de ele almıştık. Uygun biçimde kurgulanmış bir Schrödinger denklemiyle, atomlara ya da başka bir fiziksel varlığa ilişkin dalga fonksiyonları tanımlanabilir.) Dolayısıyla Fermi'nin modeli, bir gazın benzer atomlarının (ya da moleküllerinin) birbirinden ayırt edilebileceği varsayımına dayalı olan Boltzmann'ın modelinden ayrılır.

Fermi entropi hesaplamasında başarıya ulaşmak için, Boltzmann'dan bir başka kopuşa da yer vermek zorundaydı. İpucunu Pauli'den alarak, her kuantum durumunun ancak ve ancak bir atomu barındırabileceği yolundaki kuralı ekledi. Düşük sıcaklıklarda bile bütün atomların farklı kuantum durumlarında bulunması gerekir. Boltzmann'ın ayırt edilebilirlik kuralını devreden çıkarmak ve Pauli kuralını uyarlamak, Fermi'nin istediği entropi hesaplamasına ulaşmasını sağladı. Bu yeni istatistiksel modelini 1926'da yayımladı.

Kuantum mekaniği gereklerini karşılayacak değişiklikler yapılmış istatistiksel modellerin yararlarını ilk ortaya koyan kişi Fermi değildi. Fermi'nin makalesini yazmasından iki yıl önce, Hintli fizikçi Satyendranath Bose, ışığın ve diğer radyasyon biçimlerinin daha sonra foton adı verilen parçacıklardan oluşmuş bir ideal gaz gibi davrandığını belirten Einstein'ın yaklaşımına dayalı bir model önermişti. Onun vardığı sonuca göre, Einstein'ın ve Planck'ın radyasyon teorilerini bağdaştırmak mümkündü. Bunun yolu da fotonların ayırt edilemezliğini ve ayrıca her kuantum durumunun (Fermi'nin tek fotonlu modelinin tersine) herhangi bir sayıda fotonu barındırabileceğini kabul eden bir istatistiksel modele dayanarak Planck'ın radyasyon yasasını türetmektir.

Bose diğer bakımlardan bağdaşmayan Planck ve Einstein teorileri arasındaki bu bağlantıyı bulduğunda, bir teorisyen olarak henüz kariyerinin başındaydı. Yazdığı metni Einstein'a gönderdi. Einstein makaleyi beğenerek Almanca'ya çevirdi ve *Zeitschrift für Physik* dergisinde yayımlanmasını sağladı. Ayrıca şöyle bir not düşti: "Kanımca Bose'nin Planck formülünü türetmesi önemli bir ilerleme-yi ifade ediyor."

Fermi'nin istatistiksel modeliyle uğraştığı sıralarda, Paul Dirac da aynı ala-

nı daha geniş bir bakış açısıyla bağımsız olarak araştırıyordu. Fotonlara ilişkin Bose-Einstein modeli ile Dirac'ın atomlardaki elektronlar için önerdiği model arasında öne çıkan fark, tıpkı Fermi'nin teorisinde olduğu gibi, Pauli ilkesinin gereklerine dayanıyordu. Fermi'nin makalesi Dirac'ın makalesinden önce yayımlanmıştı ama Dirac kendi makalesinde buna hiç değinmedi. Daha sonraları bu eksikliği kabul ederken öne sürdüğü açıklama, Fermi'nin çalışmasını görmekle birlikte önemini kavrayamadığıydı. Bu tavra Fermi'den bir itiraz geldi. "Benim makalemi görmediğinizi varsaydığım için" diye yazdı Dirac'a, "sizden ilginizi esirgememenizi rica ediyorum."

Fermi-Dirac modeli atom ve elektronlarla, Bose-Einstein modeli de fotonlarla sınırlıydı ama sonraki gelişmeler iki modelin çok daha kapsayıcı olduğunu ortaya koydu. Günümüzün parçacık fizikçileri bütün parçacıkların, yani yalnızca elektronların ve fotonların değil, aynı zamanda protonların, nötronların, nötrinoların ve başka birçok parçacığın iki modelden birine uyduğunu varsayar. Dirac daha önceki bir çalışmayı gözardı etmenin günahını telafi etmek için, Fermi'nin (ve kendisinin) dizgesini izleyen bütün parçacıkların "fermion" olarak anılmasını önerdi. Benzer bir yaklaşımla, Bose-Einstein modeline uyan parçacıklar için "bözon" terimini ortaya attı.

Roma'da Fiziğin Yeniden Uyanışı

Fermi 1926 sonbaharında Roma'ya döndü. Büyük ölçüde Fermi'nin koruyucusu Orso Corbino'nun çabalarıyla Roma Üniversitesi'nde bir teorik fizik kürsüsü oluşturulmuştu. Fermi bu yeni görev için açılan yarışmayı kolayca kazandı. Böylece yirmi beş yaşında, Segrè'nin ifadesiyle "fiilen İtalya'daki bir üniversite kariyerinin doruğuna ulaştı."

Corbino ondan modern fiziği İtalya'ya getirmesini bekliyordu. Segrè'nin belirttiği gibi, "yeni bir kuşağın görevi devralması gerekiyordu ve Fermi bu kuşağın lideri olacaktı." Fermi'nin kendisini ve üzerinde çalıştığı konuyu ranıtmak için attığı ilk adım popüler konferanslar vermek ve ders kitapları yazmak oldu. Kitap yazma işini İtalya'nın kuzey kesimindeki Dolomitler adlı gözde dağlık kırlardaki yaz tatillerinde yürüttü. Segrè'nin aktardığına göre, çalışırken kimi zaman "yeterli miktarda kurşunkalemle ve ciltli boş defterle donanmış halde bir dağ çayırına yüzükoyun uzanıyor ve tek bir kitaba başvurmaksızın, hiç silgi kullanmaksızın (İtalyan kurşunkalemlerinde silgi yoktur) ve de tek bir kelimenin üstünü çizmek-sizin sayfa üstüne sayfa [yazıyordu]."

Fermi'nin gelişinden bir yıl sonra, Corbino bir başka yetiştirmesi olan genç deneyci Franco Rasetti'yi Roma'ya getirtti. Rasetti'nin "kararlı bir çenesi olan ve sabit bakışıyla insanın içini delen, upuzun ve seyrek saçlı bir adam" olduğunu anlatır bize Laura Fermi. Pisa'daki Scuola Normale'de sınıf arkadaşı olan Rasetti ve Fermi, haylazlıklarda hep suç ortaklığı yaparlardı. Yine Laura Fermi'den, bu muzipliklerin "genç hatunların onurunu kurtarmak için Pisa çatılarında su kovalarıyla yapılan kavgalar"dan "gerek meydan okuyanın, gerek meydan okunanın bilmediği nedenlerle yaratılan uydurma düellolar"a kadar uzandığını öğreniyo-

ruz. Sınıfta bir koku bombası patlattıkları böyle bir haşarılık, onları üniversiteden kesin kovulmanın eşiğine kadar getirmişti. Laura Fermi'ye göre, bu tür neşeli yaramazlıklarda elebaşı Rasetti'ydi: "Eğer onu sürükleyen ve peşine takan ... Franco Rasetti olmasa, Fermi'nin böyle bir yaşam tarzına kendisini kaptırmış olabileceğine inanmıyorum."

Fermi ve Rasetti'nin yanı sıra eski bir mühendislik öğrencisi Edoardo Amaldi ve Fermi'nin ilk lisansüstü öğrencisi Emilio Segrè, ünlü Corbino Roma Okulu'nun çekirdeğini oluşturdu. Corbino onlara "evlatlarım" diyordu. Hepsi genç, yetenekli, işine son derece bağlıydı ve yakında büyük buluşlar yapacaklarına inanmıştı. Fermi bu resmiyetten uzak ortamda grubun lideri konumundaydı. Teorik konularda yanılmaz olduğu için, aralarında ona taktıkları ad "papa"ydı. Fermi'yi daha sonraları tanıyan Otto Frisch, "böylesine gevşek ve gösterişsiz bir yaklaşımla her bakımdan başat bir konum kazanabilen başka bir kimseye rastlamadığını" belirtecekti.

Fermi'nin teorisyenlik üslubu her zaman pragmatik ve olabildiğince yalındı. Somut şeyleri amaçlardı ve soyut şeylerden kaçınırdı. Fermi'nin sonraki çalışmalarında yer alan bir başka meslektaşı Hans Bethe, onun üslubunu esas olarak Alman geleneğine dayalı üslupla şöyle karşılaştırır:

Fermi'nin teorik fizik yönteminin bende bıraktığı en büyük izlenim yalınlığıydı. Ne kadar çapraşık görünürse görünsün, her problemi analiz ederek esaslarına inmesini bilirdi. Matematiksel güçlükleri ve gereksiz formaliteleri soyup ayıklardı. Böylece çoğu kez yarım saatte ve hatta daha az bir sürede söz konusu temel fizik problemini çözebilirdi. Elbette matematiksel açıdan henüz tam bir çözüm elde edilmiş olmazdı ama bu tarz bir görüşmeden sonra Fermi'nin yanından ayrıldığınızda, matematiksel çözüm için nasıl bir yolun izleneceği kafanızda berraklaşırdı.

Bu metot benim için özellikle etkileyiciydi, çünkü bütün çalışmaların tam matematiksel çözüme göre yürütüldüğü Münih'teki Sommerfeld Okulu'ndan gelmiş biriydim. Sommerfeld Okulu'nda yetişmiş biri olarak, izlenmesi gereken yöntemin, önce probleme uygun diferansiyel denklemi (genellikle Schrödinger denklemi) kurmak, olabildiğince kesin ve incelikli bir çözüme varmak için matematiksel becerinizi kullanmak ve daha sonra bu çözümü tartışmaktır. Böyle bir tartışmada çözümün nitel özellikleri ortaya çıkarılır ve böylece problemin fizik yönü anlaşılır. Temel fiziğin zaten anlaşılmış olduğu durumlarda Sommerfeld'in tarzı yararlıdır ama son derece zahmetliydi. Soruya gerekli cevabı bulmanız birkaç ayı alırdı.

Fermi'nin bütün bu zahmete gerek duymadığını görmek son derece etkileyiciydi. Esasların analiziyle ve birkaç büyüklük katsayısı kestirimiyle fizik berrak hale geliyordu. Onun yaklaşımı pragmatikti. ...

Fermi iyi bir matematikçiydi. Gerektiği zaman ayrıntılı matematik işlemleri yapabiliirdi. Ancak, önce böyle bir zahmete değip değmeyeceğine emin olmak isterdi. Asgari çabayla ve matematiksel araçla sonuçlara varmanın bir ustasıydı.

Enrico Fermi Temmuz 1928'in sıcak bir gününde Laura Capon'la evlendi. Dört

yıl önce bir grup gencin topluca Roma'nın güneyine yaptığı bir kır gezisinde tanışmışlardı. Laura "siyah takım elbiseli, siyah fötr şapkalı, yuvarlak omuzlu, boyunu öne doğru eğik ve kısa bacaklı genç adamda" pek çekici bir taraf bulmamıştı ama onun eğlencenin başını çekerek kurduğu futbol takımında kalecilik görevini yapmıştı. İki yıl sonra bu sefer bir dağ tırmanışı gezisinde yeniden buluştular. Laura'nın "beni futbolcu yapan fıttırık çocuk" diye hatırladığı Fermi yine topluluğa yön veren kişiydi. Yirmi kilometrelik kondisyon kazanma yürüyüşünün rotasını belirledi ve hiçbir mazeret kabul etmedi. "Her zaman böyleydi" diye anlatır Laura. "Fermi öneride bulunur ve diğerleri iradelerini ona teslim ederek peşine düşerdi."

Futbol takımı kaptanı ve yürüyüş kolu kılavuzu 1926 sonbaharında artık Roma Üniversitesi'nde görevli "Profesör Fermi"ydi ama bir profesörden bekleneceği gibi "büyüklük taslayıcı mühim ve ağırbaşlı adam havası" taşımaktan uzaktı. "Daha yaşlı meslektaşlarında saygı uyandırabilen bu genç fizikçi, kendisini gençlerle aynı seviyede gösterme konusunda dikkate değer bir beceriye sahipti" diye yazar Laura. "Onunla hiç sakınmadan konuşabileceğimi de gördüm. Pazar günleri bir kır yürüyüşü ya da Roma'nın ana parkı Villa Borghese'de bir gezinti için ona ve grubuna sık sık katılıyordum. Aramızdaki dostluk hiç bozulmadı." Derken Laura 1928'in sıcak bir Temmuz gününde Fermi kumpanyasında hayat arkadaşı oluverdi. Laura Fermi bu mutlu evlilik hikâyesini *Atoms in the Family* adlı kitabında tatlı bir üslupla ve içtenlikle anlatır.

Beta Bozunumunun Devamı

1920'lerin sonlarında ve 1930'ların sonlarında teorisyenler, radyoaktif elementlerin salımlarında rastlanan β parçacıklarının davranışı karşısında şaşkın ve çıkmaza girmiş durumdaydı. Beta parçacıklarının geniş bir yelpazeyi kapsayan enerjilerle radyoaktif çekirdeklerden salındığı apaçıktı. Peki ama nereden geliyorlardı? İlk teorilerdeki basit varsayıma göre, protonlarla birlikte çekirdeklerde yer alan elektronlar ara sıra β parçacıkları halinde kurtulup kaçıyorlardı. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi, bir çekirdeğe bağlı tutulan bir elektronun konum belirsizliğinin (Heisenberg eşitsizliğinde Δx) çok küçük olacağını, dolayısıyla çekirdek elektronunun kararlı olmaması için momentum belirsizliğinin (Δp_x) çok büyük olması gerekeceğini göstererek, bu anlayışa son verdi.

Beta parçacıklarının bir başka gizemi enerjisi tayflarıydı: Sıfırdan başlayıp genellikle büyük bir maksimum değere kadar uzanan kesintisiz bir yelpaze içinde herhangi bir enerji taşımaları mümkündü. Bu özellik Wolfgang Pauli'yi meslektaşlarına iletmişti ("Sevgili Radyoaktif Hanımlar ve Beyler" girişli) bir mektupta, pek de inanmamış bir tavırla her β parçacığının yokluk sınırındaki bir başka parçacıkla birlikte belirdiğini önermeye yöneltti: Bu parçacığın elektrik yükü yoktu ve kütlesi de neredeyse yok denecek kadar düşüktü.

Fermi tuhaf görünmekle birlikte Pauli'nin hayalete benzer parçacığını kabul etti ve "nötrino" (küçük nötron) olarak adlandırdı. Ayrıca kısa bir süre önce Heisenberg'in ortaya attığı görüşü, yani çekirdeğin iki esas yapı taşı proton ve

nötron olarak kabul eden, böylece elektronları çekirdek ortamının dışına çıkaran yaklaşımı da benimsedi. Elektronların β parçacıkları gibi görünmesini açıklamak için, bir etkileşim teorisi kurdu. Günümüzde bilinen adıyla bu “zayıf etkileşim” bir nötronun belli ettiği alanda yer alır ve bir proton, bir elektron ve bir nötrino ortaya çıkarır. Süreç sembollerle şöyle belirtilir:

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \nu$$

Burada n , p^+ , e^- ve ν sırasıyla nötron, proton, elektron ve nötrino parçacıklarını ifade eder. (Zayıf etkileşimdeki nötrino aslında bir anti-nötrinodur, anti-parçacıklar ve anti-madde sonraki bölümde ele alınacaktır.)

Radyoaktif çekirdek bozunumuna epeyce benzeyen bir nötron bozunumu süreci söz konusudur burada. Çekirdeğin içinde ya da dışında olsun, her nötron bu yoldan bozunabilir. Süreç nötronu (bozunum orada gerçekleşmişse, çekirdek içinde kalan) bir protona dönüştürür ve (çekirdeğin dışında ortaya çıkan) bir elektron-nötrino çifti yaratır. Fermi teorisinin matematiksel çatısını kurarken, etkileşime yol açan alanı kuantum mekaniğinde “Hamilton fonksiyonu” olarak bilinen bir matematiksel yapıyla ifade etti. Teorisini özetle şöyle ortaya koydu: “Elektronlar (ya da nötrinolar) yaratılabilir ya da yok olabilir. ... Ağır ve hafif parçacıklardan oluşan sisteme ilişkin Hamilton fonksiyonu öyle seçilmelidir ki, nötrondan protona her geçişe bir elektron ve bir nötrino yaratımı eşlik etsin. Tersine sürece, yani bir protonun değişip nötron haline gelmesine de bir elektronun ve bir nötrinonun yok oluşu eşlik etmelidir.”

Fermi teorisine ilişkin bir açıklamayı Aralık 1933'te İngiliz dergisi *Nature*'a gönderdi ve ömür boyu gücenklik duymasına yol açan bir gelişmeyle, makalesi “okurların ilgisini çekmeyecek kadar gerçeklikten uzak spekülasyonlar içerdiği için” geri çevildi. Ancak daha uzun bir versiyon iki bölüm halinde *Zeitschrift für Physik*'te çıktı. Bu metin günümüzde Fermi'nin en önemli teorik makalesi sayılmaktadır.

Nötron Çalışması

Başkaları onun attığı temeller üstünde yapılar geliştirmeye sevinçle girişirken, Fermi β bozunumu teorisi üzerine başka bir şey söylemedi. Tam fizikçi daha sonra deneysel çalışmalara yöneldi. Paris'teki Joliot-Curie çifti, bor ve alüminyum atomlarını enerji dolu α parçacıklarıyla bombardımana tutarak yeni radyoaktif nitrojen ve fosfor izotopları yaratılabildiğini bildirmişti. Başka noktaların yanı sıra, elektrostatik açısından dikkate değer bir dersti bu: Çekirdekler ve α parçacıkları her ne kadar pozitif yüklü ve dolayısıyla birbirlerini itmeye eğilimli (elektrostatik kurallarına göre benzer yükler birbirlerini iter, karşıt yükler birbirlerini çeker) olsalar da, elektrostatik engelin üstesinden gelebiliyor ve birleşerek radyoaktif çekirdekler yaratabiliyorlardı. Hiç yük taşımayan nötronların bombardıman parçacıkları olarak kullanılması durumunda ne olurdu acaba? Fermi bunun nükleer süreçlerde çok daha randımanlı olacağını bekliyordu. Bu görüşünde haklıydı ama bazı sürprizlere hazırlıksızdı.

Fermi bu projesine tak başına girişti. Grubun deneycisi Rasetti uzun süreli bir tatil için Fas'a gitmişti. Fermi üniversitenin fizik binasında kalan Profesör Giulio Trabacchi'nin yardımıyla bir nötron kaynağı kurdu. Halk Sağlığı Dairesi'nin fizik laboratuvarı direktörü olan Trabacchi yeterince donanımlıydı. Ayrıca iyi bir örgütçü olduğu için, fizikçilerin ihtiyaç duyduğu malzemeleri ve araçları temin etme yolunu hemen her zaman bulan biriydi. Fizikçiler arasında da "İlahi Lütuf" diye anılırdı. Bu sefer en büyük armağanda bulunarak, tek gramlık radyum stokundan elde edilen düzenli bir radon tedarikini sağladı. Fermi, daha önce Chadwick'in yaptığı gibi, radonun saldırdığı α parçacıklarıyla berilyumu bombardımana tutarak bir nötron kaynağı oluşturdu. Deney planı basitti: Nötronlarla farklı elementleri bombardımana tutacak ve Joliot-Curie çiftinin yaptığı gibi, harekete geçen bir radyoaktivite olup olmadığını saptamaya çalışacaktı. Laura Fermi bu ilk nötron deneylerinin hikâyesini şöyle anlatır:

Bir metot adamı olan [Fermi] maddeleri gelişigüzel bombardımana tutmak yerine, en hafif element hidrojen den başlayan ve elementlerin periyodik tablosuna uyan bir sıra izledi. Hidrojen bir sonuç vermedi: Suyu nötronlarla bombardımana tuttunda hiçbir şey olmadı. Ardından lityumu denedi ama yine talihi yaver gitmedi. Berilyuma, ardından bor, karbon ve nitrojene geçti. Hiçbiri aktifleşmedi. Enrico tereddüde düştü, şevki kırıldı ve araştırmalarından vazgeçme noktasına kadar geldi. Son olarak bir element daha deneyecekti. Oksijenin radyoaktif hale gelmeyeceğini önceden biliyordu, çünkü ilk bombardımanı suya dönük olarak yapmıştı. Bu nedenle flüoru radyasyona tuttu. Yaşasın! Uğraşlarının semeresini almıştı. Flüor güçlü bir aktivite kazandı, periyodik tabloda flüordan sonra gelen diğer elementlerde de aynı şey oldu.

Fermi umut verici yeni bir araştırma yolunu açmıştı ve bunu değerlendirmek için hemen harekete geçti. Amaldi ve Segrè projeye katıldı, Rasetti Fas'tan çağrıldı ve Paris'te Curie Enstitüsü'nde eğitim görmüş olan Oscar D'Agostino adlı bir radyokimyacı kürsü kadrosuna alındı.

Grup çok geçmeden bombardıman mermileri olarak nötronların bazı garip özellikler taşıdığını belirledi. Öncelikle, tahta masalar gizemi söz konusuydu. Amaldi bunu şöyle anlatır: "Karanlık bir odadaki spektroskopun yakınında muçizevi özelliklere sahip bazı tahta masalar vardı. Bu masalar üstünde radyasyona tutulan gümüş, aynı odadaki mermer masa üstünde radyasyona tutulan gümüşe oranla çok daha fazla aktivite kazanmaktaydı."

Fermi bu aykırı durumu çözmek için bombalayıcı nötronları bir kurşun kısıyla filtre etmeye karar verdi ve ardından pek de anlayamadığı nedenlerle bu fikrinden vazgeçti. Daha sonraları bir röportajda, ikircikli tavrını şöyle açıklayacaktı:

En önemli saydığım buluşuma nasıl vardığımı anlatayım size. Nötronun harekete geçirdiği radyoaktivite üzerine çok sıkı biçimde çalışıyorduk ve elde ettiğimiz so-

nuçlar pek anlamlı değildi. Bir gün laboratuara girdiğimde, saçılan nötronların önüne [nötron kaynağı ile hedef arasına] bir parça kurşun yerleştirmenin yaratacağı etkiyi incelemem gerektiği fikri aklıma geldi. Alışlagelmiş huyumun aksine, kurşun parçasının tam ölçülere göre biçilmesi için bayağı emek harcadım. Besbel-li ki tatmin olmadığım bir şeyler vardı. Kurşun parçasını yerine koymayı ertelemek için her türlü bahaneyi denedim. Sonunda biraz gönülsüzce parçayı yerine koya-cağım sırada, kendi kendime şöyle dedim: "Hayır, bu kurşun parçasının burada ol-masına gönlüm elvermiyor, bir parça parafin koymak istiyor canım." Gelişkin bir uyarıcı dürtü olmaksızın, akıl yürütme öncesinde bilinçsizce öylesine içime doğan bir şeydi bu. Derhal eski bir parafin parçası aldım ve kurşunun konacağı yere bu-nu yerleştirdim.

İşte efsanevi Fermi sezgisinin devreye girdiği bir an. Kurşun kısıki pek ilgi çekici bir sonuca yol açmayacaktı. Parafin kısıki ise, daha sonra birilerinin belirttiği üze-re, "kara büyü"ydü: Araya konmasıyla birlikte, nötronun harekete geçirdiği rad-yoaktivite çarpıcı boyutlarda arttı.

Fermi'nin teorisyen yönü öne çıktı ve birkaç saat içinde parafin etkisine bir açıklama getirdi. Kaynaktan gelen nötronlar çıkışta "hızlı"ydı, yani yüksek ener-jiliydi. Ama parafinden geçerken bilardo topu gibi hidrojen çekirdeklerine çarp-maktaydı (parafin bir hidrokarbondur) ve her çarpışmada enerjisinin kayda de-ğer bir bölümünü yitirmekteydi. Bu yavaşlatıcı ya da "ılımlştırıcı" etki, kaynak-tan gelen hızlı nötronları "yavaş nötron"lara çevirmekteydi. Yavaş nötronlar gü-müş (ve diğer) çekirdeklerin yanından geçerken ağır çekirdeklerce soğurulmanın daha uzun sürmesini sağlamakta ve böylece aktivasyona yol açmaktaydı. Tahta hidrojen içerir, mermerde ise hidrojen yoktur. Fermi'nin varsayımına göre, tah-ta ve mermer masaların yol açtığı tuhaf olay bununla açıklanabilirdi. Hans Bet-he'nin nükteli ifadesiyle, yavaş nötronların etki gücü "İtalya'nın mermerce zen-gin olmaması halinde, belki hiç bulunmayabilirdi."

Bombardıman inermileri mühimmatına yavaş nötronların katılmasıyla bir-likte, Fermi ve grubu yeni etkileri saptamak amacıyla elementler listesini bir da-ha elden geçirdi. Ve periyodik tablonun sonundaki uranyuma gelince, kafaları karıştı. Uranyuma dönük yavaş nötron bombardımanında gözlemledikleri akti-vitelerin yarı-ömürleri 15 saniye, 13 dakika ve 100 dakikaydı. Periyodik tabloda kurşun ve uranyum arasındaki elementlerin yeni aktivitelere yol açmadığını sap-tadıkları için, gözlemlenen aktivitelerin bir uranyum izotopundan ve element 93 ile element 94'ten, yani ardışık β bozunumu olaylarından kaynaklanan yeni uranyum-ötesi elementlerden geldiği tahminini yürüttüler. Eğer element 93 ve element 94 izotopları var olsaydı, Fermi ve meslektaşları kararsız yapıya sahip olan ve doğada bulunmayan iki yapay element imal ettiklerini öne sürebilirler-di. "Bilinen olgularla tutarlı en basit yorum" diye yazdılar 1935'te, "15 saniyelik, 13 dakikalık ve 100 dakikalık aktivitelerin muhtemelen sırasıyla 92, 93 ve 94 atom sayılarına ve 239 atom ağırlığına sahip zincirleme ürünler [ardışık β bozu-numu ürünleri] olduğunu varsaymaktır."

Heyhat, fizikte en basit yorum, her zaman tam ya da doğru yorum değildir. Uranyuma dönük nötron bombardımanının bütün hikâyesi, Fermi ve çalışma arkadaşlarının tasavvur ettiğinden çok daha çapraşıktı. Meitner, Frisch, Hahn ve Strassmann bir süre sonra, 1938'de hızlı ya da yavaş bir nötron kapmanın, fizyon yoluyla uranyum çekirdeğinin aşağı yukarı aynı kütleyle sahip iki parçaya bölünmesine yol açabileceği sonucuna vardılar. Fermi'nin gözlemlediği aktiviteler belliydi ki uranyum-ötesi izotoplara değil, bu fizyon parçalarından birkaçına bağlıydı. Hiç kuşkusuz nötron bombardımanında element 93 ve element 94 de ortaya çıkmaktaydı ama Fermi ve çalışma arkadaşları bunları gözlemleyip tanımlamış değillerdi.

Uranyumun yarattığı kafa karışıklığı laboratuvarın ötesine de taşıdı. Fermi'nin koruyucusu Orso Carbino, yetiştirmesinin başarılarını reklam etmeye her zaman teşne biri olarak, antik çağdan kalma Vaşaklar Akademisi'nde yaptığı önemli bir konuşmada, dinleyicilerine en azından element 93'ün kesin bir şey olduğu teminatını verdi: "Günü gününe izlemekte olduğum araştırmaların seyrine bakarak, bu elementi üretmenin halihazırda kesinlikle doğrulanmış olduğu sonucuna varabileceğim görüşündeyim." Daha da garip bir cilveyle, Fermi 1938'de (Meitner, Hahn, Frisch ve Strassmann'ın bu konuyu düzeltmesinden hemen önce) kısmen "yeni radyoaktif elementler" buluşundan dolayı Nobel Ödülü kazandı.

Fermi nötron çalışmasını tamamladıktan kısa bir süre sonra, 1934'te Rutherford'dan, içini belki rahatlatan, belki de rahatlatmayan şöyle bir tebrik mektubu aldı:

Sevgili Fermi,

Nötronlar aracılığıyla bir dizi elementte geçici radyoaktivite oluşturmaya yönelik son deneylerinize ilişkin bir dökümü bana gönderme inceliğini gösterdiğiniz için teşekkür etmeliyim. Vardığınız sonuçlar çok ilginç. ...

Teorik fizik alanından başarıyla sıyrılıp kurtulduğunuz için sizi kutlarım! Hareket noktası olarak iyi bir çizgi yakalamış gibi görünüyorsunuz. Profesör Dirac'ın [İngiltere'nin 1920'li ve 1930'lu yıllardaki en tanınmış teorisyeni] aynı alanda bazı deneyler yapmakta olduğunu öğrenmek belki ilginizi çekebilir. Bu durum teorik fiziğin geleceği açısından iyi bir belirti gibi görünüyor!

Tebriklerimi ve en iyi dileklerimi iletirim. İçten sevgilerimle, Rutherford

Amerikan Şubesi

Fermi'nin şöhret basamaklarını tırmandığı 1920'lerin başları, İtalya'da Benito Mussolini yönetiminde bir faşist diktatörlüğün yükselişine de sahne oldu. Çoğu çalışma arkadaşı gibi Fermi de apolitikti ama aynı zamanda hırslıydı. Mussolini'nin kurdurduğu İtalya Akademisi'ne üye olması için 1929'da yapılan öneriyi kabul etti ve Segrè'nin belirttiği gibi, "kendisini otomatikman faşist kodamanlar arasında buldu." Ancak zorunlu unvanların ve kılık kıyafetin geçerli olduğu yüksek sosyete Fermi'nin doğal hayat ortamına uygun değildi. Davet edildiği resmi törenlere katılmaktan mümkün mertebe kaçındı. Bir keresinde, veli-

aht prensin nikâhının kıyıldığı günü laboratuvarında geçirmeyi tercih etmişti. Segrè o gün “laboratuvarına giderken” başına gelenleri şöyle aktarır:

Geçit töreni güzergâhında bulunduğu için trafiğe kapatılan ve tek sıra dizilmiş askerlerce korunan bir caddeden geçmesi gerekiyordu. Cafcaflı akademi üniforması yerine günlük giysileri içinde ufak kültür arabasını süren Fermi, her nedense davetiyesini cebinde taşıyordu ve askerler tarafından durdurulunca hemen bunu bir subaya gösterdi. “Ben Ekselans Fermi’nin şoförüyüm” dedi. “Onu nikâh törenine götürmem gerekiyor. Lütfen, asker saflarından geçmeme izin verir misiniz?” Böylece asker saflarını aştı ve geri kalan gününü laboratuvarında geçirdi.

Fermi’nin 1937’ye kadar izlediği siyasal tutum, ne faşistlerden yana ne de faşistlere karşı bir kişi olarak, Mussolini rejimiyle birlikte yaşamayı kabul edilebilir ve işe yarar bir çizgide sürdürmektir. Derken İtalya’nın Hitler yönetimindeki Almanya’yla güç birliğine girmesiyle birlikte, siyasal ve ideolojik hava keskin bir dönüşle kötüye doğru gitti. Bu ortaklık başından itibaren Hitler’in damgasını taşıyordu. 1938’e varıldığında, Nazi ırkçı yasalarına dayalı modeller İtalyan topluma dayatılmış, Yahudiler’i işten çıkarına ve taciz etme uygulamaları başlamıştı. Laura Fermi Yahudi asıllıydı. Eylül 1938’de ilk anti-Semitik yasaların yürürlüğe konması üzerine, Fermi çifti en kısa sürede İtalya’dan ayrılmaya karar verdi.

Önlerine şanslı bir kaçış yolu çıktı. Fermi’nin fizik dalında 1938 Nobel Ödülü’nü alacağı haberi zamanından önce geldi. Karı koca ellerindeki İtalyan literetlerini harcamak için felekten bir gün çaldılar, ödülü almak üzere Stockholm’e yolculuk ettiler ve ardından yakın dostları dışında kimseye haber vermeksizin dosdoğru bir gemiye bindiler ve Fermi’nin daha önce Columbia Üniversitesi’nde bir görevi kabul ettiği ABD’nin yolunu tuttular.

Laura Fermi’ye göre, bu yolculuğun sonuna geldikleri soğuk bir Ocak günü onlarda çatışan duygular uyandırmıştı. “Çok geçmeden kurşunu gökyüzünde New York silueti önce soluk hatlarla, ardından keskin çentiklerle belirdi ve Özgürlük Heykeli bize doğru ilerlemeye başladı. Henüz bize verecek mesajı olmayan soğuk, devasa bir metal kadındı bu.” Laura kocasına dönmüş ve o da “deniz güneşiyle yanıklaşmış yüzünü aydınlatan bir gülücükle, ‘Fermi ailesinin Amerikan şubesi ni kurmuş bulunuyoruz’ [diye karşılık vermişti].” Oysa anayurtlarından birdenbire koparılmışlardı. “Bu bir Amerikan ailesi değil” diye geçirmişti içinden Laura. “Henüz değil.”

Manhattan Mühendis Mahallesi

Fermi ailesinin Atlas Okyanusu’nu geçtiği sıralarda, Lise Meitner ve Otto Frisch nükleer fizyon fikrini buldular. Frisch’in buluşu bildirdiği Niels Bohr’la birlikte haber Ocak 1939’da Amerika’ya ulaştı. Fermi ve diğer nötron uzmanları hayran kalmışlardı. Fizyona büyük ölçüde nadir U^{235} izotopunun yavaş nötronları kapmasının yol açtığı ve her fizyonun tükettiğinden daha fazla nötron ürettiği çok geçmeden saptandı.

Nötron çoğalması, dikkatlice kurulmuş bir uranyum çatkısının olağanüstü yüksek düzeyde enerjiyi açığa çıkaracak biçimde zincirleme fizyon tepkimelerini sürdürebilmesi gibi kaygı verici bir olanağı gündeme getirdi. Bu zincirleme tepkime bir elektrik santralında enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere kontrol altına alınabileceği gibi, eşi görülmemiş yıkıma yol açabilecek bir nükleer bomba da kontrol dışına da çıkabilirdi. Fizikçiler bu gelişmeleri tartışırken, Avrupa'da II. Dünya Savaşı patlak verdi ve kısa bir süre önce Avrupa'dan gelmiş mülteci bilimciler için, Alman bilimcilerin elinde bir nükleer silah bulunması tehlikesi azil ve ürkütücü bir hal aldı. 1939 yazında üç mülteci Macar fizikçisi Leo Szilard, Eugene Wigner ve Edward Teller konuya sahip çıktılar. Başkan Roosevelt'e gönderilecek bir mektup hazırladılar ve Einstein'ı da metni imzalamaya ikna ettiler. Bu mektupta şöyle bir uyarı yer alıyordu: "Uranyum elementi yakın gelecekte yeni ve önemli bir enerji kaynağına dönüştürülebilir. ... Bu yeni fenomen bombalar yapılmasına da yol açacaktır ve her ne kadar daha az kesin olsa bile, son derece güçlü yeni tipte bombaların bu yolla üretilebilmesi akla yakındır."

ABD hâlâ içe kapanmacı bir yaklaşım içindeydi ve uyarı pek etkili sayılmayacak bir karşılık gördü: Küçük bir fon tahsis edildi ve hantal yapılı bir Uranyum Danışma Komitesi atandı. Ancak yaklaşık bir yıl içinde Alman ordularının Avrupa'da ilerlemesiyle birlikte, ABD'de savaş hazırlıkları somut bir nitelik kazandı. Savaşla bağlantılı bilimsel çabaların bürokratik örgütlenmesi başladı. Uranyum Komitesi'nin de bağlı olacağı Ulusal Savunma Araştırma Konseyi (NDRC), ardından daha geniş ve kapsayıcı Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Bürosu (OSRD) kuruldu. OSRD'nin başına açık sözlü ve uyanık bir idareci olan Vannevar Bush adlı fizikçi ve mühendis, NDRC'nin başına ise bir organik kimyacı ve eski bir Harvard rektörü olan James Bryant Conant getirildi. Nükleer girişimler hâlâ esasen teorik düzeydeydi ama bir bomba projesi de biçim almaktaydı. Bir bombanın hazırlanması için, fizyona uygun ama nadir U^{235} izotopunun daha bol U^{238} izotopundan ayrılması gerektiği açıktı. Bu da devasa bir görev sayılırdı, çünkü büyük miktarlara ihtiyaç vardı ve iki izotopun kimyasal özellikleri tıpatıp aynı, fiziksel özellikleri de yalnızca biraz farklıydı. Berkeley'de Glenn Seaborg ve çalışma arkadaşları, artık tanımlanan ve "plütonyum" olarak adlandırılan element 94'ün kullanılacağı bir başka bomba yapım yolunu bulmuşlardı. Tıpkı U^{235} gibi, plütonyum izotopu Pu^{239} da fizyona uygundu ve kontrollü zincirleme uranyum tepkimesinin bir yan ürünü olarak hazırlanabilirdi.

Japonlar'ın 1941 sonlarında Pearl Harbor'ı bombalaması, uranyum projesine yeni bir ivme kazandırdı. İzleyen iki yıl boyunca, fizik, büyük ölçüde yerini mühendisliğe bıraktı. Tennessee eyaletindeki Oak Ridge'deki geniş bir gaz dağıtım tesisinde U^{235} 'i U^{238} 'den ayırmak üzere altyapı hazırlama çalışmaları başlatıldı. Berkeley'de Pu^{239} 'u izole etmeye yönelik bir elektromanyetik süreç geliştirildi. Zincirleme uranyum tepkimesi önce Chicago'da Fermi tarafında küçük ölçekte güvenli biçimde dizgin altına alındı, ardından Washington eyaletinin Richland kasabası yakınında, Pu^{239} üretimi için aynı işlem çok daha büyük ölçekte gerçekleştirildi. Bir yandan bu çabalar ilerlerken, fizikçilerin, kimyacıların, mün-

dislerin ve matematikçilerin yer aldığı seçkin bir grup bombayı tasarlamak, yapmak ve denemek üzere New Mexico'da Los Alamos denen ıssız bir yerde toplandı.

1942 sonlarına varıldığında, bu azman girişim artık OSRD'nin öngörülen ivedilikle üstesinden gelebileceği boyutların ötesine geçmişti ve bütün proje ordunun, özel olarak da Kara Kuvvetleri İstihkâm Kolordusu'nun eline bırakıldı. Projenin başına getirilen kişi ise ordunun iş bitirici komutanlarından Tuğgeneral Leslie Groves'tu. Daha önce Pentagon inşaatında denetçi olarak görev yapmış olan Groves, yeni proje için verilen bütçeyi ilk başta pek önemsemedi. Sırf bir kod ad sağlama düşüncesiyle, bütün bomba girişimine "Manhattan Mühendis Mahallesi" adını verdi. Bu ad kısa sürede "Manhattan Projesi" olarak kısaltıldı.

Groves büyük ölçüde akademik dünyadan gelmiş yeni çalışma arkadaşlarından ancak bu kadar farklılık taşıyabilirdi. Fizik hakkındaki bilgileri neredeyse hiç sınırındaydı, incelikten pek nasibini almamıştı ve kimi zaman dediğini kabadayılıkla yaptırıyordu, ancak çetin inşaat projelerinin altından nasıl kalkılacağını bilen biriydi. Groves'la görüştüktan sonra, Bush bir bilgi notuna "Korkarım, başımıza fena bir dert sardık" diye yazmıştı ama Groves'u işbaşında görünce çarçabuk fikrini değiştirdi. Groves'un yaveri Yarbay Kenneth Nichols, bu yetenekli generalle birlikte çalışmayı şöyle anlatır:

[O] hayatımda tanıdığım en büyük puştlardan biri ama aynı zamanda en becerikli kişilerden biriydi. Hiç kimseden aşağı kalmayan bir egosu, tükenmek bilmez bir enerjisi vardı. İrkiyım, ağır bir adam olmasına karşın, sanki hiç yorulmazdı. Kararlarında mutlak bir özgüvene sahipti ve çözmeye çalıştığı bir probleme yaklaşımı kesinlikle acımasızdı. Ama onunla birlikte çalışmanın güzel tarafı da buydu: Alınan kararlar ya da bunların getireceği sonuçlar konusunda endişe duymanıza asla gerek kalmazdı. Aslında şunu sıkça düşünmüştümdür: Eğer üstleneceğim görevi yeni baştan belirleme şansım olsaydı, üstüm olarak Groves'u seçerdim yine. Bıkkınlığından nefret ederdim ve herkes de aynı duyguyu beslerdi ama ona karşı kendimize özgü bir anlayış edinmiştik.

Tenis Kortundaki İstif

Fermi 1939'da New York'a varmasından kısa bir süre sonra, zincirleme uranyum tepkimesini sürdürecektir bir deney tasarlama gibi zorlu bir işe girişti. Malzeme açısından bakıldığında, iki şeye ihtiyacı vardı: Fizyona uygun uranyum, yani nadir U^{235} izotopu ve fizyon olaylarında ortaya çıkan hızlı nötronları yavaşlatarak daha fazla fizyona yol açmalarına yol açacak güçte bir "ılımlaştırıcı" araç. U^{235} 'i bol bulunan U^{238} 'den ayıracak büyük çaplı tesisler daha birkaç yıllık geleceğin işiydi. Bu yüzden Fermi'nin yalnızca yüzde 0,7 oranında U^{235} içeren doğal uranyumu kullanmaktan başka seçeneği yoktu. Bunun anlamı da, nasıl bir yöntemle kurulursa kurulsun, zincirleme tepkime çatkısının tonlarca uranyum ve ılımlaştırıcı gerektireceğiydi.

Fermi ılımlaştırıcı için, hızlı nötronları verimli biçimde yavaşlatmaya yetecek ölçüde hafif karbon atomlarına sahip grafiti seçti. Grafit aynı zamanda oda

boyutunda bir deney çatkısının kurulması için gerekli yapısal bütünlüğe sahipti. Fermi bu çatık için biçim verilmiş uranyum topakları örgüsünü destekleyen grafit tuğlalarından oluşacak bir tasarımı benimsedi.

Bu yapısal özelliklerin ötesinde, Fermi'nin verdiği adla bu "istif"i tasarlamak bir nötron bütçesi meselesiydi. Zincirleme tepkimeyi sürdürmek için, fizyon olaylarında üretilen nötronların diğer süreçlerde yitirilen nötronlardan daha fazla olması gerekirdi. Bazı nötronlar grafit yapının yüzeylerinden kaçmakta, bazı nötronlar ise fizyon dışı olaylarda uranyum ya da başka çekirdekler tarafından soğurulmaktaydı. İkinci türden kayıplar grafitte asgari düzeydedir. Grafitin karbon çekirdeklerinin nötronlara dönük çok az iştahı vardır. Daha belirgin bir ılımlaştırıcı olan suyun böyle bir avantajı yoktur.

Fermi tek bir orijinal nötronun ürettiği ikincil nötronların ortalama sayısını hesaplamak üzere "üretim faktörü" denen ve k sembolüyle gösterilen bir performans faktörü benimsedi. Nötronlar fizyon olayı "kuşak"ları halinde ortaya çıktığını düşünürsek, orijinal nötron birinci kuşakta k , ikinci kuşakta k^2 , üçüncü kuşakta k^3 vb düzeyinde nötron üretir. Eğer $k < 1$ olursa, bu sayılar her kuşakta küçülür ve zincirleme sönümlenir; eğer $k > 1$ olursa, bu sayılar gittikçe büyür ve zincirleme ayrılarak zamanla kontrol dışına çıkar. Eğer $k = 1$ olursa, zincirleme düzenli bir tempoda ilerler, böylece nötron üretimi ve kaybı dengede olur.

İlk iş olarak Fermi ve grubu "kritik nokta altı çatıklar", yani $k < 1$ durumunun söz konusu olduğu çatıklar halindeki uranyum ve grafit ilişkili hayati verileri derledi. Bu istifler zincirleme nükleer tepkimeyi sürdürmeye yetecek kadar büyük değildi ama Columbia kampusunda ayrılan alanı daha şimdiden doldurma yolundaydı. Benzer bir çalışma Chicago Üniversitesi'nde "Metalürji Laboratuvarı" kod adı verilen bir yerde yürütölmekteydi. Manhattan Projesi kapsamındaki nükleer araştırmaların hepsini yöneten Arthur Compton, 1942 başlarında bütün istif araştırmalarının Chicago'da toplanmasına karar verdi.

Daha bir süre önce New Jersey banliyö kasabalarından Leonia'ya artık kalıcı olmak üzere yerleştiklerini sanan Fermi ailesi mensupları için yeni bir taşınma haberi hiç de hoş değildi. O sırada "dik yamaçlı deniz sahilinde geniş bir çimenliği ve küçük bir havuzu olan, bodrum katı epeyce rutubetli bir evin mutlu sahipleri" konumuna ulaştıklarını yazar Laura Fermi. Bir anne olarak çocuklarını "dizlerine bulaşan toz toprağın New York'taki gibi külrengi değil, katıksız kahverengi olduğu" bir yerde büyötmekten memnundu. Amerikalı banliyö sakinlerinin kusursuz çimen manyaklığını (arsız yabancı otların niçin düşman gibi göröldüğünü) anlamaya da başlıyordu. Fermi birkaç ay boyunca zamanını Chicago ile New York arasında böldü ama Haziran 1942'de aile bürokrasiye boyun eğdi, deniz sahilindeki çimenliğe elveda dedi ve Chicago'da üniversiteye yakın bir kiralık eve taşındı.

Fermi ve ekibinin sonraki hedefi, k yeniden üretim faktörünün birden (çok azıcık) büyük olduğu tam ölçekli bir "kritik çatık"ydı. Fermi'nin kritik istifini Chicago Üniversitesi kampusu içinde, üniversite stadyumunun batı tribünü altındaki bir duvar tenisi kortunda kurma planının Arthur Compton tarafından

onaylanması hem Fermi'nin özgüveninin hem de Compton'ın ona duyduğu güvenin çarpıcı bir göstergesidir. Compton bu kararını normal alışkanlığına aykırı bir tavırla üniversitenin rektörü Robert Hutchins'e danışmaksızın çarçabuk verdi. Manhattan Projesi'nin gelişim sürecini kaleme almış en iyi yazarlardan biri olan Richard Rhodes, onun "bir avukattan, bir nükleer fizik konusunda hükme varmasını istememek gerektiği" düşüncesiyle hareket ettiğini belirtir. "Erime kelimesi henüz nükleer mühendislerin sözcük dağarcığına girmemişti ve Fermi bu özelliği yaratmaya daha yeni koyulmuştu ama Compton'ın göze aldığı risk buydu, yani kalabalık bir şehrin ortasında küçük çaplı bir Çernobil. Aradaki tek fark Fermi'nin müthiş ehil bir mühendis olduğunu bilmesiydi."

Compton'ın içini rahatlatan şey, Fermi'nin istifi kontrol etmeye ilişkin titiz planıydı. Başlıca kontrol aygıtı bir dizi "kontrol çubuğu"ydı. Bunlar üstüne kadmiyum levhaları çakılmış olan ve istifin içine daldırılıp çekilebilen tahta değneklerdi. Kadmiyum bir tür etkili nötron süngeri gibi davranır. Bu nedenle kontrol çubukları tam daldırıldığı zaman, nötronlar istifi kritik nokta altında tutmaya yetecek kadar düşük sayıda kalmaktaydı. Kritik düzeye ulaşmaya yetecek kadar büyük bir istifte kontrol çubuklarının yavaşça çekilmesi, k yeniden üretim faktörünün artarak sonunda birden büyük değerlere varmasını sağlayacaktı. Fermi ayrıca doğanın şükran duyulacak bir nimetinden haberdardı. Bir istifte yaratılan nötronların hepsi "tez canlı" değildir, yani fizyon olaylarında derhal ortaya çıkmazlar. "Gecikmiş nötronlar" denen küçük bir kısım birkaç saniye sonra belirir. Fermi gecikmiş nötronların bu talihli etkisiyle nötron sayısındaki artış hızının yavaşlayacağını, böylece istif operatörlerinin herhangi bir tehlike belirtisinde harekete geçmesine olanak vereceğini öngörmekteydi.

Laura Fermi, altı ton uranyum, 40 ton uranyum oksidi ve 385 ton grafit içeren Chicago Bir Numaralı Istifi'nin (CP-1) Aralık 1942 başlarında güvenli biçimde kritik noktaya getirilmesi sırasında, buz gibi soğuk bir günde yaşanan olayların dramatik bir anlatımını sunar bize:

İlk grafit tuğlalarının döşenmesinin üzerinden henüz altı hafta geçmişti ve tarih 2 Aralık'tı.

Herbert Anderson [Fermi'nin istif tasarımında birlikte çalıştığı kişilerden biri] uykulu gözlerle homurdanıp duruyordu. Istife son biçimi verecek düzeltmeler için gece yarısı saat ikiye kadar ayakta kalmıştı. Gece bir kontrol çubuğunu şöyle çekilirse, istifi çalıştırarak en azından maddi, mekanik anlamda bir zincirleme tepkimeyi başarmış ilk kişi olabilirdi. İçinde uyanan güçlü dürtüye rağmen, o çubuğu çekmeme gibi bir ahlaki yükümlülüğü vardı. Fermi'ye haksızlık olurdu bu. İşin başındaki kişi Fermi'ydi. Araştırmayı yönlendiren ve teorileri ortaya koyan oydu. Temel fikirler ona aitti. Zincirleme tepkimayı yürütme ve kontrol etme ayrıcalığı ve sorumluluğu ondaydı. ...

Istifin tepesinde çömelmiş olarak duran üç genç adamın duygularına ilişkin hiçbir kayıt yok elimizde. ... Onlara "intihar timi" adı verilmişti. Bu bir şakaydı ama bu şakada bir hakikat payı olup olmadığı düşüncesi belki de içlerinden geçi-

yordu. Bir yangın çıkabileceği uyarısıyla bunu söndürmek üzere tetikte bekleyen itfaiyecilere benziyorlardı. Eğer beklenmedik bir şey olursa, istif bir biçimde kontrolden çıkarsa, kadmiyum çözeltisi dökerek bu gelişmeyi "küllendirmek" talimatı verilmişti onlara.

[Yaklaşık yirmi kişilik izleyici kitlesi] tenis kortunun kuzey ucundaki balkona çıktı. İstifin tepesine tünemiş üç oğlan dışında ve talimat verildiği zaman kadmiyum [kontrol] çubuğunu çekmek üzere kort zemininde tek başına duran genç fizikçi George Weil dışında herkes oradaydı.

Arkasından şov başladı.

Fermi kontrol çubuğunun amacını açıkladı ve Weil'e istif içinde on üç ayak daldırılmış olarak kalacak biçimde çubuğu çekme talimatını verdi. Nötron yoğunluğunu ölçen sayaçlar daha hızlı tıklamalarla buna tepki verdi ve yine nötronları ölçmeye yönelik bir çizelge kayıt cihazındaki kalem yukarıya çıktı ve ardından düz bir seyre girdi. Henüz kendi kendine sürecektik noktaya gelmeyen zincirleme tepkime nötron üretmeyi kesmişti. Fermi bütün sabah deneye bu tarzda devam etti. Weil'e kontrol çubuğunu altı inçlik artışlarla çekme talimatını veriyordu ve gözlemciler her seferinde kayıt cihazı kaleminin yukarıya çıkışını ve yuvarlak sekmelele düz bir seyre geçişini izliyordu. Saat on bir buçuk olduğunda, Laura Fermi'nin "alışkanlıklara bağlı bir adam" olarak nitelendirdiği Fermi, "hiç kimsede acıkma belirtisinin görülmemesine rağmen" yemek zamanının geldiğini duyurdu.

Öğleden sonra saat ikide, Fermi ve iki katına çıkmış olan izleyici kitlesi tenis kortuna döndü. Fermi'nin hesaplamasına ve kestirimine göre istif kritik noktaya yakındı. Weil'e kontrol çubuğunu on iki inç daha çekmesini bildirdi. "Çalışması için yeterli bu" dedi yanındaki Compton'a. "Şimdi kendi kendine sürebilir hale gelecek. [Kayıt cihazındaki] çizgi yükselecek ve yükselmeye devam edecek, düz bir seyre geçmeyecek."

Beklenen an gelmişti. Herbert Anderson daha sonra yaşananları şöyle aktarıyor:

İlk başlarda nötron sayacının "tik tak, tik tak" sesleri işitilebiliyordu. Derken "tik tak"lar gittikçe daha da hızlandı ve bir süre sonra bir kükrleme halini aldı. Sayaç artık gidişatı izleyemiyordu [ve de kapatıldı]. ... [Herkes] ortalığı saran ani sessizlik içinde kayıt cihazı kaleminin tırmanışa geçen sapışını seyretmeye koyuldu. Korkunç bir sessizlikti bu. Herkes [kayıt cihazı çizgisinin] anlamının farkındaydı. ... Gittikçe daha hızlı artmakta olan nötron yoğunluğuna ayak uydurması için kayıt cihazının ölçeğini defalarca değiştirmek gerekti. Birdenbire Fermi elini havaya kaldırdı. "İstif kritik noktaya vardı" diye duyurdu. Orada bulunan hiç kimsenin bundan kuşkusu yoktu.

"Fermi kendini koyuverip gülümsedi" diye yazar Rhodes. "Ertesi gün teknik konseye istifin 1,0006 k düzeyine ulaştığını bildirecekti. Nötron yoğunluğu o sırada her iki dakikada bir katlanıyordu [gecikmiş nötronlar sayesinde rahat bir hızla

bu]. Eğer bir buçuk saat kontrolsüz bırakılırsa, bu artış hızıyla istif bir milyon kilovata çıkacaktı. Böylesine aşırı bir dizginden boşalmaya varmadan çok önce, salonda kalmış olan herkesi öldürecek ve eriyip akacaktı.”

Fermi bir ampulü ya da el fenerini yakmaya ancak yetecek yarım watt'lık güce erişmeyi sağlayan 4,5 dakikalık çalışmadan sonra istifin kapatılması emrini soğukkanlılıkla verdi. Chicago grubunun tek kadın mensubu Leona Woods, “Ne zaman kaçmak durumunda kalırsınız?” diye fısıltıyla sormuştu Fermi'ye.

Compton'ın telefonla Fermi'nin başarısını Conant'a bildirişi şifreli oldu: “İtalyan Denizci Yenidünya'ya ulaştı” dedi Compton. “Peki, yerlilerce nasıl karşılandı?” diye sordu Conant. “Çok dostça” karşılığını verdi Compton.

Fermi'nin Chicago İstifi'nin (her çeşit kontrollü zincirleme tepkime sistemi için kullanılan jenerik adla “nükleer reaktör”ün) devamı, fizikçi kökenli bir başka mühendis Eugene Wigner tarafından tasarlandı. Washington'un Richland kasabası yakınında, Columbia Irmağı yakınında kuruldu ve küçük bir şehri aydınlatmaya yetecek bir güç olan 250 bin kilovat düzeyinde çalıştırıldı. Bu tasarımın amacı plütonyum üretimidir.

Mesa Dağı İkameti

“Enrico bu müddet boyunca Chicago'da kalacağımızı ve daha sonra Leona'ya döneceğimizi sanıyordu” diye yazar Laura Fermi. “İyimser biriydi.” Manhattan Projesi'nin sonraki gelişimi açısından “müddet” kavramının tanımı “Doğu Sahili'ndeki bütün fizikçilerin Batı Sahili'ne ve Batı Sahili'ndeki bütün fizikçilerin Doğu Sahili'ne ulaşması için gereken” süreydi. Fermi ailesinin kısmetinde 1944 yazına rastlayan bir taşınma daha vardı. Bu kez durak Chicago'nun kilometrelerce batısına düşen “Y Yeri”ydi.

Yeni evleri New Mexico eyaletinde Los Alamos Kanyonu'nun yukarısında, Santa Fe'nin yetmiş kilometre kuzeybatısında kalan bir Mesa Dağı yöresindeydi. Çok geçmeden Los Alamos olarak anılan bu yöre birbirine zıt iki kişi tarafından seçilmişti: Gürbüz, pervasız, pragmatik ve inatçı General Groves ile sıkı, sakıncı, bilgi küpü ve inatçı Robert Oppenheimer. İki adam 1942 sonbaharında Berkeley'de, Oppenheimer'ın yarım mesaili fizik öğretim üyeliği yaptığı üniversitede tanışmışlardı. Groves henüz Manhattan Projesi'ni örgütlemenin ilk aşamalarındaydı. Oppenheimer ona “tamamen [bomba tasarımı ve yapımı] amacının gözetildiği, teorik fikirlerin ve deneysel bulguların birbirlerini etkileyebileceği, bölümlere ayrılmış çok sayıda çalışmalarındaki israf, aksilik ve hataların bertaraf edilebileceği, o zamana kadar pek üzerinde durulmayan kimya, metalürji, mühendislik ve ordu donatım problemlerini kavrama yolunun açılabilmesi bir merkezi laboratuvar” oluşturmayı tavsiye etti.

Groves yalnızca bir merkezi laboratuvarın gerektiğine değil, aynı zamanda Oppenheimer'ın böyle bir laboratuvarın gerekli kıldığı istisnai lider olduğuna kanaat getirdi. “O bir dahidir” diyecekti Groves, savaş sonrasındaki bir röportajda. “Gerçek bir dahi. Lawrence [siklotronun babası] çok zeki olmakla birlikte bir dahi değildir, yalnızca çalışkan bir işçidir. Şu Oppenheimer var ya, her şeyden ça-

kar o. Ortaya atacağın her konuda söyleyecek laf bulur. Ha, dur bakalım. Sanırım, çıkmadığı birkaç şey var. Spordan hiçbir şey anlainaz.”

Zamanını Pasadena'daki California Teknoloji Enstitüsü ile Berkeley'deki California Üniversitesi arasında bölen Oppenheimer, hoca ve teorisyen olarak iyi bir şöhrete ulaşmıştı. Kütleçekimine bağlı kara deliklerin varlığına ilişkin inandırıcı gerekçeler sunan ilk kişiler arasındaydı. Daha sonra teorik bölümün lideri olarak Los Alamos'a giden Hans Bethe, araştırmalarda akıl hocalığı yapan Oppenheimer'ın “hassas zevki”ne hayranlığını şöyle dile getirir: “Konuları seçmedeki yaklaşımından da anlaşılacağı üzere, önemli problemlerin ne olduğunu her zaman bilirdi. Sahiden bu problemlerle birlikte yaşar, bir çözüme varmak için didirir ve kafasına takılan noktaları grubuna aktarırdı. ... Her şeye ilgi duyan biriydi. Bir öğleden sonra kuantum elektrodinamiğini, kozmik ışınları, elektron çifti üretimini ve nükleer fiziği tartışabilirdi.”

Groves ve Oppenheimer'ın New Mexico'daki gözlerden ırak dağ yöresini seçmesinin ardında güvenlik nedenleri yatıyordu. Ayrıca Oppenheimer, New Mexico'nun kuzey kesimindeki dağ manzarasına tutkun biriydi. Los Alamos'un kuzeydoğusuna düşen Sangre de Cristo Dağları'nda ailesine ait bir çiftlik vardı.

Ülkenin dört bir yanından fizikçiler, matematikçiler, kimyacılar, mühendisler ve askeri görevliler Los Alamos'a taşındı. Böyle bir kasaba resmiyetle yoktu. Haritalarda görünmüyordu, sakinleri oy kullanamıyordu. Dışarıdakiler için Y Yeri ya da P. K. 1663 adresiydi. Konut inşaatı asla yeni gelenlerin akınına yetiştirecek bir hızda ilerleyemedi. Yüksekliği 1800 metreye varan dağdaki bitki örtüsü kamyonlarla ve inşaat araçlarıyla dümdüz edildi. Bunun getirdiği sonuç ise yazın sağanakların, kışın da eriyen karların yol açtığı sürekli çamur deryası oldu. Kasabadaki kaosun ötesinde dağların güzelliği uzanıyordu: Alabalıklarla dolu dereler, kayak yolları, ormanlar ve tırmanılacak zirveler.

Los Alamos'taki komşuları gibi, Fermi ailesinin mensupları da bu olağanüstü ortamda bir ev sıcaklığı yaratmayı başardılar. Onlara T-186 binasındaki D dairesi verilmişti. Laura Fermi burayı şöyle anlatır:

Şehrin tepe noktasındaki su kulesinin oradan başlayıp hafif bir eğimle bakir kırık alana doğru inip kayboluveren bir sokak boyunca dizilmiş tıpatıp birbirine benzer dört dairesel bir düzine kadar konuttan biriydi. ... Daire küçük ama yeterli ve rahatı. Üç yatak odasında ordu karyoları vardı. Evin önceki sakinleri, silahlı kuvvetlerde görevli oğlanlar, bunlara adlarını ve rütbelerini kazıyarak yazmışlardı. Çarşaf ve battaniyeler iri siyah harflerden oluşan USED damgasını taşıyordu; bunların [İngilizce'de “kullanılmış” anlamındaki] bir kelime değil, Birleşik Devletler Mühendislik Departmanı'nın kısaltması olduğunu anlayana kadar epeyce şok yaşadık. Projenin bize verdiği her şey, hatta ampuller ve yer fırçaları USED ya da GI damgalıydı. Ama oturma odamızın bitişik üç penceresinden, eski bir usta ressamın üç panolu tablosu gibi, Jemez tepelerinin gökyüzüne yaslanmış yusuvarlak yeşil doruklarını görebiliyordum. Tepelerde insan eseri hiçbir şey yoktu ve onları bana aitmiş gibi hissediyordum.

Fermi birden çok görevle Los Alamos F Bölümü'nün (Fermi'nin F'si) direktörü oldu. "F Bölümü'nün genel sorumluluğu, diğer bölümlerin uğraş alanına girmeyen problemleri araştırmaktı" diye yazar Segrè. "Fermi her fizikçinin başvurabil-diği ve çoğu kez hatırı sayılır bir destek aldığı bir tür kâhin gibiydi. Ona götürülen problemlerin çeşitliliğinde bir sınır yoktu."

Fermi için bomba araştırma ve geliştirme işi mecburi bir belaydı ve buna tatsız bir görev gibi yaklaşmaktaydı. Ama Los Alamos'ta gördüğü tutum böyle değildi. İlk başlarda anlayamadığı yaygın bir coşku vardı. "Burada katıldığı ilk konferansların birinde yerine oturduktan sonra" diye o günleri aktarır Oppenheimer, "bana döndü ve 'Sanırım, adamlarınız gerçekten bir bomba yapmak istiyor' dedi." Los Alamos'un havası öyleydi: Bomba onlar için bir saplantıydı. Plütonyum bombası tasarlandığı ve Oppenheimer'ın "Üçleme" adını verdiği test için montaja hazır hale geldiği zaman, Fermi de aynı büyüyc kapılmıştı. Segrè bunu şöyle anlatır:

Bildiğim kadarıyla Fermi'nin test problemlerine katkıları konusunda yazılı kayıtlar yok. Bunları eldeki verilerle ayrıntılı olarak ortaya koymak da pek kolay değil. Ne var ki, Fermi'nin bütün fiziğe hâkimiyetini, yani en şaşırtıcı özelliklerinden birini gözler önüne sermesine vesile olan dönemlerden biri oldu bu. Üçleme testinde karşılaşılan problemler hidrodinamikten nükleer fiziğe, optikten termodinamiğe, jeofizikten nükleer kimyaya kadar uzanıyordu. Bunlar çoğu kez birbiriyle bağlantılıydı ve birini çözmek için diğerlerinin hepsini anlamaya gerek vardı. Amacın acımasız ve dehşet verici olmasına karşın, bütün zamanların en büyük fizik deneylerinden biri söz konusuydu. Fermi bütünüyle bu uğraşa gömüldü. Testin yapıldığı sırada Alamogordo'da [Güney New Mexico'daki test yerinde] yürüten faaliyetlerin doğuracağı bütün teknik sonuçları anlayan birkaç kişiden biri (belki de tek kişi) oydu.

Yarısı Boş

Fermi'nin dehasının temel unsurlarından biri düşünsel durulmazlığıydı. Umut verici yeni bir araştırma alanı açtığında bile, öncü çalışmayı yapmakla yetinir ve yeni diyarın keşfini başkalarına bırakırdı. Kuantum istatistiği ve β bozunumu üzerine önemli makalelerinin arkasını getirmemişti. Chicago İstifi bir gerçeğe dönüş-tükten sonra, nükleer reaktörler onun için artık ilginç bir araştırma alanı olmak-tan çıktı. Daha Chicago'dayken katı durumların incelenmesinde nötron demetle-rinin yararlılığını ortaya koydu ve diğer fizikçiler onun açtığı yoldan ilerledi. Ol-gunluk aşamasına gelmiş bir araştırma alanı onun hoşuna gitmezdi. Her zaman se-rüven tutkusuyla dolu olan "İtalyan Denizci" sürekli yeni alanlar peşinde koştu ve bunları bulmakta asla güçlük çekmedi.

Fermi 1945 sonlarında Los Alamos'u ve bomba fiziğini bırakarak Chica-go'ya döndü. Ertesi yıl Chicago Üniversitesi'nin Nükleer Araştırmalar Enstitü-sü'nü kurması üzerine, burada idari görevler üstlenmeksizin etkili bir makama

geçmeyi kabul etti. Bu kez deney aracı yeni bir siklotrondu. Üstelik bu araç Chicago İstifi çalışmasının başladığı üniversite stadyumu batı tribününün bir sokak ötesinde kuruldu. Laura Fermi onun için siklotronun “yeni oyuncak” olduğunu belirtir. “1951 yazı boyunca gece gündüz her saat siklotronla oynadı. Siklotronun rutin düzenini bozmasına bile göz yumdu.” Nötronun yerini alan teorik aracı ise mezon, yani nükleonlar (protonlar ve nötronlar) arasındaki ilişkilere aracılık ettiği ve onları “çekirdek”te bir arada tuttuğu düşünülen parçacıktı. Mezonlar ve nükleonlar arasındaki etkileşimlere ilişkin deneysel çalışmalarında siklotronu kullandı.

Fermi tıpkı on yıl kadar önce Roma’da olduğu gibi, bir araştırma gözetmeni ve öğretmen olarak aktif bir çalışmaya girdi. Kurduğu Chicago Okulu, nükleer ve yüksek enerji fiziği için bir araştırma merkezine dönüştü. Artık konferansların bir demirbaşydı ve diğer araştırma merkezlerini sıklıkla dolaşıyordu. Daha genç fizikçilerle görüşmeleri hem onlar hem de kendisi için son derece yararlı oluyordu.

Siklotronun çalışmaya başladığı 1951’de, Fermi teorisyen ve deneyci olarak hâlâ hayatının baharındaydı. Hafızasının eskisi kadar güçlü olmamasından yakınsa da, “yapay hafıza”yla, yani titizlikle düzenlenmiş notlarla ve baskı nüshalarıyla bunu nasıl aşacağını biliyordu. Yirmi-otuz yıl daha yaşaması ve daha önce nükleer fizikte başardığı kadar işi parçacık fiziği ve yüksek enerji fiziği için yapması gerekiyordu, ama bu gerçekleşmedi. 1954’te sağlığı birdenbire bozuldu. Tedavisi olmayan bir mide kanseri teşhisi kondu ve birkaç ay sonra, elli dört yaşında öldü.

Enrico Fermi 1945’te savaş bittiğinde, ömrüne sığacak çalışmaların üçte birini tamamladığını belirtmişti Segrè’ye. Bu saptamaya göre, dokuz yıl sonra öldüğünde, bize verdiği şeyler daha sunabileceği şeylerin ancak yarısıydı.

PARÇACIK FİZİĞİ

Tarihsel Sinopsis

Atomları parçalamak ve ortaya çıkan atomaltı parçacıklarını seçip ayırmak yaklaşık yüzyıldır fizikçilerin uğraştığı bir konudur. Bu tür deneylerin ilki 1897'de J. J. Thomson tarafından yapıldı ve negatif yüklü elektronun bulunmasını getirdi. Rutherford'un atom çekirdeğini bulmasıyla ve Rutherford, Curie çifti, Meitner, Fermi ve başka birçok fizikçinin radyoaktif elementler üzerindeki çalışmalarıyla atomaltı dünyanın gizemleri daha fazla aralandı. Uzaydan gelen enerji yüklü birçok değişik atomaltı parçacığı, yani kozmik ışınlar bir süreden beri bulut odalarında ve başka detektörler aracılığıyla gözlemlendi. Artık deneyler, muazzam hızlandırıcı makinelerde yüksek enerjili atomaltı parçacığı demetlerini bizzat yaratmayı öğrenmiş bulunuyor. Bu demetler bir hedefe ya da başka bir demete yönlendiriliyor ve ortaya çıkan parçacıklar son derece gelişkin detektörlerde gözlemleniyor. Bu deneyler o kadar farklı türden parçacık ortaya çıkartmış bulunuyor ki, teorisyenler bunlarla ne yapacaklarını pek bilemiyor.

Kıtabin bu kısmında atomaltı dünyadan elde edilmiş verilere çekidüzen vermeye yönelik teorilerin geliştirilmesinde en seçkin yere sahip üç fizikçi tanıtılıyor. Bunların ilki, matematiksel fiziğin büyük teorilerinden birini formüle eden Paul Dirac'tır. Maxwell'in elektromanyetizma teorisiyle eşdeğerde sayılan bu teori, elektronların nasıl Einstein'ın özel görelilik teorisine sınırlamalar getirecek ölçüde yüksek hızlarda hareket ettiğini açıklar. Bir tür spin hareketi içinde olan elektronların kuzey ve güney kutuplu ufakık mıknatıslar gibi davrandığını gösterir. Dirac kendi teorisinden elektronun pozitif yüklü bir denginin bulunduğu yolundaki hiç beklenmedik bir kestirime vardı. Daha sonra Carl Anderson'ın bir bulut odasında gözlemlediği bu parçacığa "pozitron" adı verildi. Başka bakımlardan da farklılık gösteren elektron ve pozitron birbirlerine göre "anti-parçacık" niteliğini taşırlar. Nötronlardan nötrinolara kadar diğer bütün parçacıkların anti eşleri vardır.

Ele alacağımız ikinci parçacık teorisini, Dirac sonrası kuantum kuşağına

mensup olan Richard Feynman'dır. Onun teorisi Willis Lamb ve Polykarp Kusch'un deney yoluyla Dirac'ın teorisinde belirlediği küçük hataya getirilmiş bir çözümdür. Feynman metodu uzun uzadıya hesaplamaları gerektirir ama bu zahmet beraberinde çarpıcı bir kesinliği getirir. Feynman hesaplamalara bağlı sıkıntıyı hafifletmek için, her hesaplama adımının yaratıcı bir diyagramla ifade edildiği bir görsel yaklaşım geliştirdi.

Bu kısımdaki üçüncü parçacık teorisini Murray Gell-Mann'dır. Onun teorileri yalnızca atom çekirdeğini değil, çekirdek içindeki parçacıkları ve çekirdeklerin hızlandırıcılarla parçalanmasının ortaya çıkardığı bütün nükleer tortuları irdeler. Gell-Mann maddenin temel birimlerini oluşturan çok ufak ölçüde yüklü, sürekli bağlı parçacıkları belirledi ve bunlara "kuvark" adını verdi. Baryonlar (örneğin protonlar ve nötronlar) üç kuvark, mezonlar (örneğin pilyonlar) iki kuvark içerir. Kuvarklar, parçacık fizikçilerinin eğlenceli tuhaf diliyle, altı "koku" ve üç "renk" halinde belirir. Kuvark rengi, tıpkı elektrik yükü gibi, bir alan yaratır. Bu alanın "glüonlar" olarak anılan ve elektromanyetik alandaki fotonlara benzeyen kuantumlarındaki güçlü kuvvet, kuvarkları bir arada tutar ve bağlı durumda kalmalarını sağlar.

"Parçacık" terimi üzerine birkaç söz söylemek gerekir. Modern kullanımda bu terim maddenin atomaltı parçacıklarını ve ayrıca alanlarda bulunan parçacıkları (kuantumları) belirtir. İlkini örnekleri elektronlar, protonlar ve nötronlardır. Elektromanyetik alana özgü foton, bir alan parçacığı örneğidir. Elektronlar, fotonlar, kuvarklar, nötrinolar ve glüonlar temel parçacıklardır, yani daha küçük parçacıklardan oluşmazlar. Nötronlar ve protonlar ise temel parçacıklar sayılmazlar, çünkü kuvarklar ve glüonlar dediğimiz yapısal bileşenleri vardır.

$$i\gamma.\partial\psi = m\psi$$

Paul Dirac



İçer Kapanıklık

Paul Dirac'ın hayat hikâyesi iç karartıcı bir psikolojik roman gibi gelir insana. İngiltere'nin Bristol şehrinde geçen çocukluk, gençlik ve erken yetişkinlik yılları nefret dolu bir babanın damgasını taşıdı. Charles Dirac sosyal bağlantıları sınırlı bir kişiydi ve dünyaya gamlı baykuş bakışını ailesine de dayattı. Bristol Üniversitesi'nde Fransızca öğretmeniydi ve Fransızca derslerini eve de taşıyarak, Paul'u yemek masasında Fransızca konuşmaya zorlardı. Ailenin diğer fertleri, yani Paul'un annesi Florence, ağabeyi Reginald ve küçük kızkardeşi Beatrice ise mutfakta beklerdi. Bu aile faciasının derin kökleri vardı: Charles Dirac'ın kendisi İsviçre'de mutsuz bir çocukluk geçirmişti ve yirmi yaşına geldiğinde evden kaçmıştı. Paul böyle bir uç noktaya gitmedi ama babasına karşı hiç sevgi beslemedi. 1933'te Nobel Ödülü kazandığında, babasını törene çağırmadı. Onun öldüğü 1936'da ise karısına gönderdiği mektupta "Kendimi şimdi daha özgür hissediyorum" diye yazdı.

Yemek masasındaki Fransızca dersleri genç Paul'un sözel becerilerinin sınırlı düzeyde kalmasına yol açtı. Tek kelimeyle suskundu. "Kendimi Fransızca ifade edemediğimi gördüğüm için" diye yazacaktı sonraları, "İngilizce konuşmaktansa suskun kalmak benim için daha iyiydi. Böylece o sıralarda suskun biri olup çıktım. Bu durum çok erken başladı." Hayatının sonraki yıllarında istifini bozmaz suskunluğuna ve bir şey söylerken kullandığı kelimelerdeki tutumluluğa dair birçok anekdot vardır. İşte, onu uzun yıllardan beri tanıyan Cambridge'deki bir meslektaşının izlenimi: "Dirac'la konuşmakta hâlâ güçlük çekerim. Ondan tav-

siye almam gerektiğinde, sorumu olabildiğince kısa ifade etmeye çalışırım.” Dirac’ın cevapları sanki tanık sandalyesinden geliyor gibiydi: “Beş dakika tavana, beş dakika pencerelere bakar ve ardından ‘Evet’ ya da ‘Hayır’ der. Üstelik her zaman dediği doğru çıkar.” Doğrudan sorulara özlü karşılık verirdi ve beş kelimelik cevabını anlamak bazen beş günü alırdı. Onun suskunluğunun tam tersine çene-bazlığıyla tanınan Bohr’a, sonunu nasıl getireceğini bilmediği bir cümleye başlamaması gerektiğini daha gençken öğrendiğini anlatmıştı: İçinden geldiği gibi konuşmaya hiç uygun olmayan bir reçeteydi bu.

Olumsuz bir açıdan, baba buyurganlığı Dirac’ın yazgısına yönelmesine yardımcı oldu. “Baba nüfuzuna baş kaldıracabilecek biri değildi” diye yazar biyograflarından Helge Kragh, “bu nedenle duygusal ve sosyal hayattan yoksunluğunu matematik ve fiziğe dinsel bir şevkle yoğunlaşarak telafi etti.” Lise öğretmenleri ondaki yeteneği görüp teşvik ettiler. Babasının ders verdiği Bristol Üniversitesi, sonraki eğitimi için doğal tercihti. Ancak üniversitede gördüğü öğrenim, hevesli fizikçiler için salık verilecek türden değildi. Charles Dirac her iki oğlunu da mühendislik okumaya zorladı. Reginald doktor olmak istiyordu, mühendislik programında başarılı olamadı ve sonunda ağır bir depresyon geçirerek intihara sürüklendi. Daha pasif olan ve geleceğe daha az aldırış eden Paul, mühendislik öğreniminde başarılı oldu ve bundan değerli bir ders çıkardı. Fizik yasalarının bazen saf matematik diliyle yeterince ifade edilemeyeceğini kavrama noktasına geldi: Yaklaşık, sezgiye dayalı matematiksel ifadeler kimi zaman amaca daha uygun düşebilir.

Ancak mühendislik ve teknoloji alanında pratik çalışma Dirac’a göre değildi. Mezun olduktan sonra bir iş bulamadı ve Bristol Üniversitesi’nde iki yıl daha kalarak matematik öğrenimi gördü.

Araştırma Öğrencisi

Dirac kurtuluşu Cambridge’de buldu. Yirmi bir yaşına geldiği 1923’te bir araştırma öğrencisi olarak bu üniversiteye girdi ve yaklaşık yirmi yıl önce Rutherford’un okuduğu ders programının aynısını aldı. Dirac’ın ilk tercihi Ebenezer Cunningham’ın yanında görelilik teoriyle ilgili bir araştırma konusu seçmekti. Ama görelilik revaçta olduğu için (Einstein genel görelilik teorisini kısa bir süre önce yayımlamıştı), Cunningham birçok araştırma öğrencisinin daha sonra “fırrar” etmesinden endişe ediyordu; böylece Dirac onun yerine Ralph Fowler’a havale edildi.

Kragh’ın belirttiği gibi, “hiç kuşkusuz mutlu bir tercih” oldu bu. Rutherford’un damadı olan Fowler, Cavendish Laboratuvarı’nda teorisyenler ve deneyciler arasında belki de tek bağlantıydı. Dirac açısından can alıcı nokta ise “Cambridge’de modern teorik fiziğin başta gelen savunucusu, Almanya ve Danimarka’da evrim çizgisiyle kuantum teorindeki en son gelişmeleri sıkı biçimde izleyen tek kişi” olmasıydı. Fowler görüşünü almak için peşine düşüldüğünde zor bulunan bir adamdı ama bu durum zaten tek başına çalışan ve günü gününe rehberliğe pek gerek duymayan Dirac için hiç dert değildi. Bir bakıma Fowler’ın uzak-

tan rehberliğiyle, atom teorisi ve istatistiksel fizik dünyalarına girerek, görelilikte onu daha önce etkilemiş olan şeyi buldu: Doğanın incelikli matematiksel tabloları. Daha sonraları bu dönemi şöyle anlatacaktı: "Fowler yeni bir ilgi alanıyla, yani Rutherford, Bohr ve Sommerfeld'in atomuyla tanışmamı sağladı. Bohr teorisi hakkında daha önce hiçbir şey işitmemiştim. Gözümü epeyce açan bir şey oldu benim için. Atomda klasik elektrodinamik denklemlerinin bir işe yaramadığını öğrenince çok büyük şaşkınlığa uğradım. Atomları hep son derece hipotetik şeyler sanmıştım, oysa adamlar fiilen atomun yapısıyla uğraşıyorlardı."

Dirac çok geçmeden bilimsel yaratıcılığını nasıl besleyip ifade edebileceğini öğrendi. Cambridge'de yaklaşık bir yıl geçirdikten sonra, öğrencilikten dergilere yazı yazan bilim adamlığına terfi etti. İzleyen iki yıl içinde, kuantum mekaniğindeki önemli atılımlarından ilkinin gerçekleştirdi. Başka bir fizikçiyle birlikte çalışmak nadiren baş vurduğu bir yoldu. Yayımlanan 250'yi aşkın makalesi içinde ortak imza taşıyanlar ancak bir elin parmakları kadardı. Teorilerini yayımlanmadan önce meslektaşlarıyla tartışmakta bile duraksardı. Bunun ketum olmakla bir ilgisi yoktu. Tıpkı Einstein ve Gibbs gibi, bir teorisyen olarak becerisine tam güveni vardı ve düpedüz başkalarından onay almaya gerek duymuyordu. İlerlemek için meslektaş dayanışmasının bir zorunluluk olduğu Göttingen ve Kopenhag'dan gelen ziyaretçiler, Dirac'ın çalışma alışkanlıkları karşısında hayrete düşmüşlerdi.

Dirac hayatı boyunca yoğun zihinsel faaliyetin yorgunluğunu üzerinden atmanın yolunu mola vermekte buldu. Molaları çoğunlukla zahmetliydi. Hafta içinde hep çalıştığı Cambridge'de bunu nasıl yaptığını şöyle anlatır: "Pazarlar kendimi saldıgım günlerdi. Eğer hava güzelse, tek başıma kırdan uzun bir yürüyüşe çıkardım. Niyetim hafta boyunca yoğun çalışmadan sonra biraz dinlenmek ve bu arada yapabilirsem, ertesi Pazartesi ele alacağım probleme yaklaşımda yeni bir bakış açısı edinmektir. Ancak bu yürüyüşlerin maksadı esas olarak gevşemektir. Problemler bilinçli olarak öne çıkarmama gerek kalmaksızın, zihnimin arka tarafında öylece yüzüp dururdu. Sürdüğüm hayat tarzı işte böyleydi."

Daha sonraları bu molalar (çoğu kez tek başına) uzak ve kapsamlı seyahatlere çıkma biçimi aldı. Başka kıtalara kadar uzandı ve üç sefer dünyayı dolaştı. Rusya'yı çoğu Rus vatandaşından, Amerika'yı çoğu Amerikalı'dan daha fazla gezip gördü. Sıklıkla dağların yolunu tutardı. Yolculuğun kendisi için yeni bir dağlık yörede yürüyüşü kapsamı halinde, bir konferansta yer almayı seve seve kabul ederdi.

Üç Çeşit Kuantum Mekaniği

Fowler'ın yanındaki öğrenimini tamamlayan ve kuantum mekaniğinin hızla gelişen dünyasını gözden geçirmeye koyulan Dirac, farklı gibi görünen iki yöntemle karşılaştı. Bir yanda Göttingen Okulu'nun (Heisenberg, Born ve Jordan) savunduğu matris mekaniği, diğer yanda Zürich'teki Schrödinger'in savunduğu dalga mekaniği vardı. Matris metodu sayı tablolarıyla (matrislerle) çalışır ve toplama, çıkarma, çarpma, evirtme, dönüştürme vb gibi işlemlere dayalı belirli ce-

bir kurallarını izler. Dalga mekaniğinin kökleri ise kalkülüste yatar. Adını Schrödinger'den alan ana denklemi, bir diferansiyel denklem olarak formüle edilen bir enerji denklemidir.

Dirac'a göre bu durum matematiksel açıdan kabul edilemezdi: Kuantum mekaniğinin iki ifade biçimine ihtiyacı yoktu. Matris mekaniği ve dalga mekaniği aynı problemleri ele almakta ve aynı cevapları sunmaktaydı. Daha incelikli tek bir matematiksel dilin gösterim biçimleri olmaları gerekirdi. Dirac önce Heisenberg'in kendi mekaniğinde matrisler için xy 'nin yx 'e eşit olmadığı, yani $xy - yx$ işleminin sıfıra eşit olmadığı yolundaki tuhaf çarpma kuralına odaklandı. Dirac'ın bir parantez sembolüyle ifade ettiği

$$[x, y] = xy - yx$$

şeklindeki “çevirici” $xy - yx$, “Poisson parantezi” denen matematiksel yapıyla belirli bir biçimsel benzerlik taşır. On dokuzuncu yüzyıl teorisyenleri Newton mekaniğini başlı başına özlü ve genel bir biçime sokmak için bu parantezi kullanmışlardı. Dirac 1925'te yayımlanan ilk önemli makalesinde, Poisson parantezleriyle yazılmış klasik mekanik ve kendi parantez gösterimiyle ifade edilen kuantum mekaniği arasındaki çarpıcı bir uyuşmayı ortaya koydu. Bu teorik yolu izleyen başkaları da vardı ama hiçbiri Dirac'ın ustalık düzeyinde değildi. Max Born makaleyi görünce büyük bir şaşkınlığa düştü. “Dirac adı benim için tamamen meçhuldü” diye anlatacakta daha sonraları. “Yazar anlaşıldığı kadarıyla yeniyetmeydi, oysa her şey kendi yaklaşımı içinde kusursuzdu ve hayranlık uyandırıcıydı.” Heisenberg hayranlığını daha isteksizce dile getirdi. Pauli'ye yazdığı bir mektupta şunu belirtti: “Fowler'ın yanında öğrenim gören Dirac adlı bir İngiliz, çalışmama ilişkin matematiği kendi başına yeniden yapmış. Born ve Jordan herhalde bu yüzden bir parça bozulacaklar ama her halükârda ilk yapan onlardır ve şimdi teorisinin doğru olduğunu sahiden biliyoruz.”

“Yeniyetme” çok geçmeden daha fazla şeyler söyleyecekti. 1926'da kuantum mekaniğini yüksek matematiksel düzleme, matris mekaniğinin ve dalga mekaniğinin ötesinde olduğunu bildiği düzleme taşıdı. Bu, onun “dönüşüm teorisi”ydi. Geniş bir çerçevede kuantum mekaniğinin bir versiyonunun diğerine nasıl dönüştürüleceğini göstermekte ve kişinin matris mekaniğini ya da dalga mekaniğini seçmesinin yalnızca bir zevk ya da yatkınlık meselesi olduğunu ortaya koymaktaydı.

Dirac dönüşüm teorisiyle kuantum mekaniğinin mantıksal özünü açığa çıkarmıştı ve bundan gurur duymaktaydı. “Bu çalışmayı [dönüşüm teorisini] başkalarına aktarmak, kuantum mekaniği üzerine daha önce ya da daha sonra yazdığım makalelerin hepsinden daha fazla keyif verdi bana” diye yazacaktı daha sonraları.

Gökten Zembille İnen

Dirac'ın içe kapanık çalışma alışkanlığı meslektaşlarını, hatta Cambridge'deki çalışma arkadaşlarını daha sonra neyin geleceği konusunda merakta bı-

rakırdı. Dirac'la yakınlığı herkes kadar olan Nevill Matt bir keresinde şunu belirtmişti: "Dirac'ın buluşları öyle pat diye karşıma çıkardı ve birden ortalıkta görünürdü. Bunlar üzerine konuştuğunu hiç duymazdım. ... Basbayağı gökten zembille inerlerdi işte." Çoğu yorumcuya göre Dirac'ın fiziğe en büyük katkısı olan görelilikçi elektron teorisi de 1928'de böyle gökten zembille indi.

Schrödinger diferansiyel denklemlerle elektron davranışına ilişkin bir ön teori sağlamıştı ama bu denklemin iki ciddi kusuru vardı: Bir enerji denklemi olarak, Einstein'ın özel görelilik teorisinin gereklerine uymuyordu ve 1925'te artık elektronun kütlesi ve yükü kadar önemli bir elektron özelliği olarak kabul edilen spin hareketini göz önünde tutmuyordu. Göreliliğin ve spinin bir biçimde bağlantılı olduğu tahmin ediliyordu ama bu bağlantıyı açığa çıkarmanın yakınına bile yetişen bir kimse yoktu.

Bu noktada Schrödinger'in denklemine daha yakından bakarak, enerji problemine göz atmamızda yarar vardır. Serbest (atom sınırlarının dışındaki) bir elektron açısından, bu denklem elektronun kinetik enerjisini momentum çerçevesinde hesaplamayı sağlar. Newton mekaniğinde bir parçacığın E kinetik enerjisi, parçacığın m kütlesine ve v hızına göre hesaplanır.

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Parçacığın p momentumu, kütle ve hız çarpımından çıkar:

$$p = mv$$

Dolayısıyla

$$E = \frac{p^2}{2m} \quad (1)$$

Schrödinger bu klasik denklemi serbest elektronları açıklayacak bir kuantum mekaniği denklemine çevirmek için gerekli kuralları sağladı. Schrödinger denkleminin buna ilişkin biçimi şöyledir:

$$\hat{E}\psi = \frac{\hat{p}^2\psi}{2m} \quad (2)$$

Denklemdaki ψ kuantum mekaniğinin bir başka temel unsuru olan dalga fonksiyonudur, $\hat{p}^2\psi$ ve $\hat{E}\psi$ burada ayrıntılı olarak tanımlanması gerekmeyen iki belirli türevi ifade eder. Denklem (2) bir diferansiyel denklemdir. Çözüldüğü zaman serbest elektronun hem enerjisine hem de dalga fonksiyonuna ilişkin bilgiler sağlar.

Özel görelilik teori, enerji denklemi (1)'i ya da uzaktan yakından buna benzer bir şeyi kabul etmez. Bir serbest elektron için görelilikçi enerji denklemi, c ışık hızına eşit olmak üzere şöyledir:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad (3)$$

E enerjisinin görelilikçi denklem (3)'te karesi alınmış olarak, görelilikçi olmayan denklem (1)'de ise yalın olarak yer aldığına dikkat edin. Görünüşte masum bu matematiksel özelliklerle kapsamlı sonuçlar doğurdu ve zamanla yeni bir fizik dünyasının kapısını açtı.

Dirac'ın çeşitli çağdaşları, aynen Schrödinger'in klasik denklem (1)'den denklem (2)'yi başarıyla türettiği gibi, dosdoğru enerji denklemi (3)'ten türetilmiş diferansiyel denklemi bulmaya çalıştılar. Böyle bir denklem

$$\hat{E}^2\psi = (\hat{p}^2c^2 + m^2c^4)\psi \quad (4)$$

olarak bir başka diferansiyel denklem biçimini alır.

Dirac bu denklemde açıklanması zor bir güçlük gördü: Denklem kendi dönüşüm teorisince doğrulanmıyordu ve bu da onun gözünde hayati bir kusur demekti. "Dönüşüm teorisine yavuklum haline gelmişti" diye yazacaktı daha sonraları. "Yavukluma uymayan bir teori üzerinde durmak beni pek ilgilendirmiyordu. ... Dönüşüm teorisinden vazgeçmeyi bir türlü göze alamıyordum." Dirac denklem (3)'ün karekökünü alarak ve böylece sol taraftaki E^2 'yi bertaraf ederek, dönüşüm teorisine uyumluluğu sağladı.

$$E = \pm \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4} \quad (5)$$

Aslında burada, $\pm$ gösteriminin de belirttiği üzere, iki denklem vardır.

$$E = + \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4} \text{ ve } E = - \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4} \quad (6)$$

Her iki denklemin de karesi alındığında denklem (3) elde edilir (negatif bir sayının karesi pozitif bir sayı verir).

Dirac'a düşen görev, kendi anlayışına göre, Schrödinger'in işine çok yardımcı olan kurallara olabildiğince uyarak, görelilikçi denklem (5) görüntüsünde bir diferansiyel denklem geliştirmekti. Epeyce matematiksel yaratıcılığı, Dirac'ın ifadesiyle "denklemlerle oynamayı ve neler çıkacağını görmeyi" gerektiren çetin bir uğraştı bu. Yaklaşık iki ay uğraştıktan sonra, Dirac istediği şeye ulaştı. Dirac'ın görelilikçi elektron denkleminin (bu bölümün başlığına aldığım) en yalın biçimi şöyledir:

$$i\hbar \cdot \partial\psi = m\psi \quad (7)$$

Dirac'ın Westminster Kilisesi'ndeki anıtsal mezarının taşına da aynı denklem kazınmıştır.

Teorik fiziğin diğer bazı görkemli denklemleri (sözgelimi Einstein'ın kütleçekimi alanı denklemi) gibi, Dirac'ın bu elektron denklemi de görüldüğü kadar basit değildir. Denklemin bütün diferansiyel yönleri ∂ sembolüne sıkıştırılmıştır; ψ faktörü dört adet 4×4 sayı kümesini (matrisleri) ifade eder. Artık Schrödinger teorisindeki basit dalga fonksiyonu olmayan ψ ise dört bileşenden oluşur. Denklemdaki i sembolü ise $\sqrt{-1}$ sabitini ifade eden ve her yerde boy gösteren bir matematiksel semboldür. Hesaplamaları kolaylaştırmak açısından, denklem (7) için birimler seçilirken, olağan birimlere göre elverişsiz ölçüde büyük bir sayı olan c ışık hızının ve elverişsiz ölçüde küçük bir sayı olan h Planck sabitinin bir değerini taşıması sağlanır.

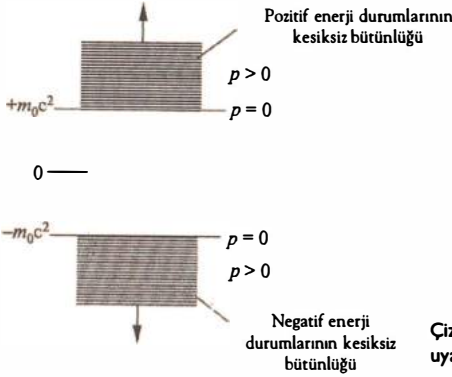
Denklem (7) dışsal bir alandan etkilenmeyen bir serbest elektronu tanımlar. Uygulanan bir elektromanyetik alanın etkisini kapsayacak biçimde denklemi ayrıntılı hale getirdiğimizde, gerçekten şaşırtıcı bir şey olur: Teorisyenin özel olarak ipucu vermesine gerek kalmaksızın, denklem elektronlarda spin hareketi olduğunu açığa vurur. Göreliliğin ve spinin bağlantılı olduğu yolundaki yaygın sanının kanıtı işte apaçık ortadaydı.

Dirac'ın çağdaşlarından bazıları dönüşüm teorisinin önemini kavramamış olsa bile, görelilikçi elektron teorisi konusunda çekinceleri olan çok az kişi vardı. "[Bu iş] bir mucize sayıldı" diye aktarır Bohr'un yardımcılarında Léon Rosenfeld. "Genel kanı Dirac'ın hak ettiğinden fazla bir pay aldığıydı! Bu şekilde fiziği kıvrırmak görülmüş şey değildi! ... [Dirac denklemi] derhal işte çözüm bu diye kabul edildi. Mutlak bir harika sayıldı." Başarılan mucize, elektronun spin hareketin çıkarsama yoluyla ortaya konmasıydı. Önceki teoriler spin kavramını Schrödinger denklemine sonradan akla gelen bir eklenti olarak yamamanın ötesine geçememişti.

± Güçlüğü

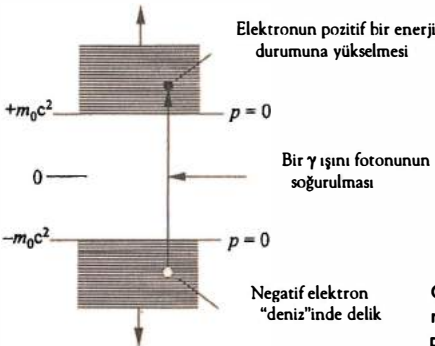
Ama ödenmesi gereken bir bedel vardı. Dirac'ın denklemi elektron spinine ilişkin köklü sorulara cevap bulmakla birlikte, enerji denklemi (5)'teki $\pm$ işaretinin sakındığı son derece kafa karıştırıcı bir başka soruyu gündeme getirdi. Bu denklem hem pozitif hem de negatif enerjilerin mümkün olduğunu anlatır bize. Oysa Dirac'ın çalışmasından önce, görelilik teorisinde negatif enerjilere hiç yer yoktu. Bazı durumlarda fizikçiler matematiksel bakımdan geçerli ama fiziksel bakımdan anlamsız nicelikleri dosdoğru yok sayarak bu tür problemlerden kaçınırlar. Ne var ki, sonradan konan adla " $\pm$ güçlüğü" için böyle bir çıkış yolu söz konusu değildi, çünkü Dirac'ın teorisi elektronların pozitif enerji durumundan negatif enerji durumuna ve tersine geçişler yapmasına olanak vermektedir. Hoşa gitsin ya da gitmesin, negatif enerji durumlarının tabloda kalması zorunluydu. Buna göre (denklem [5]'te $p = 0$ düzeyine denk düşmek üzere uygulamada $+$ işaretli) başlayan pozitif enerji durumları bir kesiksiz bütünlük içindedir; m_0 elektronun hareketsiz olduğu andaki elektron kütesidir. Bunun aksi bir görüntüyle,

negatif enerji durumlarının (yine $p = 0$ düzeyine denk olmak üzere) $-m_0c^2$ 'den başlayan bir kesiksiz bütünlüğü vardır (bak. Çizim 24.1).



Çizim 24.1. Görelilikçi enerji denklemi (5) uyarınca pozitif ve negatif enerji durumları.

Dirac $\pm$ problemine radikal bir çözüm önerdi. Bütün negatif enerji durumlarının, her duruma tek ve yalnızca tek elektronun düştüğü yolundaki Pauli ilkesi uyarınca, bir elektronlar "denizi"yle kaplı olduğunu varsaydı. Ayrıca bazı elektronların aynı zamanda pozitif enerji durumlarını kaplaması halinde, bunların halihazırda tamamen kaplanmış negatif enerji durumlarına geçişler yapmayacağını ve dolayısıyla normal davranacağını öngördü. Daha da ileriye giderek, sözgelimi γ ışını fotonu biçiminde enerjinin mevcut olması halinde, bir elektronun negatif enerji durumundan pozitif enerji durumuna yükseltilebileceğini, bu yeni durumda da gözlemlenebilir bir pozitif enerjili elektron haline gelerek, gerideki enerji elektronlar denizinde gözlemlenebilir fiziksel etkilere yol açan bir boşluk, bir "delik" bırakacağını öne sürdü (bak. Çizim 24.2). Peki, ne tür fiziksel etkiler? Bir tek



Çizim 24.2. Bir γ ışını fotonunun soğurulmasıyla, bir negatif enerjili elektronun pozitif enerji durumuna yükselmesi.

elektronlu delik negatif yükün yokluğu anlamına geldiğine göre, bunun efektif bir pozitif yükü vardı. Pozitif enerjili elektronlar – e yükü taşıdığına, söz konusu yük + e olmalıydı.

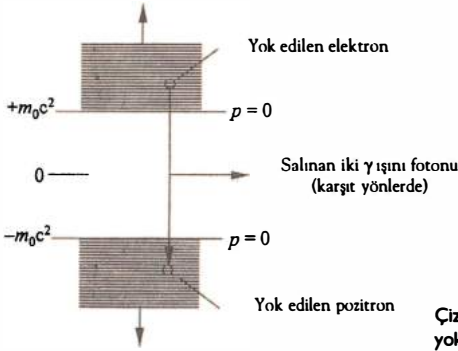
Protondaki yük de + e olduğu için, Dirac önce negatif enerjili elektronlar denizindeki deliklerin gözlemlenebilir olduğu ve protonlardan oluştuğu görüşünü ortaya attı. Çekici bir fikirdi bu. Kabul görmesi halinde, Dirac'ın teorisinin o dönemde bilinen her iki temel parçacığı, yani elektronu ve protonu açıkladığı sonucuna varılacaktı. Ama bu fikir eleştiriler karşısında tutunamadı. Robert Oppenheimer elektronların proton deliklerine düşmesiyle birlikte, aşağıya doğru bu geçişe γ ışını fotonları salımının (Çizim 24.2'de gösterilen sürecin tersinin) eşlik etmesinden dolayı, Dirac'ın teorisi uyarınca sıradan bir madde parçasının 10^{-10} saniye içinde kendi kendisini yok edeceğine işaret etti. Pauli hemen "ikinci ilkesi"ni duyurma yoluna gitti. Buna göre her teori, önce onu ortaya atmış teorisine uygulanarak test edilmeliydi. Pauli'nin öngördüğü test Dirac'a ve teorisine uygulandığında, çarpıcı bir negatif sonuç elde edilecekti: Teorisyen Dirac bir γ ışınları patlamasıyla 10^{-10} saniye içinde yok olup gidecekti!

Ama son gülen Dirac oldu. 1931'de fikrini değiştirerek delikleri yeni bir temel parçacık türü, pozitif yükü olan bir elektron olarak tanımladı ve "anti-elektron" adlandırılmasını önerdi. Bu konuya el altmışken, "anti-proton"ların, yani negatif yüklü protonların da mevcut olduğunu ileri sürdü. Aynı yıl California Teknoloji Enstitüsü araştırma görevlilerinden Carl Anderson'ın yayımladığı bir makalede, Dirac'ın anti-elektronlarının varlığına ilişkin güçlü deneysel kanıtlar ortaya kondu. Anderson uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik radyasyonun yarattığı ikincil elektronların enerjilerini incelemekteydi. Kullandığı aygıt bir Wilson bulut odasıydı. Beklentisi ise bulut odası fotoğraflarının Arthur Compton tarafından tanımlanan ikincil elektronları göstermesiydi. Ancak çok geçmeden yarıldığını gördü. İkincil elektronların çoğu pozitif yüklüydü.

Anderson haliyle bu pozitif parçacıkların protonlar olduğunu varsaydı ama bulut odası kayıtları bu varsayımı destekler yönde değildi. Kayıtlara göre saptanan özellikler, protonlardan çok daha düşük kütleli parçacıklara aitti. Anderson 1933'te Dirac'ın anti-elektronlarıyla aynı fiziksel özelliklere sahip pozitif elektronlara ilişkin buluşunu bildirdi ve bunları "pozitron" olarak adlandırdı.

Dirac'ın teorisine göre, pozitronlar Çizim 24.2'de gösterilen süreçte, negatif enerjili elektronların kozmik radyasyonun bileşenlerinden birinin, muhtemelen γ ışınlarının enerjisini soğurmasıyla ve pozitif enerji durumlarına yükselmesiyle oluşur. Delik, yani pozitron yaratıcı olayların nadir olması nedeniyle, deliklerin yoğunluğu seyrektr ve deliklere düşüş yoluyla elektron kaybı, daha önce Dirac'ın delikleri proton olarak nitelendirmesi üzerine öngörülene benzer bir felakete yol açmaz. Ama her tekil elektron-delik, yani elektron-pozitron buluşması söz konusu elektron ve pozitron için bir felakettir. Çünkü her iki parçacık da bu süreçte kimliğini kaybeder ve yerlerine iki γ ışını fotonu geçer (bak. Çizim 24.3).

Dirac'ın teorisinden haberdar olmasına rağmen, Anderson "pozitron buluşunun tamamen tesadüf eseri" olduğunu yazar. "Akli başında" her deneyciyi "iyi



Çizim 24.3. Bir pozitron ve elektronun yok olmasıyla γ ışınlarının ortaya çıkması.

donanımlı bir laboratuvarında ... yarım günde pozitronu bulmaya" yöneltebilmiş olması gereken bu teorinin ne yazık ki "pozitronun buluşunda hiç rol oynamadığını" belirtir. Tıpkı Planck'ın kuantumlara ayrılmış kara cisim rezonatörleri, Einstein'ın ışık kuantumları (fotonlar), Bohr'un durağan durumları ve de Broglie'nin madde dalgaları gibi, Dirac'ın negatif enerji durumları denizi ve bu denizdeki delikleri de ilk başta çoğu fizikçinin güvenle kabul edemeyeceği ölçüde "fiziğe aykırı" görünmüştü.

Anderson'ın pozitron buluşu upuzun bir liste oluşturan anti-parçacık buluşları dizinin ilk adımıydı. Listeye daha sonra 1955'te anti-proton ve anti-nötron katıldı. Günümüzde fizikçiler, temel yapıda olsun ya da olmasın, bütün parçacıkların anti-parçacık denkleri olduğu kanısındadır. Evrenimizin ya da başka bir evrenin de anti-maddeden oluşmuş baştan aşağı anti-dünyalar barındırması akla yakındır.

Denklemlerdeki Güzellik

Teorik fizikçiler teorilerini kurarken, katı mantık prosedürleri kadar bir tür esin kaynaklı sanatçılığa da başvururlar. Nasıl şahane bir senfoni sırf bestecilik ilkelerine ilişkin ders kitaplarını okuyarak bestelenemezse, şahane bir teori de dümdüz bir akıl yürütmeye kurulamaz. Bestecinin ince ayarlı bir kulağının, teorisyen de ince ayarlı bir kavrayışının olması gerekir. Gerek teorisyen gerek besteci eserinde bir tür güzelliğe ulaşma arayışı ve umudu içinde olur. "Bir fizik yasasının matematiksel güzelliği olmalıdır" diye yazmıştı Dirac 1956'da.

Dirac'ın düsturuydu bu cümle. "[Bu düstur] Dirac'ın 1930'ların ortalarından sonraki düşünme tarzına yön veren bilim felsefesinin özetidir" diye yazar Helge Kragh. "Dirac kadar kafasını güzellik kavramına takmış olan başka bir modern fizikçi yoktur. Onun yayımlanmış yazılarında güzellik, güzel ya da şirin, çirkin ve çirkinlik terimlerine sıkça rastlarız."

Nedir matematiksel güzellik? "Matematiksel güzellik tanımlanamaz bir niteliktir, aynen sanattaki güzelliğin tanımlanamaması gibi" diye belirtir Dirac.

"Ama matematik üzerinde çalışan insanlar bunu kavramakta genellikle hiç güçlük çekmezler." Teorik fizikçiye şunu söyler Dirac: Matematik kılavuzun olsun, en azından başlangıçta. "[Önce] sırf hoşluk olsun şirin matematikle oynaş, daha sonra fiziğe yeni yol açıp açmadığına bak" öğüdünde bulunur. Ortak zemini bulmaya çalış: "Durumu tanımlamak için matematikçinin kendi uydurduğu kurallara göre bir oyun oynadığı, fizikçinin ise Doğa tarafından sunulmuş kurallara göre bir oyun oynadığı söylenebilir ama zaman geçtikçe matematikçinin ilginç bulduğu kuralların Doğa'nın seçtiği kurallarla aynı olduğu daha belirgin hale gelir."

"Yaratıcılık ilkesi matematiktir" diyen Einstein'a şöyle katılır Dirac: "Tanrı'nın çok üst düzeyde bir matematikçi olduğu ve evreni kurarken çok ileri matematiği kullandığı ... pekâlâ [söylenebilir]."

Dirac matematiksel güzellik ile yalınlığın eşanlamlı olmadığını vurgular. En yalın teori en iyisi olabilir ama her zaman değil. "Çoğu kez yalınlık ve güzellik gereklerinin aynı olması gibi bir durumla karşılaşırız" diye yazar, "ama aralarında bir çatışma olduğunda, ikincisinin önde olması gerekir." Newton'un kütleçekimi teorisi Einstein'ın teorisine göre daha yalındır ama Einstein'ın teorisi daha derindir ve güzelliği açısından daha hayranlık uyandırıcıdır. "Einstein'ın kütleçekimi teorisinin ampirik akıl yürütmeye başvurmadan yaratıldığını belirten Dirac'ın inancını birçok seçkin fizikçi paylaşmıştır" diye belirtir Kragh. "Bunun doğruluğu herhalde estetik üstünlüklerindendir."

Ama paradoksal bir tavırla, Dirac teorik fizikçinin saf matematikçiye yaraşır bir yol izlemesi gerektiğine inanmazdı. İleri yaşlarında, "bütün çalışmalarını mutlak kesinlikle düzenlemeye çalışan saf matematikçinin fizikte çok ileri noktalara varma şansı pek yoktur" diye yazmıştı. Yaklaşık hesaplara dayalı teorilerin bile matematiksel güzelliği olabilir. Dirac'ın en ünlü yaratımlarından biri olan " δ fonksiyonu", onun tarafından kullanılmaya başladığında öksüz bir matematiksel araçtı. El yordamıyla δ fonksiyonunu kendi kuantum mekaniğinin bünyesine katmasından yıllar sonra, matematikçiler bunun resmen meşru olduğunu ortaya koydular.

Dirac fiziğin verili bir gelişim aşamasında teorisyenlerin bazen ilerlemek için gerekli matematiksel donanımın tamamına sahip olamayabileceği görüşündeydi. Bütün konuları kapsayıcı bir "her şeyin teorisi" olabileceğine kuşkuyla bakardı. "Fizikteki güçlüklerin elden geldiğince birbirinden ayrılması ve daha sonra teker teker aşılması gerekir" diye yazmıştı. Bunu söylerken aklından geçen yalnızca "fizikteki güçlükler" değil, aynı zamanda matematikteki güçlüklerdi.

Hiç de şaşırtıcı olmayan bir gelişmeyle, Dirac matematikçilerden gelen eleştirilere maruz kaldı. Amerikalı matematikçilerden Garrett Birkhoff bir mektubunda şunu yazmıştı: "Beklentilerimin tersine, Dirac'ın fiziksel sistemleri ifade etme metodunun biçimsel bakımdan kullanışlı olmakla birlikte, tamamen aşına olmadığımız hiçbir matematiksel ilkeyi barındırmadığını saptamış bulunuyorum. ... Dirac kendisine bir dizi matematiksel özgürlük tanıyor. ... Nicel ilkeleri, mantıksal tutarlılığı ve bütünlüğü, sistematik açıklama ve bir ana teoriyi genişletme olanaklarını kavramada en azından görececek bir yetersizlik içinde olduğu izlenimini bırakıyor bende."

Einstein Gibi

Dirac yaratıcı çalışmalarının çoğunu 1925-1933 arasında gerçekleştirdi. Abraham Pais onun bu “kahramanlık döneminde ... 20. yüzyıl biliminin başlıca simalarından biri olarak öne çıktığını ve fiziğin çehresini değiştirdiğini” belirtir. Dirac 1932’de Cambridge’de bir zamanlar Newton’un başında bulunduğu Lucas Kürsüsü’ne getirildi ve C. P. Snow’un belirttiği gibi, Newton üslubunun unsurlarını geri getirdi: “Açık sözlülük”, “rasyonellik”, “güçlü ve ağır basan estetik duyu”, “kolay anlaşılabilirlik” ve “ağırbaşlılık, yani gereksiz süslerden, aslına bakılırsa her türlü süsten hoşlanmama.” Ertesi yıl (Schrödinger’le paylaşılan) Nobel Fizik Ödülü geldi ve gözlerin üzerine çevrilmesinden ürken Dirac bir ara ödülü reddetmeyi düşündü. Ama Rutherford böyle bir tutumun daha fazla dikkat toplayacağına işaret ederek, fikrini değiştirmesini sağladı.

Gördüğü ilgi, Dirac’ın sosyal hayata daha çok girmesini getirdi. Gazetecilerin “bütün kadınlardan korkan dahi” diye nitelendirdiği adam 1937’de evlendi. Karısı Margit Wigner, bir başka ünlü teorik fizikçi Eugene Wigner’in kardeşiydi. Bu birlikteliğe önceki evliliğinden iki çocuk getirdi ve çiftin de iki çocuğu oldu. “Tarihin tekrerrürden ibaret olduğu Dirac ailesi için fazlasıyla doğrudur” diye yazar Margit bir anı kitabında. “Paul dayatıcı bir baba olmamakla birlikte, çocuklarına karşı çok soğuk ve mesafeli davranırdı.” Bu ve başka açılardan “eski moda bir Victoria evliliği” biçiminde sürdü aile yaşamları.

Dirac 1930’larda serbest elektronlara ilişkin bir teori kurduktan sonra, ikinci adımı attı ve bir kuantum elektrodinamiği (fizikçi jargonuyla “KED”) teorisi, yani başka bir elektronla ya da diğer temel parçacıklardan biriyle etkileşim halindeki elektron teorisi kurma gibi uzun süreli bir gitişime koyuldu. Ne yazık ki, bu uğraşta yaratıcılığı ona ihanet etti. Matematiksel güzellik duygusu, önceki çalışmalarında olduğu gibi, başarıya götürecek buluş kılavuzu olamadı. 1940’ların sonlarında sahneye çıkan ve sonunda elektrodinamik problemlerini çözen teori-de, Dirac’ın bir türlü benimseyemediği bazı tuhafliklar vardı. Richard Feynman, Julian Schwinger, Şiniçiro Tomonaga ve Freeman Dyson’ın geliştirdiği yeni teori, elektron özelliklerini hesaplama ve her türden temel parçacık etkileşimini ele alma açısından olağanüstü başarılı bir araçtı. Ama teorinin denklemleri gizli sonsuz nicelikler içerir ve bu sayılar da teorinin matematiksel biçimini bulandırır: Matematikçiler sonsuz sayılarla aritmetik işlemleri bir yapamazlar. Bu teorinin “yeniden normalleştirme” olarak bilinen bir temel matematiksel manevrası, sonsuz sayıları criten ölçülmüş parametrelere yer vermesidir. Elektron kütlesine ve yüküne ilişkin hesaplamalar bu yolla halledilir. Böylece elektronun ölçülmüş m kütlesi ve e yükü denklemlere girer ve rahatsız edici sonsuz sayılar zihinden silinmese bile, göz önünden çekilip gider.

Dirac’a göre bir matematiksel çirkinlikti bu. Elektrodinamik denklemlerine eski güzelliği geri getirmek için uzun yıllarını harcadı ama aradığı şeyi asla bulamadı. Yetmiş yedi yaşına geldiği 1979’da şu dokunaklı değerlendirmeyi yaptı: “Kuantum elektrodinamiği için daha iyi denklemler bulmaya gerçekten ömrümü harcadım ve şimdiye kadar başarılı olamadım ama bunun üzerinde çalışmayı sürdü-

rüyorum.” Genel kabul gören elektrodinamik teorisini “çıkarılması gereken böylesine kaba saba sonsuz sayılar varken düzeltmenin mümkün olmadığı” görüşünde diretti. Yeniden normalleştirilmiş teoriyi daha önce emsali görülmemiş bir doğrulukla kullanmakta olan meslektaşlarından koptu.

Dirac birleşik bir kütleçekimi ve elektromanyetizma teorisine dönük verimsiz arayışa uzun yıllarını harcayan Einstein’la aynı yazgıyı paylaştı. Pais iki büyük teorisyen arasındaki bu ve başka paralellikleri şöyle anlatır: “Bazı ama yalnızca bazı bakımlardan [Dirac] bana Einstein’ı hatırlatıyor: Yüzyılın en büyük katkılarından birini ortaya koyan, hep kendi bildiği yolda giden, çevresinde bir okul oluşturmayan, fizik teorisinde güzellik ve yalınlık gereğinin çekiciliğine kapılan, ömrünün sonlarında fizik için yararlı noktanın ötesinde matematik müptelası haline gelen, ölümüne yakın ana kadar saf araştırma uğraşlarını sürdüren bir kişi.”

Bohr’un Dirac’a hayranlık ifadesi en güzeliydi: “Bütün fizikçiler arasında Dirac en saf gönüllü olanıdır.”

Ne Kadar Umrunda Senin?

Richard Feynman



Meraklı Adam

Büyük bilimciler dâhi ve dâhiler de eksantrik bir hayat sürmeye eğilimli olur. Önceki bölümlerde bunun bolca örneğini görmüş durumdayız. Bu bölüme konu olan Richard Feynman en büyük bilim dâhilerinden ve aynı zamanda bu eksantrikler topluluğunun en eksantrik tiplerinden biriydi.

Kariyerinin büyük bölümünü akademik camiada, kısa bir süre Cornell Üniversitesi'nde ve ardından geri kalan ömrü boyunca California Teknoloji Enstitüsü'nde geçirdi. Ama bu akademik hayatın aşırı yüküne karşı panzehirler bulmak için gözünü hiç budaktan esirgemedi. Kaçış yerlerinden biri kumarbazlarla, uç-kâğıtçı sanatçılarla ve güzel kadınlarla haşır neşir olmak üzere gittiği Las Vegas'tı. California Teknoloji Enstitüsü'ne girdiğinde kumar ya da içkiyle arası yoktu ama çekici kadınlara düşkünlüğü ve çoğu kez kadınlar ona tav olurdu. Uzun boylu, yakışıklı, usta bir dansçı ve davulcuymdu. Kendisinin hergelece bir kahraman olarak yer aldığı eğlenceli hikâyelerden oluşan bitip tükenmez bir dağarcığı vardı. Davul partneri Ralph Leighton'a yazdırdığı bu monologların bir kısmı daha sonraları *Adventures of a Cudous Character* (Geviş Getiren Adamın Serüvenleri) adıyla iki cilt halinde yayımlandı. Her iki kitap da satış rekoru kırdı.

Feynman'ın Pasadena'daki uğrak yerlerinden biri Giannoni'nin üstsüz kızlar barıydı. Bu bar, olağanüstü anlayışlı karısı Gweneth'in deyişiyle, Feynman'ın "kulübü"ydü. Her zaman 7-Up ısmarlar, ardından bir süre dansçı kızları seyrettikten sonra, fiziğe döner ya da bir derse hazırlanırdı. Gweneth onun evdeki stüdyosunda çıplak kadın modellere (ki bunlardan biri daha önce bir derginin orta sayfa güzeli

olmuştu) bakarak resimler yapmasına da öyle uzun boylu itiraz etmezdi. Zeki, hoş-görülü Gweneth'e ve mutlu bir evlilikte oynadığı role daha sonra yine döneceğiz.

Feynman'ın ilk karısı Arline, onun aykırı şeylere tutkunluğunda en azından kısmen pay sahibiydi. Lenf sistemi tüberkülozundan ölmek üzere olduğunu ikisinin de bildiği bir dönemde evlenmişlerdi. Arkadaşları, aile büyükleri ve doktorlar bu evliliğe karşı çıkmıştı ama Feynman'ın ifadesiyle, "gözleri kör eden bir aşk"tı bu. Feynman lisansüstü öğrencisi olarak Princeton Üniversitesi'nde okurken, Arline de yakındaki bir hastanede kaldı. Daha sonra Feynman Los Alamitos'taki savaşa destek çalışmalarına katılınca, Albuquerque'teki bir sanatoryuma geçen Arline 1945'teki ölümüne değin orada yattı. Feynman ona "Güllecik" derdi. Bir gün kocasına "Canım Richard, Seni seviyorum! Güllecik!" sözleri kazınmış bir kurşunkalem kutusu gönderen Arline, onun mahcubiyetine kahkahalarla gülmüştü. "Başka insanların düşünceleri ne kadar umurunda senin?" sözleriyle serzenişte bulunmuş ve tavrını bir kartpostaldaki şu şiirle açıklamıştı:

Sevdiğim şeyler gitmiyorsa hoşuna
Ne diyeyim, dostum, yazıklar sana!

.....
Gönlün dönmüşse tuhafiye dükkânına
Ve gizlice ayna oluyorsa sana yaraşana
Ne diyeyim, dostum, yazıklar sana!

Arline'ın bu çıkışması Feynman'ın aklından hiç çıkmadı. Kariyerinin kritik bir döneminde Feynman'la birlikte çalışan Freeman Dyson, 1988'de onun ölümünden kısa bir süre sonra yazdığı değerlendirmede, "[Arline'ın] ruhu ömrü boyunca yanı başında kaldı ve geldiği noktaya katkıda bulundu" diye belirtmişti.

Feynman hayatın başka alanlarında olduğu gibi fizikçilikte de her zaman serüven tutkunuydu. Bir araştırma problemine, konuyu baştan aşağı kafasına göre yeniden kurgulamadan, kendi deyişiyle "tersyüz etmeden" yaklaşamazdı. California Teknoloji Enstitüsü'nde ders verdiği sınıfın karatahtasında şu mesaj yazılıydı: "Yaratamadığım şeyi anlayamam." Doktora tezinde kuantum mekaniğine Heisenberg, Schrödinger ya da Dirac'ın izlediği yollarla hiçbir yakınlığı olmayan tamamen yeni bir yaklaşımın çatısını kurmuş, daha sonra bu metodu elektron ve foton etkileşimleri teorisine çarpıcı bir başarıyla uygulamıştı.

Kuşku ve belirsizlikten hiç korkmazdı. "Olup bitenleri anlamayınca, gizemli bir evrende amaçsız biçimde dolanıp kaybolunca ürküntüye kapılmam" diye yazmıştı. "Bu durum beni ürkütmez." Kuşku onun motivasyonuydu. Onu buluşa ve "işin içyüzünü öğrenme keyfi"ne yöneltirdi. Bir gizeminin genellikle başka bir gizemin kapısını aralamasına aldırılmazdı. "Artan bilgiyle birlikte daha derin, daha harika bir gizem gelir ve insanı daha da derine dalmaya ayartır. Cevabın havalı kırıklığı yaratacağını asla umursamadan, hiç hayal edilmemiş olan ve daha harika sorulara yol açan garipliği bulmak üzere keyif ve güvenle yeni bir taş kaldırıp altına bakarız. Kesinlikle müthiş bir serüvendir bu!"

Feynman için “insanoğlunun ötesindeki evrene kafa yormak, evrenin insanoğlu için ne anlama geldiğini düşünmek, insanoğlunun uzun tarihinin en büyük kısmını oluşturan ve mekânların büyük çoğunluğunda yer alan bu uğraş dalmak” bir “dinsel meşk” gibiydi. Fizikçinin şahane nesnel bakış açısıdır bu. “Buna ulaşıldığında, maddenin gizemi ve görkemi kavrandığında, daha sonra nesnel gözü madde olarak görülen insanoğluna çevirmek ve hayatı en büyük derinliğe sahip evrensel gizemin bir parçası olarak görmek nadiren açıklanabilen bir deneyimi iliklerine kadar hissetmeyi getirir.” Feynman şairlerin bunu yazmadığını belirterek, kendisi oturup şu dizelerle son bulan bir şiir yazmıştı:

Denize karşı durarak
şaşkınlığa şaşan ben
bir atom evreni
evrende bir atom.

Far Rockaway Diye Bir Yer

“Zamanlamam üzerine birkaç nokta: Ben 1918’de New York’un hemen dışında denize yakın Far Rockaway adlı küçük kasabada doğdum” diye başlar monolog kitaplarının ilki *Surely You’re Joking, Mr. Feynman* (Elbette Şaka Yapıyorsunuz, Bay Feynman). “Long Island’ın güney kıyısında sere serpe yayılan bir kumsalda müstakil evlerin ve tuğlalı apartman bloklarının yer aldığı birkaç yüz dümden ibaret bir köy olan Far Rockaway’in çocukları büyüğü bir hayat sürüyorlardı” diye belirtir Feynman’ın biyograflarından James Gleick. “Bu civar 1898’de Queens ilçesi içinde birleştirilen altmış kadar kasaba ve yöreden biri olarak New York şehrinin tüzel kimliği içine alınmıştı.”

Far Rockaway’in çalışkan sakinleri muteber bir orta sınıf konumuna sahipti. Richard’ın babası Melville, büyük ekonomik bunalım yıllarında beklentilerini pek karşılamayan bir dizi girişimci atılımla ayakta kalma kavgası verdi: “Vin” adlı bir araba cilası satıcılığı, bir emlak işletmesi ve bir kuru temizleme dükkânları zinciri. Sonunda üniforma işiyle uğraşan büyük bir şirketin satış müdürü oldu.

Melville maddi durumu elvermediği için bilim adamı olma hevesi, içinde ukde kalmış biriydi. Richard’ın doğumundan hemen önce, “Erkek olursa, bilim adamı olacak” demişti. (Bu arada Feynman’ın kızkardeşi Joan’ın da fizikçi olduğunu belirtiyim.) Melville bilime dönük bir okul eğitimi görmemekle birlikte derin bir sağduyuya sahipti. “Bir bakıma olguları çok iyi bilmeyen ama doğruları bilen bir adamdı” diye anlatacaktı Feynman, bir başka biyografı Jagdish Mehra’ya. “Şimdi dönüp baktığımda, onu çok ilginç biri olarak buluyorum. ... Neye aldırış etmemek gerektiği, şeylere verilen adlar ve bizzatıhi olgular arasındaki farklılık, nesnelere derinlemesine bakıldığında heyecan verici şeylerin bulunacağı konusunda eksiksiz bir kavrayışı vardı. Bilimin daha derindeki hazzına ilişkin eksiksiz bir kavrayışı vardı ve bunu bana da bulaştırdı.”

Richard’ın ilk öğretmeni babası oldu. Başlıca eğitim aracı ise oğluna okudu-

ğu ve arada bir açıkladığı *Encyclopaedia Britannica*'ydı. "Okuduğumuz her şeyin anlaşılır biçime dönüştürülmesi gerekiyordu" diye anlatacağı Feynman daha sonraları Mehra'ya. "Bu da kişiliğimin ve bütün çalışmalarımın ayırıcı özelliği haline geldi. Başka insanların yaptıkları şeylerin veya bunları yaparken başvurdukları yolların çoğunu anlamakta [hâlâ] güçlük çekerim. Bunları anlayabileceğim bir biçime dönüştürmek için sürekli evirip çeviri, evirir çeviririm."

Richard'ın annesi Lucille, ekonomik bakımdan Melville'e göre daha yüksek bir tabakadandı. Babası başarılı bir kadın şapkası tasarımcısıydı. Aile Aşağı Doğu Yakası'ndaki ucuz bir kiralık evden Park Bulvarı'na yakın Doksan İkinci Cade'de bulunan son moda bir konuta taşınmıştı. Park Bulvarı'ndan sonra Far Rockaway'de kalmak belki Lucille'i üzmüş olabilirdi ama bu durumdan hiç yakınmadı. Savunma aracı mizah duygusuydu. Bu duyu oğlunun kişiliğini biçimlendirmede en az Melville'in bilim dersleri kadar etkili oldu. Feynman *What Do You Care? (Ne Kadar Umrunda Senin?)* adlı diğer monolog kitabında şunu yazar: "Bilim hakkında hiçbir şey bilmemesine rağmen, annem de benim üzerimde büyük bir etki bıraktı. Özellikle harika bir mizah duygusu vardı ve ondan ulaşılabilecek en üst anlayış biçimlerinin kakhaha ve insanca sevecenlik olduğunu öğrendim." Lucille'in ileri yaşlarındaki esprilerinden biri, oğlunun meşhur olduğunu ve "dünyanın en akıllı adamı" olarak övüldüğünü duyunca, "Eğer dünyanın en akıllı adamı buysa, Tanrı bizi korusun" sözleriydi.

Richard'ın lise yıllarındaki başlıca ilgi alanları matematik, fen dersleri ve kızlar oldu, her ne kadar tam bu sırayı izlediği biraz şüpheli görünse bile. Kalkülüsün esaslarını bu konuda okul kütüphanesine konan *Calculus for the Practical Man* (Pratik İnsan İçin Kalkülüs) adlı kitabı okuyarak kendi kendine öğrendi. Lise son sınıfta Abram Bader'in ıftıharlık fizik dersine katıldı. Bader bir süre Columbia Üniversitesi'nde Isidor Rabi'nin yanında istatistiksel mekanik ve kuantum mekaniği öğrenimi görmüş ama parası çıkmadığı için doktora programından ayrılmıştı. Bilgili ve sempatik bir öğretmendi. Richard'ın istidadını hemen fark etti. "Feynman, *nevi şahsına münhasırdı*" diye anlatacağı daha sonraları Mehra'ya. "Parlak öğrencilerden oluşmuş bir sınıfta en parlak öğrenci olarak öne çıkması için tek gün yetti." Ancak parlak öğrenci derslerden sıkıldı ve Bader ona çalışması için Frederick Woods'un *Advanced Calculus* (İleri Kalkülüs) kitabını verdi. Richard kitabı bir ay içinde okudu ve Bader'in sayfa kenarlarına not düştüğü soruları cevaplandırdı.

Bader ayrıca Richard'a bazı çarpıcı fizik dersleri öğretti. Enerjisi fonksiyonlarının önemini vurguladı. Kinetik enerjiye ilişkin T fonksiyonu ile potansiyel enerjiye ilişkin V fonksiyonunun toplamının bulunduğunu belirtti. İrlandalı matematikçi ve fizikçi William Rowan Hamilton'ın Newton dinamiğini geliştirirken esas aldığı ve bu nedenle "Hamilton fonksiyonu" olarak anılan bu toplam şöyle ifade edilir:

$$H = T + V$$

(1)

T ve V arasındaki farka eşit olan L fonksiyonu da aynı ölçüde önemlidir.

$$L = T - V \quad (2)$$

Buna da Newton dinamiğini geliştirmeye böyle bir fonksiyonu esas alarak katkıda bulunan 18. yüzyıl Fransız fizikçi ve matematikçisi Joseph Lagrange'dan dolayı "Lagrange fonksiyonu" denir.

Hamilton fonksiyonu bir cismin hareketini tanımlamak için çözülmesi (yani entegralinin alınması) gereken diferansiyel denklemlerde yer alır, ki bu entegral alma işlemi bazen zor bir işe dönüşür. Lagrange fonksiyonu tamamen farklı bir matematiksel yoldan aynı sonuca varmayı sağlar. Hareket halindeki bir cismin izleyebileceği olası her yol boyunca geçen zaman açısından entegrali alındığında, bu işlem "etkime" denen şu fonksiyonu tanımlar:

$$S = \int_{\text{olası her yol}} L dt \quad (3)$$

En az etkime ilkesi olarak da bilinen bu fonksiyonun ayırıcı yönü, hareket halindeki bir cismin fiilen izlediği yol için etkimenin en düşük değeri, minimum bir değeri taşımasıdır. Böylece minimum değeri verecek biçimde kısıtlanmış etkime, izlenen yolu tanımlar. Richard için bir vahiy, fizik sezgisinin uyanışı oldu bu. İşte Mehra'ya anlattığı duygu: "Diferansiyel denklemlerin yerini alarak, bütün yolun özelliğini anlatıyordu. Hayran kaldım buna. O zamana kadar gördüğüm en harika şeydi bu. Hayatımın sonraki yıllarında bütün çalışmalarımda şöyle ya da böyle etkimeyle oynadım. Onu daima sevdim."

Richard'ın delikanlılık dönemindeki kızlara gelince, ciddiye aldığı tek bir kız vardı. Popüler ve havalı Arline Greenbaum'du bu. (Garip bir biçimde, Feynman ya da her halükârda editörleri, monolog kitaplarında onun adını "Arlene" diye yazmışlardır.) Richard ve Arline on üç yaşındayken tanıştılar. "Çok sevimli ve tatlı bir kızdı, gayet şirindi, derin gamzeleri vardı ve herkes ondan hoşlanırdı" diye anlatır, Richard'la birlikte onu tavlama yarışına giren eski arkadaşlarından biri.

Richard okuduğu Far Rockaway Lisesi'nden zaferle mezun oldu. Birinciliklerin çoğunu kaptı ve Arline'in gönlünü ebediyen kazandı. Sıra üniversitedeydi. Yüksek bir başvuru harcından sonra Columbia'ya alınmaması, muhtemelen Yahudi öğrenciler için konmuş olan kotaya bağlanabilir. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ne (MIT) kabul edildi ve 1935 güzünde Cambridge'e vararak, gelecekteki tarikat kardeşlerinin arasına katıldı.

Problem Delisi

Feynman önce MIT'de düşünsel bir geziye çıktı. Ana dal olarak matematiği seçmenin cazip olacağı düşüncesi, matematik bölümü başkanına matematik diplomasıyla matematik öğretmenliği dışında ne yapabileceğini sormasına kadar

sürdü. “Eh, işte” diye cevap verdi bölüm başkanı. “Bir istatistik uzmanı olarak, sigorta şirketlerinde sigorta hadlerini hesaplayabilirsin.” Ardından da bu tür soruları yönelten öğrencilerin çoğunlukla matematikçilik için gerekli vasıfları taşımadığını ekledi. Daha sonra elektrik mühendisliği gündeme geldi ama bu işten de hazzetmediğini fark etti. Neredeyse bütün seçeneklerin birbiri ardı sıra elenmesiyle, Feynman sonunda fizikte karar kıldı.

Akıllıca bir tercihti bu. MIT’nin güçlü bir fizik bölümü vardı. Bölümün başındaki John Slater, daha önce Bohr’la birlikte çalışmıştı ve verimli bir ders kitabı yazarıydı. Kitaplarından biri bütün üst sınıf ve lisansüstü öğrencilerinin alması gereken “Teorik Fiziğe Giriş” adlı ileri derste kullanılmaktaydı. Bu dersi ise daha sonraları MIT rektörlüğünü üstlenecek olan Julius Stratton ile atom ve molekül hesaplamaları uzmanı olan Philip Morse vermektedir. Feynman ve onun gibi erken gelişmiş arkadaşı Ted Welton, daha ikinci sınıftayken biraz çekinerek bu dersi almaya karar verdiler. Aslında endişe etmelerine gerek yoktu, her ikisi de fizikte üst düzeye ulaşmış durumdaydı. Kuantum mekaniği ve görelilik üzerine giriş kitaplarını kendi başlarına okuyup etraflıca irdelemişlerdi. Welton o günlere ilişkin bir anı yazısında, Feynman’la birlikte Stratton’ın sınıfında yaşadıklarını şöyle anlatır: “Kesinlik takdire şayan bir hoca olan Stratton, ara sıra derse yeterince hazırlanmadığı için ister istemez bir noktada tıkanarak sıkıntıya düşerdi ve suratına hafif bir kırmızılık yayılırdı. Ancak bir dakika kadar süren bir duraksamanın ardından, ‘Bay Feynman, bu problemi nasıl hallettiğini bir göster bakalım bize’ derdi. Dick sıkılgan bir tavırla tahtaya gider ve çözümü şıp diye verirdi. Cevapları her zaman doğru ve çoğu kez ustaca olurdu.”

O sıralarda, yani 1930’ların ortalarında kuantum mekaniği henüz yeni bir konuydu ve standart derslerde pek derinliğine ele alınmazdı. Morse üçüncü bir öğrenciyle birlikte Feynman ve Welton’a kuantum mekaniğinin gerçek işleyişini haftada bir kez bir araya gelecekleri özel bir derste öğretmeyi teklif etti. Konuya önce Dirac’ın muğlak anlatımlı *Principles of Quantum Mechanics* (Kuantum Mekaniğinin İlkeleri) kitabıyla başladılar. Daha sonra Morse, hidrojen ya da hidrojenik (Feynman’ın telaffuzuyla “hijyenik”) dalga fonksiyonlarından başlamak üzere, atom özelliklerine ilişkin bazı ayrıntılı hesaplamaları gerektiren bir araştırma problemiyle uğraşmayı önerdi. Bilgisayarların ve elektronik hesap makinelerinin icadına daha uzun bir süre vardı. “Dick ve ben azimle çalışmaya koyularak” diye yazar Welton, “önce savaş öncesi yılların o meşhur ‘çak-çak-dan-çak-çak-dan [mekanik] hesap makinelerini kullanmayı öğrendik.” Kuantum mekaniğinin öbür yüzü, yani güzel denklemlerin kullanıma girişi buydu işte. Hesaplamalar bezdirici ama aynı zamanda heyecan vericiydi. “Morse bizi gerçekten ilginç şeyler hesaplamaya yöneltti” diye belirtir Feynman. “Bizimle bir sinamaya girdi. Her nasılsa üstesinden geldi. Kuantum mekaniğini bilen biriydi.”

Aynı dönemde Feynman göreliliği ve kuantum mekaniğini kavrama açısından, görelilikçi kuantum mekaniğine ilişkin geçerli bir denklem sunmaya yetecek ölçüde bir ilerleme sağlamıştı. Dirac’ın 1928’de çözdüğü problemle uğraştığının farkında değildi. Çalışmasının sonunda Dirac denkleminin günümüzde Kle-

in-Gordon denklemi olarak bilinen bir önceline ulaştı. Ne var ki, denklem elektronlar için işlerliğe sahip değildi. Feynman ve Welton hidrojen atomunun elektronuna denklemi uygulamaya çalışırken öğrendiler bunu. “İş orada koptu” sonucuna vardı Feynman. Oysa öyle değildi aslında: Belki de ilk kez “buluştaki haz” dediği şeyi tatmıştı.

Feynman MIT’de son sınıf teziyle ilgili çalışmasında önemli bir buluş yaptı. Slater ondan kuvarsın ısıtıldığında diğer maddelerden daha fazla genleşmesine yol açan ilginç olguyu açıklamasını istemişti. “Bu problem üzerine zihnimi delice işlettim” diye anlatacaktı Feynman daha sonra Mehra’ya. “Genleşmeyi nasıl hesaplayabileceğimi düşünmeye başladım. Bunun için kristali mekân bakımından sabit, boyut bakımından sabitmiş gibi tasarlamam ve onu böyle tutmak için hangi kuvvetlerin ve gerilimlerin yaratıldığını sormam gerekirdi.” Feynman analizine girilirken bir teoremi ortaya atıp kanıtladı. O zamanda beri fiziksel kimyacılarca molekül hesaplamalarında standart bir araç olarak benimsenen bu teoreme göre, ister kuvars, ister başka bir madde söz konusu olsun, genelde bir atomun çekirdeği çevresindeki çekirdeklerin ve elektronların elektrostatik kuvvetlerini hisseder. Elektronlar, kuantum mekaniğinin gerekli kıldığı gibi, üç boyutlu ve bulutumsu lekeler şeklinde bir görüntüye bürünür. Tezin kısaltılmış bir versiyonu önde gelen fizik dergilerinden *Physical Review*’de yayımlandı.

Artık lisansüstü öğrenim zamanı gelmişti ve Feynman MIT’de kalmayı umuyordu. Onay alacağını kestirerek Slater’a gitti ama onay alamadı. Aralarında şöyle bir konuşma geçti:

SLATER: Niçin MIT’de okumak istiyorsun?

FEYNMAN: Çünkü bilim ve mühendislik açısından bu ülkedeki en iyi okul.

SLATER: Öyle mi düşünüyorsun?

FEYNMAN: Evet.

SLATER: İşte bu yüzden başka bir okula gitmelisin.

Başka yerlere bakmak zorunda kalan Feynman sonunda Princeton’da karar kıldı. Slater ve Morse onun giriş başvurusunu hararetle desteklediler ama biraz açıklamaya yapmaları gerekti. Feynman’ın Lisansüstü Düzey Belirleme Sınavı’nda aldığı puanlar matematik ve fizik dallarında lisansüstü öğrenci alımı komitesinin gördüğü en iyi, tarih ve İngilizce’de ise neredeyse en berbat sonuçlardı. Ayrıca, Princeton fizik bölümü başkanı H. D. Smyth’in pek de kibar olma zahmetine girmeden Morse’a aktardığı bir başka problem vardı: “Özellikle teorik fiziğe ilgi duyan adamlar söz konusuysa, bir soru her zaman gündeme gelir. Feynman Yahudi mi? Yahudiler’e karşı kesin bir kuralımız yok ama onları yerleştirme güçlüğünden dolayı bölümümüzde oranlarını makul ölçüde düşük tutmak zorundayız.” Feynman lehindeki destek kampanyalarını sürdüren Slater ve Morse, öğrenci alım komitesinin gerçek ve uyduruk itirazlarını aşmayı başardılar.

Princeton’da Feynman’ın başından geçen ilk olaylardan biri, daha sonraları monolog kitaplarından ilkinin adına kaynaklık etti. 1939 sonbaharında Prin-

ceton kampusuna vardığı gün, lisansüstü okul dekanının zorunlu Pazar çay partisine katıldı. “O zamanlar ‘çay partisi’nin ne olduğunu ve niçin yapıldığını bile bilmiyordum!” diye yazar Feynman. “Öyle sosyal marifetlerim falan yoktu. Bu tür şeylerde tecrübeli değildim.” Kapıda dekan her nasılsa Feynman’ı tanımış ve adını anarak “merhaba” demişti. Ardından odaya buyur etmişti:

Her şey çok resmiydi. Ben nerede oturacağımı, bir kızın yanına oturmanın doğru olup olmayacağını düşünürken, arkadan gelen bir ses işittim.

“Çayınıza krema mı, lir on mu istersiniz, Bay Feynman?” Sesin sahibi [dekanın eşi] çay dolduruyordu.

“İkisini de alayım, teşekkürler” dedim, bir yandan da oturacağım yer için hâlâ sağa sola bakarken. Birdenbire “Elbette şaka yapıyorsunuz, Bay Feynman” sözlerini çalındı kulağıma.

Şaka? Şaka? Ne demiştin ki ben şimdi? Nasıl bir halt işlediğimi daha sonra anladım.

İşte bu çay işinde ilk tecrübem böyle oldu.

Princeton, Feynman’a araştırma asistanlığı önermiş ve hocasının Eugene Wigner olacağını bildirmişti. Bu Macar kuantum teorisyeni Dirac, Fermi, Heisenberg ve Pauli kuşağına mensuptu. “Oraya vardığımda” diye anlatacaktı Feynman daha sonra Mehra’ya, “kaydırmalar yapıldığını gördüm ve John Archibald Wheeler’ın yanına verildim. Çok da iyi oldu bu.” Gerçekten de öyle. Wheeler gençti, Feynman’dan yalnızca altı yaş büyüktü ve karakter olarak tutuculuk ile cüretkârlığın ilginç bir bileşimiydi. “Bir işadamı gibi giyinirdi” diye yazar James Gleick. “Kraavatı sıkıca düğümlüydü ve beyaz gömlek manşetleri kolalıydı. Bir öğrenciyle görüşmeye başlarken müşkülpesent bir tavırla cep saatini çıkarırdı (böylece gerekli mesaj, yani profesörün ayıracak pek zamanı olmadığı iletilmiş olurdu).” Princeton fizik bölümünün bir başka mensubu Robert Wilson’ın bu meslektaşına ilişkin izlenimi ise şöyle: “Bütün o kibar görünümünde bir kaplan başıboşluğu vardı. Her türlü çılgın problemi yoklama cesaretine sahip ... pervasız bir korsandı.” Daha önce gördüğümüz gibi, Wheeler nükleer fizyonla ilgili önemli araştırmalarda Bohr’la birlikte çalışmıştı.

Wheeler’la ilk görüşmesinde Feynman cep saati jestine kafasını taktı ve sonraki buluşmada bir dolarlık kol saatini çıkarıp onunkinin yanına koyarak tepkisini gösterdi. İkisi de kahkahaya boğuldu ve ardından fizik işine döndüler.

Wheeler’ın uğraştığı “çılgın problem”lerden biri elektron teorisindeki köklü bir güçlük, elektronun “öz-enerjisi” konusuyla ilgiliydi. Elektronlar yüklüdür ve bu yük bir elektromanyetik alan yaratır. Oluşan alan da elektronla etkileşime girer. Elektronun sonlu bir büyüklüğünün olması halinde, bu öz-etkileşimin enerjisi klasik teoriye ya da kuantum teorisine göre hesaplanabilir. Fakat görelilik teorisinin getirdiği kısıtlamalar elektronların bir nokta olmanın ötesine geçmelerine elvermez, yani elektronların yarıçapı sıfır olmak zorundadır. Görünüşte masum bu olgu yıllardan beri teorisyenleri çıkmazda bırakmıştı. Nokta büyüklüğün-

de bir elektronun öz-enerjisini hesaplamaya giriştiklerinde, sonsuz sayıdan oluşan bir sonuç elde ediyorlardı ve bu da matematiksel anlamda saçmaydı. Sonsuz sayılar geçerli sayılar değildir. Toplama, çarpma ya da bölme işlemlerinde güvenli biçimde kullanılamazlar. Sonsuz sayı güçlüğünün ortaya çıkmasının nedeni, teorinin elektron etkileşimlerine elektromanyetik alanların aracılık ettiğini varsaymasıdır. Wheeler alan kavramını bir yana bırakarak teoride köklü bir değişikliğe gitmeyi önermekteydi. Böylece bir elektronun kendisiyle etkileşime girmesi gibi rahatsız edici bir kavramdan kaçınmak mümkün olacaktı. Alan teorisinin devreye girmesiyle birlikte hükmü kalmayan “bir mesafede etkiye” ilkesine dönüş demektir.

Feynman alan teorilerine musallat olan sonsuz sayılara daha MIT’de okurken kafa yormuştu. Faraday, Maxwell ve Einstein bile söz konusu olsa otoriteye meydan okumaya her zaman teşne biri olarak, bir mesafede etkiye teorisine dönüş uğraşında Wheeler’a katılmaktan memnundu. Geçerli bir klasik teori geliştirmeyi başardılar ama buna denk düşecek bir kuantum teorisi bulmayı başaramadılar. Yine de Feynman bu doğrultuda önemli bir adım attı. Kuantum mekaniğini Schrödinger denklemi gibi bir diferansiyel denkleme dayanmayacak biçimde yeniden ifade etmenin bir yolunu buldu: Diferansiyel denklemler Wheeler’ın programı için doğru matematiksel dil değildi. Bunun yerine Feynman bir olayın, sözelimi bir elektronun uzay ve zaman içinde bir noktadan ötekine geçişinin meydana gelme olasılığını hesaplama yoluna gitti. Bunun için iki olayı birbirine bağlayan akla uygun her yola ait katkıları topladı. Bu toplamada her yolun aynı ağırlığı ya da genliği ama farklı bir “faz”ı vardı. Yollar faz içinde oldukları ölçüde toplamada birbirlerini pekiştirmekteydi. Dirac’ın yazılarındaki ipuçlarından hareket eden Feynman’ın öngördüğü gibi, bir fazın yolunu belirleyen faktörün eski dostu S etkiye fonksiyonu olduğu ortaya çıktı. Böylece Feynman tamamen kuantum mekaniği bakış açısından en az etkiye ilkesini kanıtlama olanağını buldu.

Wheeler öğrencisinin başarısından öylesine etkilendi ki, Einstein’a yazdığı bir mektupta bundan şöyle söz etti:

Feynman dinamik bir sistemin bir andaki belirlenmiş bir konfigürasyondan daha sonra gelen bir andaki başka bir belirlenmiş konfigürasyona gitmesi için gerekli olasılık genliğini anlamaya yarayan güzel bir tablo yakalamış durumda. Aradaki hareket ne kadar çılginca olursa olsun, başlangıçtaki durumdan son duruma ulaşmayı sağlayan akla gelebilecek her gelişim çizgisini mutlak eşitlik temelinde ele alıyor. Bu gelişim çizgilerinin katkıları arasında genlik bakımından hiç fark yok, yalnızca faz açısından bir fark var. Faz da, klasik etkiye entegralinden başka bir şey değil. Bu formül tastamam standart kuantum teorisini doğrular. Kuantum teorisinin neyi anlattığını kavramanın daha basit bir yolu ne olabilir ki artık!

Wheeler’a göre, bir kimsenin kuantum teorisine inanması için, hatta belki de teorinin en ünlü muarızı Einstein’ın inanana katılması için yeterliydi bu. “Tan-

rı'nın zar attığına hâlâ inanmıyorum" diye cevap verdi Einstein. "Ama belki öyledir. Hatalar yapma hakkını elde etmiş bulunuyorum."

Feynman ve Wheeler bu şekilde fiziğin temellerini irdelerken, Feynman'ın diğer hayatı kargaşa içindeydi. Daha MIT'de okuduğu sırada, Arline'da sağlık sorunları ortaya çıkmıştı. Boynunun yan tarafında açıklanamayan bir büyüme ve buna eşlik eden ateş vardı. Gelişigüzel konmuş iki teşhisten sonra, bir biyopsi lenf sistemi tüberkülozu teşhisini doğruladı. Richard ve Arline bu hastalıktan kurtulamama olasılığıyla yüzleşmek zorundaydı. Lucille ve Melville'in sert muhalefetine rağmen, evlenmeye karar verdiler. "Böyle bir durumda evlenmen ben-cilce bir şey, sırf bir kişiyi memnun edecek bir davranış gibi görünüyor" diye yazmıştı Lucille bir mektubunda. "Böyle bir evliliğin yasalara aykırı olmadığını öğrenince şaşırdım. Yasak olmalıydı."

Richard sonunda Princeton'daki üçüncü yılında Arline'ı Long Island'daki evinden aldı ve iki sevgili kaçtı. Haziran 1942'de bir muhasebecinin ve hesap uzmanının şahitliğiyle Staten Island'daki bir sulh yargıcı nikâhlarını kıydı. Brooklyn'den Staten Island'a feribot yolculuğu onların "romantik tekne gezisi" oldu. Richard karısının Princeton'a yakın bir vakıf hastanesine yatmasını sağladı. "[Aşk] öylesine güzel & güçlü ki ... İkimizin de önünde mutluluk dolu bir gelecek olduğunu biliyorum, şimdi & ebediyen" diye yazıyordu Arline, hastaneden gönderdiği bir mektupta.

İkinci, Daha İnsanca Bir Dirac

Feynman'ın Princeton çay partilerine, Wheeler'in "çılgın problem"lerine ve Arline'ın belirsiz geleceğine ayak uydurmaya çalıştığı 1939 sonbaharında, Avrupa'da II. Dünya Savaşı başladı. Aynı yılın önceki aylarında Bohr nükleer fizyon haberini Amerikalı fizikçilere getirmiş ve Wheeler'la birlikte uranyum fizyonuna ilişkin bir teori geliştirmişti. Einstein 1939 yazında iki Macar mülteci Leo Szilard ve Eugene Wigner'in görüşme isteğini kabul etti ve Başkan Roosevelt'i nükleer silahların yapılabilirliği ve akla hayale sığmayacak tehlikeleri konusunda uyararak üzere hazırladıkları mektubu imzaladı. Tepki başlangıçta bürokratik ve yavaş oldu ama 1941'de Alman ordularının Avrupa'da ilerlemesi, Japonlar'ın Pearl Harbor'ı bombalaması ve Almanya'da uranyum fizyonu yolunun bulunduğu haberinin iletmesi üzerine, uranyum projesi emsali görülmemiş bir hızla para ve personel yutmaya başladı. Bütün çalışmaların sorumluluğunu 1942 sonlarında Kara Kuvvetleri İstihkâm Kolordusu üstlendi ve General Leslie Groves baş idarecilğe getirildi.

Feynman savaş çalışmaları konusunda biraz duraksama geçirdikten sonra, Princeton'da Robert Wilson yönetimindeki bir girişime katıldı. Amaç nadir U^{235} izotopunu başat U^{238} izotopundan ayıracak "izotron" adlı bir aygıt geliştirmekti. Wilson'ın metodu diğer ayırma tasarılarıyla yarışmadan yenilgiyle çıktı ve Princeton takımı bir başka görevi sabırsızlıkla beklemeye koyuldu. Bu görev 1943'te New Mexico, Los Alamos'ta Robert Oppenheimer yönetimindeki bomba laboratuvarının kapılarını açmasıyla geldi. Oppenheimer kimi zaman Manhattan Projesi'nin

diğer kollarından adam kopararak kendi fizikçi, kimyacı, mühendis ve matematikçi kadrosunu oluşturmak üzere ülkeyi baştan başa dolaşmıştı.

Feynman 1943 ilkbaharında Oppenheimer'ın çağrısına icabet eden ilk kişilerden biriydi. Arline'ın olabildiğince rahat etmesi için, karı koca özel bir kompartımanda trenle Santa Fe'ye gitti. Oppenheimer daha önce Arline için Albuquerque'de bir sanatoryum bulmuştu. Richard her hafta sonu karısının yanında olmak için otostopla ya da ödünç bir arabayla Albuquerque yolunu tuttu.

Los Alamos'ta Feynman yeteneğiyle çarçabuk göze girdi. Özellikle de teorik bölümü yönetmek üzere Cornell'den gelmiş olan nükleer fizikçi Hans Bethe'nin takdirini kazandı. Bethe geniş birikime sahip bir Alman bilimciydi: Münih, Cambridge ve Roma'da çalışmalar yapmış, 1933'te Nazi baskısı üzerine Avrupa'dan ABD'ye kaçış dalgasına katılmıştı. Kaknem suratlı irikıyım bir adamdı ama yüce gönüllü, incelikli ve pragmatik kişiliğiyle katı ve otoriter Alman prototipinden son derece uzaktı. Feynman onunla Los Alamos'ta ilk karşılaşmasını birinci monolog kitabında şöyle anlatır:

O sırada Hans Bethe dışında hiçbir ağır top henüz gelmemişti ve Bethe'nin gerek duyduğu şey konuşacak, fikirlerini aktaracak birilerini bulmaktı. Ne yapsın, bir ofiste şu ufak torlağı yakalayınca, bir fikrini açıklayıp onunla tartışmaya koyuldu. "Yo, yo, delisin sen, bu iş şöyle olmalı" deyiverdim. Bunun üzerine "Dur bir dakika" dedi ve hiç de deli olmadığını, benim deli olduğumu açıklamaya girişti. Konuşmamız bu minvalde sürüp gitti. Malum, söz fizikten açılınca, yalnızca fiziği düşünürüm ben ve kiminle konuştuğuma hiç bakmam. Bu yüzden "Yo, yo, yanılıyor-sun" ya da "Delisin sen" gibi salakça şeyler söyledim. Ama gördüm ki aradığı şey tam da buymuş.

Bethe o sırada yirmi beş yaşında olan Feynman'ı Los Alamos'taki en genç şef olarak bir grubun başına getirdi. Gruba bilgiişlem problemleriyle uğraşma görevi verildi. "Bilgiişlemci" rolünü mekanik hesap makineleriyle çalışan insanların oynadığı tarihhöncesi günlerdi o zaman. Los Alamos'ta bilgisayar çağı 1943 güzünde delikli kartların takılmasıyla programların çalıştırıldığı bir makinesiyle başladı. IBM teknisyeni bu makineyi kurmaya geldiğinde, Feynman ve ekibinin çoktan telleri bağlayıp montajı yaptığını şaşkınlıkla gördü.

Los Alamos'taki tecrit hayatı bütün sakinleri etkilese de, hiçbiri Feynman'dan daha sıkıntılı değildi. O ve Arline, sansürlerle boğuşmaktaydılar. Bir gece sarhoş oldu ve şarkılar söyleyerek, tencere tava döverek sokakları dolaştı. Bu olay içkiyi bırakma yönündeki ilk kararına yol açtı. (Arline'a yazdığı bir mektupta "git-tikçe daha mazbut" hale geldiğini anlatıyordu.) Üssü çevreleyen çitlerde delikler saprama ve *Coca-Cola* makinesinden meşrubat çalma gibi uğraşlara vurdu kendisini. Uzmanlık alanı kilitleri kurcalamak ve kasaları açmaktı. Sabır, hassas parmaklar ve uygulamalı psikoloji bileşimi sayesinde, usta bir kasa kırıcısı olup çıktı. Mağdurları kasanın içinde güvenlik boşluklarını sertçe eleştiren notlar bulmaktaydı.

Feynman'ın huysuz davranışları öyle görüldüğü kadar keyiften değildi. Bütün meslektaşları gibi bomba projesi için sürekli baskı altında ve çılgınca bir tempoyla çalışıyordu, üstüne üstlük Arline'ın sağlığındaki yavaş ama kesin bozulmayı izlemek zorundaydı. Her şey 1945'te sona erdi. Arline ilkbaharda öldü. Feynman karısının başucunda beklemek için gittiği son, delidolu yolculuğunun hikâyesini monologlarının birinde anlatır. Hikâyede Klaus Fuchs'un üç patlak lastikle Albuquerque yoluna koyulan arabasında ve Arline'ın ölüm anında duran hortlağımsı bir saatten söz edilir. Ölüm anında "dramatik bir çöküş olmamış, ... gittikçe yavaşlayan soluması çok küçük bir solumanın hemen ardından duruvermişti." Dönüş yolculuğunda yine lastiklerden biri patlak olarak Los Alamos'a vardığında, meslektaşlarının kasılmış bakışları üzerine, "O öldü. Peki, program nasıl gidiyor?" karşılığını verdi. Kaybın tam kederini ancak bir ay kadar sonra duydu: "Oak Ridge'de [özel bir görevle Tennessee eyaletine gönderildiği sırada] bir mağazanın yanından geçiyordum ve gözüme vitrindeki güzel bir elbise ilişti. 'Arlene bunu görse çok hoşuna giderdi' diye düşündüm ve bir anda yıkıldım."

Bomba projesi 16 Temmuz 1945'te bir plütonyum bombasının kullanıldığı Üçleme testiyle çarpıcı ve ayıltıcı doruğuna ulaştı. Feynman izinli olarak gittiği Far Rockaway'den tam zamanında dönerek olaya tanık oldu. Kendisine verilen koyu renkli gözlüğü, "Parlak ışık asla gözleri incitmez" gibi tartışma götürür bir gerekçeyle takmadı ve patlamayı morötesi radyasyonu kesmeye yönelik bir kamyon siper camının ardından seyretti. "Böylece o kahrolası şeyi görebildim. ... Bu insan gözüyle gören tek herif benim herhalde."

Feynman'ın Los Alamos'taki performansı, belki güvenlik bölümü hariç olmak üzere, büyük takdir topladı. Onu Berkeley fizik bölümüne almak isteyen Oppenheimer, bölüm başkanı Raymond Birge'e şunları yazdı: "Buradaki en parlak genç fizikçi ve herkes de bunu biliyor. Çok ilginç karaktere ve kişiliğe sahip bir adam, son derece temiz, her bakımdan son derece normal ve bütün yönleriyle fiziğe karşı sıcak duygular besleyen dört dörtlük bir öğretmen. Kendisinin aralarında yer aldığı teori insanlarıyla ve çok yakın uyum içinde çalıştığı deney insanlarıyla olabilecek en iyi ilişkilere sahip."

Bethe de geri kalmamak için, Cornell'deki kendi bölüm başkanı R. C. Gibbs'e yazdığı mektupta şunları belirtti: "Burada Richard Feynman adlı son derece parlak bir genç teorik fizikçimiz var. Aklı başında herkesin kanaatine göre en az Schwinger [kısa bir süre sonra kuantum elektrodinamiği teorileri kurma konusunda Feynman'a rakip olacak fizikçi] kadar iyi ama aynı zamanda hayli dışa dönük ve dolayısıyla böyle bir bölüm için çok daha yararlı. Bu adamı başka teklifler almadan önce, ki öyle olacağına hiç kuşku yok, bizim bölümümüze bağlamanın bir yolu olabilir mi acaba, diye düşünüyorum."

Bethe ve Cornell 1944 sonbaharında, Feynman'a yardımcı profesörlük ve Los Alamos'taki işinin bitmesine kadar izin sayılma hakkı önererek, gözde adamı kaptılar. "Başka yerlerden de teklifler aldım ama Hans Bethe'nin yanında olmak istediğim için bunlar üzerine hiç düşünmedim bile" diye anlatacak Feynman daha sonra Mehra'ya. "Onu çok severim ve kararımдан dolayı asla pişmanlık duymadım. Cornell'e gitmeye hemen karar verdim."

Feynman, Los Alamos'tan ayrılan ilk grup şefiydi. New York eyaletinin orta kesimindeki Ithaca şehrinde bulunan Cornell kampüsüne, Ekim 1945 sonlarında vardı. O yıl yaşamış olduğu yürek burkucu olaylardan sonra, akademik hayata alışmakta ister istemez güçlük çekti. Ömründe ilk kez endişeli ve hüsrana içindeydi. Ama onun için sinir bozukluğu gibi bir tehlike söz konusu değildi; Bethe'nin belirttiği gibi, "bunalım girmiş Feynman taşkın sevince kapılmış başka bir kimseden biraz daha neşeli görünen" bir kimseydi. Kadın öğrenciler oyalayıcı bir vesileydi. Feynman (henüz yirmi yaşında olduğu ve daha da genç görüldüğü için) lisans öğrencisi kisvesiyle partilere gidiyordu ve kafeteryada fizik ödevleri için yardıma ihtiyaç duyan "kızlar" buluyordu. Her zamanki gibi tatlı dille hikâyeler anlatıyordu ve bu konudaki şöhreti kimi zaman işin doğrusunu söylemesini güçleştiriyordu. Tıpkı şu muhabbette olduğu gibi:

KIZ: Öğrenci mi, yoksa lisansüstü öğrencisi misin sen?

FEYNMAN: Hayır, profesörüm ben.

KIZ: Ya? Ne profesörü peki?

FEYNMAN: Teorik fizik.

KIZ: Sanırım, atom bombası üzerinde de çalışmışsındır.

FEYNMAN: Evet, savaş sırasında Los Alamos'taydım.

KIZ: Haydi oradan, seni gidi yalancı!

Feynman'ın zihinsel tutukluğu bir tür mucizeyle aniden son buldu. Bir gün kafeteryada yemek yediği sırada, "sağa sola maskaralık yapan bir çocuk havaya bir tabak fırlattı." Tabak kendi ekseninde dönerken, aynı zamanda yalpalıyordu. Yapacak bir işi olmayan Feynman, tabağın hareket denklemlerini bir tarafa yazdı ve iki hareket türü arasında bağıntı kuran bir denklem türetti. Bu türev önemsizdi. Fırladama ve yalpalama dinamiği uzun yıllardan beri bilinen bir şeydi. Ancak Feynman için, uçan tabağın karmaşık hareketini diferansiyel denklemlere çevirmek sırf bir eğlenceydi.

Bethe'nin yanına giderek, "Hey Hans! Çok ilginç bir şey fark ettim" dedi. Onun ruh halini kimi zaman çözemeyen Bethe hayretle baktı: "Feynman, ilginç olmasına ilginç" dedi, "peki ama ne önemi var? Niçin uğraşıyorsun bununla?" Feynman cevabı "Ha!" oldu. "Pek öyle bir önemi yok. Sırf eğlence oldun diye yapıyorum bunu."

Yaratıcılıktaki tıkanmadan kurtulan bir yazar ya da ressam gibi, Feynman da yeniden mecrasını bulmuştu. Çok geçmeden elektronlar üzerine ve elektronla ilgili öz-enerji hesaplamasının yol açtığı sonsuz sayılar belası üzerine düşünmeye yöneldi. "Zahmetsiz bir işti. Bu şeylerle oynamak [artık] kolaydı. Bir şişenin tapasını çekip çıkarmak gibiydi: Her şey kolayca akıveriyordu. Neredeyse karşı koymak için uğraştım! Yaptığım şeyin önemi yoktu ama sonuç itibarıyla önemliydi. Bana Nobel Ödülü kazandıran diyagramlar ve bütün işler, yalpalayan bir tabağa kafayı takıp öylesine uğraşmam sayesinde geldi."

Üç Konferans

1947 yazında Long Island'ın doğu kesiminin çatala benzer iki pençe tırnağı arasında kalan Shelter Island'daki Ram's Head Inn'de yirmi beş fizikçi toplandı. Katılım davete bağlıydı ve fizik camiasının Oppenheimer, Bethe, Feynman, Wheeler, Willis Lamb, Isidor Rabi ve Julian Schwinger gibi simaları kapsayan kaymak tabakası çağrıyla uymuştu. Solvay konferanslarının bir Amerikan versiyonuydu bu.

Feynman'ın çağdaşı olan Julian Schwinger, tıpkı onun gibi, elektron-foton etkileşimleri teorisi, yani kuantum elektrodinamiği ya da kısaca KED olarak bilinen alan üzerinde sıkı bir çalışma yürütmekteydi. New York merkezli bir orta sınıf Yahudi aileye dayanan geçmişi açısından da Feynman'la bir benzerliği vardı. Ancak varlıklı Manhattan semtinde büyüyen Schwinger'in yetiştirme tarzı, şehrin uzak dış yörelerinden Far Rockaway'de Feynman'ın yaşadıklarından dünyalar kadar farklıydı. Schwinger'in babası hünherli bir kadın giyim tasarımcısıydı. Julian gençliğinde utangaç, yaşlılarından erken gelişmiş, kendini yoğun biçimde fizik ve matematiğe vermiş bir öğrenciydi. City College of New York'a (CCNY) girene kadar, önem verdiği başka bir şey neredeyse yok gibiydi. Sınıf arkadaşlarından uzak durur ve zamanını kütüphanede ileri fizik okuyarak geçirirdi. Dirac'ın makaleleri üzerinde önemli bir etki bırakmıştı.

Schwinger'in CCNY'deki kariyerinin tökezlemekte olduğu bir sırada, ağabeyi Harold, onu Columbia Üniversitesi'nde lisansüstü öğrencisi olan Lloyd Motz'la tanıştırdı. Motz'un ilk izlenimine göre, Schwinger "çok ama çok utangaç, içine kapanık, sevecen ve müziğe yatkındı." Matematik ve fizik kavrayışı "başkalarından çok daha yüksek düzeydeydi. Onu başkasıyla karşılaştırmaya olanak yoktu." Motz, Columbia'daki hocası Isidor Rabi'nin de ondan etkilenebileceğini düşündü. Öyle de oldu: Schwinger kuantum mekaniği yorumu üzerine Einstein'ın bir makalesine ortaya atılan bir noktada Rabi'nin karşılaştığı güçlüğü giderdi. "Biraz kördüğümüne dönüşen bir nokta vardı" diye anlatacaktı Rabi daha sonraları. "Bu yumurcak hiç çekinmeden konuya girdi ve eksiksizlik teoremini kullanarak bir sav ortaya attı. ... Afallayıp kaldım. Bu da nesi? Bu da nesi? Böylece onunla konuşmak istedim." Fizik bölümü başkanı ve etkili, becerikli bir kampus politikacısı olan Rabi, CCNY'deki vasat not ortalamasına rağmen Schwinger'in Columbia'ya alınmasını sağladı. (Schwinger'in yazdığı bir makaleye Bethe'nin olumlu kanaati de buna yardımcı oldu.) "Ondan sonra Julian için her şey değişti" diye devam eder Rabi'nin anlatımı. "Gerçekten *Fi Beta Kapa* topluluğunun bir mensubu haline geldi. İslah olmuş bir zat."

Bu ıslahı sağlayan hiç kuşkusuz Rabi'ydi. Onun yönetimi altındaki Columbia fizik bölümü önemli bir araştırma merkeziydi. "[Bölümdeki] herkes kendini alabildiğine fiziğe vermişti" diye yazar bilim tarihçisi Silvan S. Schweber. "Rabi'nin parlak zekâsı, nüktedanlığı, karizması ve de kimi zaman gazabı hepsini kamçılardı." Orada bulunan kişilerden Morton Hamermesh aynı dönemi şöyle anlatır: "Columbia'da kesinlikle ilgisiz bir sürü insan çalışırdı. Partiye katılmak için birilerini tanımak yeterliydi."

Schwinger, Columbia'daki lisansüstü araştırmasını diploma almadan önce tamamladı. Daha lisans öğrencisiyken nötron saçılması üzerine bir makale yayımlamıştı ve bu çalışmasını genişleterek doktora tezi haline getirdi. Utangaçlığını biraz üzerinden attı ve yetkin bir ders verme üslubu kazandı. Rabi'nin olmadığı zamanlarda, Schwinger onun yerine kuantum mekanikliği dersine giriyordu artık.

Rabi'nin bir başka yıldızı Berkeley kimya diplomasına sahip Willis Lamb'di. Berkeley'de bunun fiziksel kimya anlamına gelmesi nedeniyle, fizik lisansüstü programına girebilecek matematik ve fizik birikimine sahipti. Bu program Oppenheimer'ın yetenekli teorisyenler grubunun çekim merkeziydi. Lamb doktora tezini bitirmesine yetecek bir süre boyunca Oppenheimer'ın yanında kaldı ve 1938'de Rabi'nin davetini kabul ederek Columbia'ya gitti.

Lamb savaş sırasında radar sinyalleri için mikrodalgalar yaratmaya yönelik "manyetron" teorisi üzerinde çalıştı. Tıpkı Fermi gibi hem teorisyen hem de deneyci olarak becerikliydi. Manyetronları kurup çalıştırmak için gerekli olan çetin fabrikasyon ve vakum tekniklerinin Rabi'nin bir başka yetiştirmesi Polykarp Kusch'tan öğrendi. Bu deney çizgisini savaştan sonra metastaza yatkın hidrojen atomunun özelliklerine ağırlık vererek sürdürdü. Shelter Island konferansında duyulduğu zaman büyük yankı uyandıran önemli buluşu, spektroskopi uzmanlarının $2S_{1/2}$ ve $2P_{1/2}$ adını verdiği iki hidrojen durumunun biraz farklı enerjiler taşıdığını saptamasıydı. Zamanla "Lamb Oynaklığı" olarak anılan bu farklılık çok ufaktı ama Dirac'ın denkleminde dayanan geçerli teorisinin iki durum için tam aynı enerjiyi öngören bir hesaplamayı esas alması nedeniyle teorisyenler açısından büyük öneme sahipti: Dirac teorisi zedelenmişti. Schwinger bunu şöyle ifade eder: "Olgular inanılmazdı: Kutsal Dirac teorisinin darımadığın olup üzerimize çöktüğü söyleniyordu!"

Cornell'de bir lisansüstü öğrencisi olarak Bethe'ye katılan İngiliz fizikçi Freeman Dyson, daha sonraki bir yazısında Lamb deneylerinin teorisyenleri en görkemli atılımlarından birine, yani bir kuantum elektrodinamik teorisi taşıyan "ilerleme dalgası"nı başlattığını aktarır. Altmış beşinci yaş günü için Lamb'e gönderdiği kutlama mektubunda şu ifade yer alır: "Lamb Oynaklığı'nın fizikte ana tema olduğu o yıllar, benim kuşağımın bütün fizikçileri için altın çağdı. Ele avuca sığmaz ve ölçülmesi zor o ufakacık oynaklığın parçacıklar ve alanlar hakkındaki düşünme tarzımızı esaslı bir bakımdan açıklığa kavuşturacağını ilk gören sizdiniz."

Bu açıklığa kavuşma 1948'de, Amerikan Fizik Derneği'nin New York'taki bir toplantısında ve daha sonra Pennsylvania eyaletinde Scranton ve Delaware Kanalı'nın tam ortasında Pocono Malikânesi'ndeki bir başka davete bağlı konferansta belirmeye başladı. Shelter Island katılımcılarından çoğunun hazır olduğu bu konferansa gelenler arasında Bohr, Dirac ve Wigner da vardı. Şimdi sahne alma sırası Schwinger'deydi. Lamb Oynaklığı'nı doğru biçimde hesaplayan etraflı bir kuantum elektrodinamik teorisi geliştirmişti. Schwinger'in öncellerinden bazılarının görüşlerini de katarak kurduğu teorisinin kaçınılmaz bir özel-

liği, bütün sonsuz terimleri ortadan kaldırarak yerlerine ölçölmüş elektron yükünü ve kütesini içeren faktörler geçirmesiydi. Bu “yeniden normalleştirme” prosedürü, teorinin kuşku uyandırıcı matematiksel nitelikler barındırmasına yol açmaktaydı: Sonsuz sayılar hâlâ oradaydı ama artık hesaplamalar önünde bir engel değildi.

Schwinger’in teorisi çapraşıktı. Bunu bütün gün süren bir maraton oturma da sundu. Oppenheimer dışında çok az kişi onu baştan sona izledi. Dyson’ın yorumuna göre, teori, “ortodoks ilkeler üzerine kuruluydu ve matematiksel tekniğın bir şaheseriydi.”

Feynman da Pocono konferansında sunumda bulundu ama o kadar etkileyici olmadı. Onun da Lamb Oynaklığı’nı hesaplayan kuantum elektrodinamiğı teorisi vardı ama dayandığı esas sezgisel ve görseldi, yani seçkin Pocono konferansı katılımcılarının alışkın olmadığı bir yapıdaydı. Dyson bunu şöyle açıklar: “Dick’in fiziğinin sıradan insanlarca kavranmasının bu kadar zor oluşunun nedeni denklemler kullanmamasıydı. ... Dick denklemleri vermeksizin dosdoğru kafasındaki çözümleri yazıya dökerdi. İşlerin nasıl olup bittiğine dair bir fiziksel tablosu vardı ve bu tablo asgari hesaplamayla doğrudan çözümleri sunardı ona. Ömürlerini denklemler çözmekle geçirmiş insanların kafalarını karıştırması hiç de şaşırtıcı değildi. Onların zihinleri analitik; Feynman’ın zihni ise görsel.”

Feynman haklı olduğunu biliyordu ama başkalarını inandıracak matematiksel araçlardan yoksundu. Bunu daha sonraları Mehra’ya şöyle anlatacaktı: “Benim açımdan problem bütün düşünme tarzımın fiziksel olmasıydı. İşleri kendi uydurduğum hazır ve katı metotlara yapardım. Üzerinde konuşulacak bir matematiksel dizgem yoktu. Aslında bütün diyagramlarıma, kurallarıma ve sonuçlarıma kaynaklık edecek tek matematiksel ifade bulmuştum. Formüllerimden birinin işe yaradığını anlamamın tek yolu, bundan doğru sonuç elde etmemdi.”

Görünüşte birbirine aykırı Feynman ve Schwinger teorilerini sıradan fizikçilerce kullanılacak biçimde bir araya getirip bütünleştiren Freeman Dyson oldu. Schwinger gibi, Dyson da yaşıtlarından arken gelişmiş biriydi. Daha çocukken bile matematik ve bilime tutkundu. “[Anne babası] düşünsel konulara derin bir ilgi duyan bir çiftti, onun doğumuyla tam istedikleri çocuğı elde ettiler” diye yazar Schweber. Sekiz yaşına gelen Freeman saygın bir yatılı okul olan Twyford College’a gönderildi. Okul Freeman’ın evine yalnızca beş kilometre uzaktaydı, ama anne babası onu ziyarete gitmedikleri gibi, o da tatiller dışında eve gitmezdi. Daha sonraları bunu “garip ve yasağcı bir ortam” diye nitelendirecekti.

Ama akademik performansı olağanüstüydü ve on iki yaşında Winchester College, yani Schweber’in ifadesiyle “İngiliz özel okul sisteminin entelektüel şahikası” için burs sınavına girdi. Bursu kazanmakla kalmayıp, yarışta birinci sırayı elde etti. Babası duyduğu gururu içinde saklamadı: “Ailemizde bir Nobel Ödülü almaktan daha önemli bir olay bu” dedi. Twyford College bir günlük tatil ilan etti.

Winchester’da Dyson matematik derslerine büyük bir hevesle sarıldı ve birçok ödöl kazandı. Ayrıca dil öğrenmede dikkate diğer bir yatkınlığı olduğunu

gösterdi. Usta bir kemancı ve okulun üç bin metre engelli yarış şampiyonu olmasına yetecek zamanı buldu. Winchester'daki dönem arkadaşlarından biri, onunla ilgili izlenimini "aynı delici gözleri ve bulaşıcı, hafif alaycı gülüşünü şimdi de taşıyan çok açık tenli, narin yapılı bir çocuk" sözleriyle aktarır.

Winchester'dan sonra Dyson, doğal olarak Cambridge'e gitti ve 1941'de burslu olarak Trinity College'a girdi. Cambridge matematikçilerinin ve fizikçilerinin çoğu askerlik hizmetinden dolayı oradan ayrılmıştı ama Dirac'ın yanı sıra matematik profesörleri G. H. Hardy ve Abram Besicovitch hâlâ görevdeydi. Winchester'dayken Dirac'ın *Principles of Quantum Mechanics* kitabını "hiçbir şey anlamadan" okumuş olan Dyson, onun derslerinden daha fazla şey öğrenmeyi umuyordu. Derslerin neredeyse kelimesi kelimesine kitaptan anlatıldığını görüne hayal kırıklığına uğradı. Hardy o sıralarda derin bunalımda, kabuğuna çekilmiş ve "yüreklendirici olmaktan uzak"tı. Buna karşılık Besicovitch iyi bir öğretmen ve dost olarak çıktı Dyson'ın karşısına.

Dyson sırf heyecan olsun diye "gece tırmanışı" denen tehlikeli bir tırmanış çeşidine merak sardı. Bu sporu yapanlar dağ yamaçlarında ve sırtlarında halatlı tırmanış yerine, üniversite binalarının bacalarında, yağmur suyu oluklarında ve pencere pervazlarında hiçbir şeye bağlı olmaksızın tırmanıyorlardı. Bunun bir gece sporu olması nedeniyle, yakalanma gibi bir korkuları yoktu. Dyson ve Peter Sankey adlı bir arkadaşı, sporun *Cambridge Gece Tırmanıcıları* adlı rehber kitabında tarif edilen binaların çoğuna "çentik" atmayı başardılar. "Gece dışarı çıkmak, binaların tepesinde olmak ... [ve] çan seslerini dinlemek çok hoştu" diye anlatacağı Dyson daha sonraları Schweber'e.

Dyson'ın Cambridge kariyeri Kraliyet Bombardıman Komutanlığı'nda sivil bilimci olarak görev aldığı iki yıl boyunca kesintiye uğradı. Görevi o sırada Alman şehirlerine yönelik yoğun ve tehlikeli hava akınlarından izlenen stratejileri analiz etmek ve düzeltici önerilerde bulunmaktı. Tavsiyeleri çoğu kez sağduyunun gereklerinden ibaretti ama başkomutanın iştirmek istediği şeyler değildi bunlar. Dyson sonunda "Bombardıman Komutanlığı'nın bilim ve teknolojinin kötü yönlerini olabildiğince teşhir etmek amacıyla bir sosyolog tarafından icat edilmiş olabileceği" yargısına vardı.

Savaştan sonra Cambridge'e döndüğünde, teorik fizik Dyson'a matematikten daha çekici geldi, üstelik başkalarının fizik camiasını terk etmesine yol açan nedenlerden dolayı. "Teorik fizik öylesine bir keşmekeş içinde ki, saf matematiğe geçmeye karar verdim" demişti bir arkadaşı. Dyson'ın cevabı ise şuydu: "Ne kadar garip. Ben de tam tamına aynı nedenle teorik fiziğe geçmeye karar verdim!" Ne yaptığını biliyordu. Fizik özellikle Amerika'da mayalanma sürecindeydi ve önemli katkılarda bulunmak için fırsatlar vardı. Cambridge'deki hocalarından biri olan ve Los Alamos mezunları arasında yer alan G. I. Taylor, Cornell'e gidip Beth'e'nin yanında çalışmasını öğütledi. Beth'e'ye yazdığı bir tavsiye mektubunda, Dyson'ın kendi kanaatine "İngiltere'deki en iyi matematikçi" olduğunu yazdı.

Dyson 1947 sonbaharında Cornell'e vardı ve sıradan bir lisansüstü öğrenci-

si olarak kaydını yaptı. (Henüz doktora diploması almamıştı ve daha sonra da almak nasip olmadı ona). Anne babasına yazdığı bir mektupta önceleri Bethe hakkında duyduğu bazı kuşku­ları dile getirdi: "Bethe'i soracak olursanız, tuhaf bir şahıs, çok iri ve hantal, olağanüstü çamurlu eski ayakkabılar giyiyor. Çok dost canlısıymış gibi bir izlenim veriyor ama daha çok bir profesör karikatürü; her neyse, Los Alamos'ta ikinci adam konumunda olduğuna göre, birinci sınıf bir örgütçü de olmalı."

Dyson aradan bir ay geçince Bethe'in ayakkabılarından ve acayip davranışlarından çok daha fazlasını görmeye başladı. Ailesine "Bethe'nin kusursuz cömertliği ve bencillikten uzaklığı karşısında hayretler içinde kaldığı"nı yazdı. Cornell fizik bölümündeki başkalarından da etkilendi, bunların başında ise kısa sürede yakın dost olduğu Feynman geliyordu.

Dyson'ın, Bethe grubuna katıldığı yıl içinde Shelter Island konferansı, ardından da Pocono toplantısı yapıldı. Bunların ikincisinde Schwinger matematik virtüözlüğünün yorucu bir teşhiriyle teorisini sunmuş, Feynman da dinleyici kitlesine uygun düşecek matematiğe yeterince başvurmaksızın teorisini açıklamaya çalışmıştı. Sırf bir lisansüstü öğrencisi olan Dyson her iki konferansa da katılmadı. Ama Wheeler'ın Pocono toplantısıyla ilgili olarak tuttuğu notlardan, Schwinger'in ve Feynman'ın savlarının ana fikrini kavradı. Michigan Üniversitesi'nin Ann Arbor'daki bir yaz sempozyumunda Schwinger'in teorisi üzerine ders vereceğini öğrenince, bu sempozyuma katılarak daha fazlasını öğrenmeyi tasarladı. Seminerden iki hafta önce Feynman bir sevgilisinin peşinden Albuquerque'e gideceğini belirtti ve Dyson'a kendisiyle birlikte gelip gelmeyeceğini öylesine sordu. Dyson fırsatı kaçırmadı, hem ülkenin bir başka köşesini görmüş olacak hem de Feynman'ın ilgisinin birkaç günlüğüne az çok dağılması sayesinde, dostunun teorisinin matematiksel ve fiziksel anlamını daha derinlemesine yoklama şansını yakalayacaktı.

Albuquerque gezisi tipik bir Feynman serüveni biçiminde geçti: Oteller dolu olduğu için kerhanede geçirilen bir gece, otostopçu iki sebatkâr Yerli'nin yol arkadaşlığı, Albuquerque'e aşırı süratli girmekten dolayı verilen ve Feynman'ın yargıcı kafaya almasından sonra elli dolardan on dolara indirilen bir para cezası. Dyson daha sonra Amerika'daki gözde seyahat aracı olan bir Greyhound otobüsüyle doğuya dönerek Ann Arbor'ın yolunu tuttu.

Schwinger'in ders dizisi "mükemmel"di ve Dyson onunla karşılıklı konuşmalarda ayrıntıları irdeledi. Ancak Schwinger'in teorisi matematiksel bakımdan tutarlı olmakla birlikte, Dyson'a "inanılmaz ölçüde çapraşık" geldi. "Bu işin doğru yolu" öyle olamazdı. Schwinger'in derslerinde anlatıldığı haliyle, teori "Schwinger dışında kimsenin kıvrılamayacağı becerileri gerektiren bir şeydi. Dersleri dinleyen birisinin temeldeki motivasyonu anlaması olanaksızdı. Bu harika matematiksel düzenekte kaybolup gitmiş bir şeydi bu."

Ann Arbor'dan sonra Dyson doğal manzaralı yeni bir Greyhound otobüs yolculuğu yaparak bu sefer San Francisco ve Berkeley'e gitti. Dönüşte yaşadığı şeyi şöyle anlatır Dyson:

...Üçüncü günde Nebraska'dan biteviye bir ilerleyişle geçerken, aniden bir şeyler oldu. İki hafta boyunca fizik üzerine düşünmemiştim. Derken fizik bir patlama halinde bilincime doluverdi. Feynman'ın resimleri ve Schwinger'in denklemleri daha önce hiç olmamış bir durulukla kafamda dizilmeye başladı. İlk kez hepsini bir araya getirip düşünebildim. Bir iki saat parçaları düzenleyip durdum. Sonunda hepsinin birbirine oturduğunu gördüm. Yanımda kâğıt kalem yoktu ama her şey öylesine duruydu ki, bunu yazıya dökme gereğini duymadım. Feynman ve Schwinger aynı fikirler dizisine iki farklı yakadan bakıyorlardı yalnızca. Metotların bir araya getirilmesi, Schwinger'in matematiksel kesinliğini Feynman'ın pratik esnekliğiyle birleştiren bir kuantum elektrodinamiği teorisine varmayı sağlayacaktı. Sonunda orta yolda buluşan açık seçik bir teori ortaya çıkacaktı.

Dyson "orta yol teorisi"ni Amerikan Fizik Derneği'nin Ocak 1949 sonlarındaki bir toplantısında sundu. Teori çarçabuk benimsendi ve Dyson'ı şöhrete ulaştırdı. "Vay, Doktor, revaçtasın!" yorumuyla karşıladı bunu Feynman.

Kuantum elektrodinamiği destanında Feynman, Schwinger ve Dyson'ın yanı sıra dördüncü bir baş oyuncu da yerini aldı. Tokyo'da 1906'da bir felsefe profesörünün oğlu olarak dünyaya gelen Şiniçiro Tomonaga'ydı bu. Çocukluğunda yaşatlarıyla pek uyuşamayan ve çoğu kez hastalıklı olan Şiçiro, bu nedenle eğlenmek için evde yapılan deneylere yöneldi. Ailesinin 1913'te taşındığı Kyoto'da saygın bir lisede başarılı bir öğrenci olarak öne çıktı. Okulun bir başka üstün öğrencisi ve aynı zamanda yakın arkadaşı, daha sonraları nükleer kuvvetlere ilişkin mezon teorisiyle üne kavuşacak olan Hideki Yukava'ydı.

Tomonaga ve Yukava 1923'te Kyoto Üniversitesi'ne girdiler. Son yıllarında Heisenberg, Dirac, Jordan, Schrödinger ve Pauli'nin makalelerini okuyarak kuantum mekaniğine yoğunlaştılar. Tokyo'da 1929'da konferans veren kuantum teorisyenleri Heisenberg ve Dirac'ı şahsen görme olanağını buldular. Tomonaga mezun olduğu sırada Japonya'nın ekonomik bunalıma girmesi nedeniyle iş olanakları çok sınırlıydı ama Japon fizik dünyasının Bohr'u sayılan Yoşio Nişina'nın dikkatini çekme şansını yakaladı. Nişina 1921-1928 arasında fizikçilerin toplandığı önde gelen Avrupa merkezlerinde çalışmalar yürütmüştü: Cambridge, Göttingen, Kopenhag ve Hamburg. Japonya'ya döndüğünde Tokyo'daki Fizik ve Kimya Araştırmalar Enstitüsü (Rikagen Kenkyuşo, kısaca "Riken") araştırma direktörlüğüne atandı. Tomonaga'yı da kadrolu asistan olarak Riken'deki laboratuara katılmaya davet etti. Bir altın fırsattı bu. Tomonaga daha sonraları şunları şöyle anlatacaktı: "O sıralarda Nişina'nın laboratuvarında tam bir körpelik havası esiyordu. Bütün elemanlar gençti. Büyük şefimiz Nişina bile henüz kırklı yaşların başındaydı. Her gün bir araya gelir, şevk dolu bir grup halinde çeşitli konuları tartışırdık. Bunlar arasında sadece fizik meseleleri değil, bira partilerine, gezintilere ve benzeri olaylara dönük planlar da vardı."

Riken'de Nişina ve Tomonaga'nın da yer aldığı teorik grup 1930'larda kuantum elektrodinamiğindeki gelişmeleri yakından izledi. Dirac'ın kitabını İngi-

lizce'den Japonca'ya çevirme gibi "zahmetli bir uğraş"a soyunarak onun Japon okurlarına ulaşmasını sağladı. Tomonaga 1937'de iki yıl Heisenberg'in yanında kalmak üzere Leipzig'e gitti. Orada giriştiği projeler pek umut verici bir gelişme göstermedi ve sabırsız kişiliğinden dolayı bunalıma girdi. "Talihsiz çalışma vesse-lam!" diye yazdı güncesine. "Son zamanlarda ortada hiç sebep yokken büyük üzüntüye kapıldım. ... Şu doğa niçin daha berrak ve daha doğrudan anlaşılır değil?"

Nişina'nın teşvik ve himayesi altında, Tomonaga teorik çalışmalarını Büyük Okyanus'ta savaşın patlak verdiği ve çarpışmaların Japonya'ya yaklaştığı 1940'ların başlarına kadar sürdürdü. Artık odak noktası kuantum elektrodinamiği-ydi. Dirac'ın ötesine geçerek, elektronun öz-enerjisi probleminin ve görünüşte bunun yol açtığı sonsuz sayılar lanetinin üstesinden gelme çabası içindeydi. 1943'te *Teorik Fizikte İlerleme* adlı Japon dergisinde, önemli bilimsel literatür antolojilerinin hepsine girebilecek nitelikte bir dizi makale yayımladı. Dyson'a göre, bu makaleler "Julian Schwinger'in teorisinin ana fikrini matematiksel ayrıntılara girmeksizin basit ve kolay anlaşılır bir dille ortaya koyuyordu."

Üstelik bu iş 1943'te, yani Schwinger'in teorisini yayımlamasından beş yıl ve Lamb'in kritik önemdeki deneysel sonuçlarını açıklamasından dört yıl önce oluyordu. O sırada Japonya Batı dünyasından yalıtılmış olduğu için, makaleler kimsenin dikkatini çekmedi. Hak edilen takdir nihayet savaştan sonra geldi. Ülkesinin harabeye döndüğü ve gıda sıkıntısının çekildiği bir dönemde, Tomonaga "düşünmesine hiç gerek bırakmayacak" bir iş, savaş sırasında yazdığı makaleleri İngilizce'ye çevirme işini buldu. *Newsweek*'in bilim sayfasında Lamb'in deneyleriyle ilgili haberi okuyunca, çeviri onun için geçime dönük meşgalenin ötesinde bir anlam kazandı. Böylece eski çalışmasının tam önemini ve yeniden normalleştirme programını kapsayacak biçimde bunu nasıl genişleteceğini kavrayabilirdi. Savaş sırasındaki ve yakın dönemdeki araştırmalarının bir özetini 1948'de Oppenhemier'a gönderdi. Bir telgrafla cevap veren Oppenhemier "*Physical Review*'da derhal yayımlanmak üzere mevcut duruma ve görüşlere ilişkin özet bir açıklama yazmasını" ısrarla istedi.

Savaş sonrasındaki davete bağlı konferansların üçüncüsü Nisan 1949'da New York eyaletinin Peekskill kasabasındaki Oldstone-on-the-Hudson'da düzenlendi. Gözde tartışma konuları Feynman'ın metodu ile Feynman'ın, Schwinger'in ve de artık Tomonaga'nın bakış açılarına ilişkin Dyson'ın sentezi oldu.

Bu hikâyeye dair son bir not: Feynman, Schwinger ve Tomonaga 1965 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştılar. Birçok kimsenin bu onuru hak ettiği kanısında olmasına rağmen, Dyson aralarında yer almadı. Öyle görünüyor ki bir Nobel Ödülü'nü üç kişiden fazlasının paylaşamayacağı yolundaki kuralın kurbanı oldu.

KED ve "KED"

Feynman bilim dünyası dışındaki okurlara dönük *QED* (*KED*) adlı hoş kitabında, kuantum elektrodinamiği teorisini "fiziğin değerli taşı, en çok gurur duyduğumuz eşya" olarak nitelendirir. Bu görüşe katılmayacak çok az kişi vardır. Söz

konusu teori, fiziksel etkiler dünyasına eksiksiz bir başarıyla uygulanmıştır. Bu fenomenlerden bazıları şaşırtıcı kesinlikte ölçümlere olanak vermekte ve Feynman'ın KED yaklaşımının öngördüğü hesaplamalarla uyusmaktadır. Örneğin, bir elektronun taşıdığı manyetik alanın gücü, yani elektronun "manyetik momenti" son hanede yaklaşık 4 düzeyinde bir belirsizlikle 1,00115965221 olarak (belirli birim değerlerde) ölçülmüştür. (Dirac'ın teorisinde bu sayının tam tamına 1 olduğu öngörülür.) KED teorisinin hesaplamasına göre ise elektronun manyetik momenti son hanelerde 20 düzeyinde bir belirsizlikle 1,00115965246'dır. New York ile Los Angeles arasındaki uzaklık böylesine bir kesinlikle ölçülebilse, bir insan saç telinin kalınlığı kadar bir payla kesin sonuca varılmış olur.

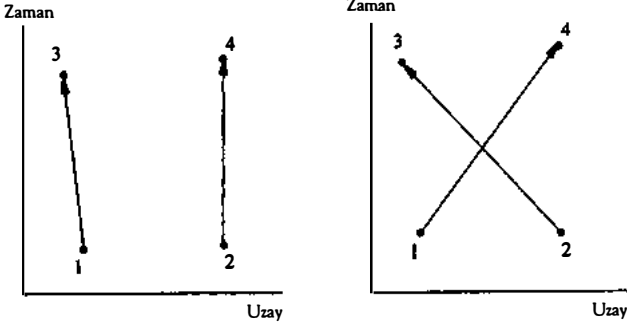
KED iki tür temel parçacık, yani elektronlar ve fotonlar ile çok sayıda etkileşim yolları üzerinde durur. Kuantum mekaniğindeki alışılmış uygulamayla, teori istatistiksel hesaplamalarla sınırlıdır. Belirli bir olay için hesaplanan bir "genlik" esas alınarak, bu olaya ilişkin olasılık belirlenebilir. Olasılıkların daha ötesini eşelemenin bir yolu yoktur. "Bu Doğa analizinin altında 'çarklar ve dişliler yoktur' diye yazar Feynman. "Doğa'yı anlamak istiyorsanız, esas alacağınız şey budur."

Teori üstlendiği çarpıcı işi elektronlar ve fotonlar arasında yalnızca üç etkiye türünü göz önünde tutarak yerine getirir: Feynman bunları KED'de (1) "bir foton noktadan noktaya gider", (2) "bir elektron noktadan noktaya gider", (3) "bir elektron bir foton salar ya da soğurur" diye tarif eder. Her etkimenin belirli bir genliği vardır. Eğer iki nokta A ve B olursa, KED kitabındaki anlatıma göre Feynman'ın yolunu izleyerek, genliği belirtirken ilk etkiye için $P(A'dan B'ye)$ ve $E(A'dan B'ye)$ ifadelerini kullanabiliriz. Üçüncü etkiye için genlik yaklaşık $-0,1$ (belirli birimlerle) değerine sahip bir sayıdır ve aynı zamanda elektronun elektrik yüküne eşittir. Feynman kitabında bu sayıyı ifade etmek için j terimini kullanır.

Böylece bir süreç, sözelimi uzay ve zaman içinde 1 ve 2 noktalarından başlayıp 3 ve 4 noktalarına varan iki elektron için, Feynman tarzı bir KED hesaplamasında, Çizim 25.1'in sol tarafındaki basit "Feynman diyagramı"nda görüldüğü gibi, $E(1'den 3'e)$ ve $E(2'den 4'e)$ şeklindeki iki genliği bilmemiz gerekir.

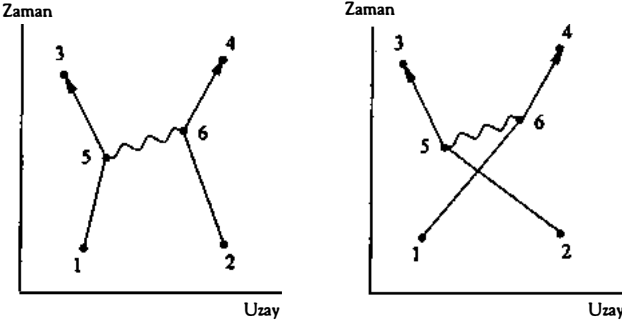
Ayrıntılı bir hesaplama yaparken, iki E fonksiyonunun matematiksel kalıbını bulmak için "Feynman Kuralları" denen bir dizi kurala başvururuz. Hiçbir foton devrede olmadığı için, P_s ya da j_s hesaplamaya girmez. Böyle ilerleyen bir süreç için genlik $E(1'den 3'e) \times E(2'den 4'e)$ kalıbını taşır. Elektronların 1 ve 2 noktalarından 3 ve 4 noktalarına varmasının tek yolu budur. Çizim 25.1'in sağ tarafındaki diyagram genlik hesaplaması farklı $E(1'den 4'e) \times E(2'den 3'e)$ kalıbına sahip bir başka yolu gösterir. İki genliği bir araya getirmek (toplamak ya da çıkarmak), olay için bir ilk yaklaşık değeri verir.

İki elektron elektrik yükü taşıdıklarından, bir fotonun taşıdığı bir kuvvet aracılığıyla etkileşime girerler. Bu olasılırlık Çizim 25.1'in diyagramlarında göz önünde tutulmaz. Çizim 25.2'de yer alan Feynman diyagramları, tek bir fotonun aracılık ettiği etkileşimle olayımızın gerçekleşebileceği iki yolu gösterir. Bir elekt-



Çizim 25.1. İki elektronun uzay ve zaman içinde 1 ve 2 noktalarından 3 ve 4 noktalarına varmasına ilişkin Feynman diyagramları.

ron önce 1 noktasında 5 noktasına yolculuk eder. Ardından dalgalı bir çizgiyle gösterilen bir foton salar ve 5 noktasında 3 noktasına doğru yoluna devam eder. İkinci bir elektron 2 noktasında harekete başlar, 6 noktasında fotonu soğur ve 6



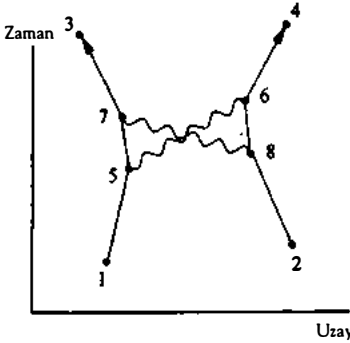
Çizim 25.2. İki elektronun uzay ve zaman içinde 1 ve 2 noktalarından 3 ve 4 noktalarına varmasını sağlayan başka iki yola ilişkin Feynman diyagramları. Bu yollar elektronlar arasında bir fotonun aracılık ettiği etkileşimi kapsar.

noktasından 4 noktasına doğru yoluna devam eder. Şimdi hesaplamamızın elektronlar için $E(1'den\ 5'e)$, $E(5'ten\ 3'e)$, $E(2'den\ 6'ya)$ ve $E(6'dan\ 4'e)$ genliklerini, foton için $P(5'ten\ 6'ya)$ genliğini ve biri foton salımı, diğeri foton soğurumu için olmak üzere iki kez j genliğini içermesi gerekir. Doğruda diyagrama bakarak okunduğunda, hesaplamamızın kalıbı şöyle olur:

$$E(1'den\ 5'e) \times j \times E(5'ten\ 3'e) \times P(5'ten\ 6'ya) \times E(2'den\ 6'ya) \times j \times E(6'dan\ 4'e)$$

Olayımıza ilişkin genliğe dönük daha iyi bir yaklaşık değer için, bu sonucu ilk ikisine ekleriz. Hesaplama j 'nin iki kez yer aldığına, dolayısıyla $j \times j = j^2$ çarpımının söz konusu olduğuna dikkat edin. Büyüklük bakımından j 'nin küçük (yaklaşık 0,1'e eşit) ve j^2 çarpımının daha da küçük (yaklaşık 0,01'e eşit) olması nedeniyle, ilkinin göre bu terim olaya ilişkin toplam genliğe küçük katkıda bulunur. Çizim 25.2'nin sağ tarafındaki Feynman diyagramı, bir fotonun etkileşime aracılık etmesiyle olayın meydana gelebileceği bir başka yolu gösterir. Bu diyagramlarda dalgalı bir çizgi olarak yer alan foton, iki elektron arasındaki bir elektromanyetik etkileşimi ifade eder ama yalnızca geçici bir varoluşa sahiptir. Uzun mesafelerde yol alabilecek olağan bir foton değildir bu. Belirsizlik ilkesinin elverdiği çok kısa bir süre boyunca varolur. Parçacık fiziği diliyle bir "sanal foton"dur.

Feynman hesaplaması açık uçlu bir iştir. Feynman diyagramları çizmeyi ve bunlara denk düşen hesaplamaları formüle etmeyi sonsuza kadar sürdürebiliriz. Çizim 25.3 ele aldığımız iki elektronlu olaya ilişkin bir başka olasılığı yansıtır. Burada iki foton devrededir ve her iki elektron da bir foton salar ve soğurur. He-

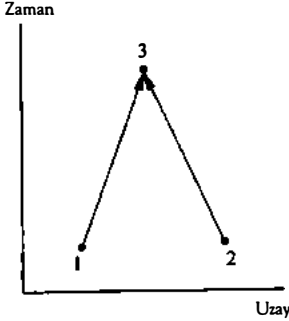


Çizim 25.3. İki elektronun uzay ve zaman içinde 1 ve 2 noktalarından 3 ve 4 noktalarına varmasını sağlayan başka bir yola ilişkin Feynman diyagramı. Burada her elektron bir foton salar ve soğurur.

saplama artık dört j faktörünü, yani j^4 çarpımını içerir. Bu da yaklaşık 0,0001'e eşittir ve olaya ilişkin toplam genliğe katkısı daha önce ele alınanlara oranla daha da küçüktür. Neyse ki, bu tür hesaplamalarla uğraşanlar için, görmekte olduğumuz kalıp genel bir niteliğe sahiptir. Feynman diyagramları çoğaldıkça ve daha çapraşık bir yapı kazandıkça, zorunlu kıldıkları hesaplamalar daha az önemli ve daha çok gözden çıkarılabilir hale gelir.

Şimdiye kadarki anlatımda elektron davranışının önemli bir vechesi olan spini ve güçlü bir ilkeyi göz ardı etmiş bulunuyoruz. Söz konusu ilke, aynı spin durumundaki iki elektronun uzay ve zaman içinde aynı noktayı kaplayamayacağını öngörür. Dolayısıyla aynı uzay-zaman menziline sahip iki elektronun görüldüğü Çizim 25.4'teki diyagrama denk düşen genlik, iki elektronun aynı spin durumunda olması halinde sifıra eşit olmak zorundadır. Bu da daha önce kuantum sayılarının dilini anlatırken tanıştığımız Pauli dışlama ilkesinin bir başka ifade

biçimidir. Genel fikir aynı fiziksel tarife sahip iki elektronun bir araya gelmeye yanaşmamasıdır; aslına bakılırsa, bu elektronlar bilinçli olarak birbirlerinden kaçınırlar.



Çizim 25.4. Uzay ve zaman içinde aynı noktayı kaplamaya çalışan iki elektrona ilişkin Feynman diyagramı. Bu sürecin genliği iki elektron aynı spin durumundayken sıfır, farklı spin durumlarındayken sıfır dışında bir sayıdır.

Dışlama ilkesinin yardımıyla Feynman diyagramlar, elektronlar ve fotonlar ile davranışlarına yön veren elektromanyetik kuvvet hikâyesi konusunda epeyce şey anlatır. Feynman *KED* kitabında belirttiği gibi, bu teori “dışlama ilkesinden ve çok basit üç etkimenin, yani $P(A'dan B'ye)$, $E(A'dan B'ye)$ ve j 'nin defalarca tekrarlanmasından kaynaklanan müthiş bir çeşit bolluğu ve heyecan” sunar.

Benekli Bikini İçindeki Kız

Feynman 1950'nin bir kış gününde Cornell ve Ithaca hakkında olumsuz düşünceler edinmeye başladı. Arabası sulu sepken karda yana kaymış, lastik zincirleriyle boğuşmak için dışarı çıkmış ve aklına daha iyi iklim koşulları takılıvermişti. “İşte *tam o anda* artık bu işin suyunun çıktığına karar verdiğimi hatırlıyorum” der Feynman, monolog kitaplarının birinde. “Dünyada böyle bir sorunun yaşanmadığı bir yer olmalı herhalde.”

Öyle bir yer vardı ve Feynman bunu Pasadena'daki California Teknoloji Enstitüsü'ne bir ziyaret daveti aldığı anda buldu. Daha önce Cornell'de çalışan ve Bethe'nin bir arkadaşı olan Robert Bacher'in bu davetinde adam kapma niyeti de eksik değildi. “Onu görmeye gittiğimde çok şık giyimliydi” diye yazar Feynman ilk monolog kitabında. “İçimi dışımı bilen biri olduğu için, bir ara şöyle dedi: ‘Baksan Feynman, elimde boş bir araba var, geçici olarak vereyim sana. Hollywood'a ve Günbatımı Şeridi'ne gidiş yolu da bak işte şöyle. Gönölünce bir güzel eğlen.’ Böylece her gece onun arabasıyla Günbatımı Şeridi'nin yolunu tutmaya başladım. Gece kulüpleri, barlar ve âlem. Las Vegas'tan bildiğim ve hoşlandığım bir ortamdı bu. Tatlı kızlar, büyük iş çevirenler vb. Velhasıl, California Teknoloji Enstitüsü'ne ilgi duymamı sağlamanın yolunu biliyordu Bacher.”

Hava durumu bakımından Ithaca'yı kenara itecek bir başka yer Brezilya'ydı. Feynman 1949'da altı hafta Rio de Janeiro'da kalmıştı ve bir kez daha oraya git-

me özlemi içindeydi. Bacher bir çıkar yol bulabileceğini söyledi. California Teknoloji Enstitüsü bir yıllık ücretli akademik araştırma izniyle Brezilya'da geçireceği 1951-52'den *başlamak üzere* Feynman'a profesörlük önerdi. Hans Bethe'ye duyduğu büyük saygıdan dolayı biraz pişmanlık duysa da, Feynman teklifi kabul etti.

Brezilya'ya giden Feynman, Copacabana'daki Miramar Palace Otel'i'ne yerleşti. Sabahları Rio'daki Fizik Araştırmaları Merkezi'nde Portekizce ders veriyor ve öğleden sonra sahile iniyordu. Plajlarda ve barlarda sıcakkanlı kadınlar bularak, aşırı içmeye başladı. Bir akşamüstü içinden tek başına demlenme dürtüsü uyandığında, alkolizme kaymakta olduğunu fark etti. "Anlayamadığım [bu] güçlü duygu beni ürküttü" diye yazar ilk monolog kitabında. "Diyeceğim şu ki, düşünmekten büyük haz aldığım için, hayata böylesine büyük keyif katan en hoş makineyi yok etmek pek işime gelmedi." Bu olaydan sonra içkiyi bıraktı ama partilerde sarhoş numarası yapmakta da hiçbir sakınca görmedi.

Brezilya'daki kalış süresinin sonuna doğru, Feynman bir arkadaşını ("saçları örgülü çok hoş bir kıızı") müzeye götürdü. Mısır bölümünde ona mezara gömme alışkanlıkları üzerine nutuk çekerken, Mısır uygarlığına ilişkin bu gizemli bilgi kırıntılarını Ithaca'daki eski bir sevgilisi olan ve o sırada Pasadena yakınlarında oturan Mary Louise Bell'den öğrenmiş olduğu aklına geliverdi birden. Derin bir nostalji sızısı duydu ve ona bir mektup yazarak evlenme teklifinde bulundu. Olumlu bir karşılık aldı ve Brezilya'dan döndüğü Haziran 1952'de onunla evlendi. Ancak uyuşmayan kişilikler nedeniyle hatalı bir evlilikti bu ve dört yıl sonra da boşanmayla son buldu.

Feynman kalıcı bir evliliğe yönelik üçüncü girişiminde olağanüstü şanslı çıktı. İsviçre'de Cenevre Gölü kıyısında Gweneth Howarth'la tanıştı. Onu gördüğünde benekli bir bikini vardı üstünde. Feynman bir konferansa katılmak üzere Cenevre'ye gitmişti. Gweneth ise memleketi Yorkshire'daki taşra havasından kaçıp kurtulma uğraşı içindeydi. Yol boyunca çalışarak masraflarını karşılamak üzere dünyayı dolaşmayı tasarlıyordu. İlk durağı olan Cenevre'de çocuk bakıcısı olarak çalışıyordu. Plajda karşılaştıklarında Feynman bir sohbet başlattı. Ona California'dan söz etti, kızçağız da maceralı yolculuğunu ve sevgililerini anlattı. Derken Feynman fazla bir duraksama geçirmeksizin, ev işlerini çekip çevirmesini önerdi ona. Genç kız için, en hafif tabirle, pek alışılmamış bir iş teklifiydi bu. Üzerinde düşünmesi gerekirdi. Feynman onu Amerika'ya götürme kararlılığıyla Altadena'daki evine döndü. Sonunda bunu başardı ama işveren-işgören ilişkisi pek uzun sürmedi: 1960 sonbaharında evlendiler.

Büyük ölçüde Gweneth'in hoşgörüsü ve ağırbaşlılığı sayesinde, bu evlilik iyi yürüdü. İki çocukları oldu ve aile hayatı her ikisine de yaradı. 1977'deki bir röportajda, Gweneth kendi açısından bu evliliği şöyle anlatıyordu:

Yaptığım şeylerden genelde memnunum ve yarışa girme zorunluluğunu hissetmiyorum. Bir gölge olduğum kanısında değilim, ona kul köle olmak yerine, çok iyi uyuşan bir çift olduğumuz için gayet mutluyum. Mutlu olduğumu biliyorum, çün-

kü bunu söylüyor. Gece eve geldiğinde, "Ah, eve dönmek ne kadar hoş" diyor. Yağmurlu bir kış gecesi şöminede harlı bir ateşin yanması, perdelerin sınıksız çekili olması ve mutfaktan nefis kokuların gelmesi gibi bir şey bu. Bunu sırf onun için yapmıyorum, aile için yapıyorum ve bundan hoşlanıyorum. Huzurlu olmak hoşuma gidiyor benim. Benim tatmin olma noktam burada yatıyor ve önemli görünmek gibi bir derdim yok. Ben [Richard'ın] yapmadığı şeyleri yapıyorum ve üstelik iyi yapıyorum.

V-A Yolu

Feynman *The Character of Physical Law* (Fizik Yasasının Karakteri) adlı kitabında şöyle yazar: "Doğa desenlerini örnek için yalnızca uzun iplikler kullanır, öyle ki dokusunun her ufak parçası bütün halının düzenlenişini açığa vurur." Bu uzun ipliklerin birçoğu simetri ilkelerine dayanır. Fizikçi açısından simetri tam anlamıyla bir estetik meselesi değildir. Kuantum mekaniğini "grup teorisi" denen matematiksel simetri diliyle ilk ifade eden kişilerden biri olan Hermann Weyl'in simetri tanımı (Feynman'ın aktarış tarzıyla) şöyledir: "Ona dönük yapabileceğiniz bir şeyi bitirdiğinizde aynen eskiden olduğu gibi görünen bir şey simetriktrir." Teorik fizikte büyük ilgi uyandıran bir konu, fizik yasalarına özgü simetrilere. Bunların ilki bir noktadan başka bir noktaya ötelemeye dayalıdır: Eğer bir deney ve etkileşime girdiği bütün nesneleri bir konumdan başka bir konuma taşırsak, deney ve onu düzenleyen fizik yasaları değişmez. Benzer biçimde zaman içinde öteleme, bir deneyde ve dayandığı fizik yasalarında değişikliğe yol açmaz. Uzay içindeki döndürme için de aynı şey geçerlidir. 1950'lerin sonlarına kadar, bu üçünün yanı sıra dördüncü bir temel simetri kuralına da yer verilirdi: Bir nokta üzerinden yansıtılan bir deney değişmez.

Kuantum mekaniğinin zaferlerinden biri, bu simetritelerin her birini bir temel korunum yasasıyla bağlantılı hale getirmesidir. Uzay içinde öteleme simetrisi momentumun korunumu ilkesini güvence altına alır. Bunun anlamı şudur: A ve B parçacıkları etkileşime girerek C ve D parçacıklarını oluşturduğunda, yani

$$A + B \rightarrow C + D$$

durumunda A ve B'nin toplam momentumunun C ve D'nin toplam momentumuna eşit olması gerekir. Aynı biçimde zaman içinde öteleme simetrisi enerjinin korunumu ilkesini, döndürme simetrisi ise açısal momentumun korunumu ilkesini güvence altına alır. (Kuantum mekaniğinde açısal momentum her zaman elektronun spin hareketi ya da elektronun bir atom çekirdeği etrafındaki yörünge hareketi gibi dönel hareketleri nitelendirmek için kullanılır.) Fizikçiler yansıtma simetrisinin geçerliliğine hâlâ inandıkları dönemde, eşlemin korunumu yasasının bununla bağlantılı olduğunu öne sürerlerdi. (Enerjiden ve momentumdan farklı olarak, eşlem ancak kuantum mekaniği bağlamında kavranabilen bir özelliktir. Yansıtmanın dalga fonksiyonu üzerindeki matematiksel etkisini ölçmeye yarar.)

Aslında yansıtma simetrisi ve eşlemin korunumu birçok durumda geçerlidir. Ama 1950'lerin ortalarında iki genç Çinli teorisyen, Columbia Üniversitesi'ndeki Tsung-Dao Lee ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki Chen Ning (Frank) Yang bazı kuşku duymaya başladılar. Beta bozunumuna yol açan zayıf etkileşimin devreye girdiği durumlarda, eşlemin gerçekten korunduğuna ilişkin hiçbir inandırıcı kanıt bulamıyorlardı. Bu aykırı görüşü 1956'da yayımlanan bir makalede dile getirdiler. Ertesi yıl Lee'nin Columbia'daki meslektaşlarından Chien-Shiung Wu, ustalıkla düzenlenmiş olan ve Co⁶⁰'ın β bozunumunda eşlemin korunmadığını gösteren bir deneyin sonuçlarını yayımladı.

Wu'nun ve yurttaşları Lee ile Yang'ın gündeme getirdiği konu, teorisyenleri büyük bir şaşkınlığa düşürdü. Bu deney sonuçlarının öğrenilmesinden hemen önce, Pauli eşlemin korunumu lehinde çok büyük bir meblağla bahse girmeye hazır olduğunu belirtmişti. Feynman bir bahse falan girmeye kalkışmadı. Başkalarının çılgınca bulduğu fikirler, her zaman olduğu gibi, onda merak ve heyecan uyandırdı yalnızca. Doğrulayıcı deneysel verilerin bildirilmesinden önce bile, yansıtma simetrisinin kırılmasına ve eşlemin korunumu ilkesinin çiğnenmesine elveren zayıf etkileşime ilişkin yeni bir teori üzerinde hararetle çalışıyordu.

Feynman hareket noktası açısından Pauli'ye borçluydu. Pauli özel göreliliğin gereklerine dayanarak, her türlü parçacık arasındaki etkileşimlerin yalnızca beş matematiksel yapıyla tanımlanabileceğini ve hesaplama yapılırken her seferinde ikisinin esas alınabileceğini kanıtlamıştı. Bu beş yapı skaler, vektör, tensör, eksen vektörü, psödo-skaler olarak bilinir ve S, V, T, A, P kısaltmalarıyla gösterilir. (Skaler ve vektör niceliklerini 12. Bölüm'de görmüştük. Tensör niceliği vektörün geliştirilmiş bir matematiksel biçimidir: Vektör tek yönlü, tensör ise iki yönlü değişimi ifade eder. Eksen vektörü ve psödo-skaler ile vektör ve skaler arasındaki farklılık yansıtma simetrisine dayanır.)

Pauli'nin reçetesini izleyen teorisyene düşen görev, bunlardan hangisini çift almanın doğru olacağıydı. Kuantum elektrodinamik kombinezon V-V'dir. Lee ve Yang'ın ortaya atığı görüşten ve Wu'nun deneylerinden önce, teorisyenler β bozunumu teorileri ve diğer zayıf etkileşim durumları için S-T kombinezonunu kullanırlardı. Feynman ve aynı dönemde birkaç kişi daha yansıtma simetrisinin halinde, V-A'nın doğru formül olduğunun farkına vardılar. Feynman bu sonuca ulaştığında bir kez daha "buluştaki hazzı" tattı. Daha sonraları Mehra'ya bunu anlattığı şöyleydi:

Üzerinde düşündüğümde, zihin gözümü üzerine çevirdiğimde, o kahrolası şey kıvılcımlar çakıyor, ısıtıyla parlıyordu! Ona baktığım zaman, bilimsel kariyerimde ilk kez ve de tek kez olmak üzere, başkasının bilmediği bir doğa yasasını bildiğimi hissettim. Doğrusu, bir Dirac ya da bir Maxwell yasası kadar enfes değildi ama beta bozunumuna ilişkin denklemin bir parça öyleydi. ... Bu buluş tamamen yeniydi. Pek tabii ki daha sonraları başkalarının aynı dönemde ya da biraz önce bunu düşündüğünü öğrenmiş olsam bile, bu durum pek bir şey değiştirmedii. O işi yaptığım sırada, yeni bir buluşun ürpertisini duydum!

Zayıf etkileşimler için V-A kalıbını düşünen diğerleri arasında, California Teknoloji Enstitüsü'ndeki odası Feynman'ın odasıyla aynı koridorda yer alan Murray Gell-Mann'dı. İki teorisyen, rakip ve kimi zaman dosttu. Her bir öbürünü fikir ve teorilerini tartışacak değerli bir partner olarak görüyordu. Muhtemelen aynı dönemde bundan daha iyisi yoktu. V-A teorisi konusunda giriştikleri tartışmaya hakemlik eden fizik bölümü başkanı Robert Bacher, ikisini ortak bir makale yazmaya ikna etti.

Partonlar ve Kuvarklar

1960'ların ortalarına gelindiğinde, Feynman fizikçilerce bilinen dört temel kuvvetten üçüne ilişkin teorilere önemli katkılarda bulunmuştu. Bunlar KED teorisinde ele aldığı elektromanyetik etkileşimler, V-A teorisinde ele aldığı zayıf etkileşimler ve (bu kitapta irdelemeyeceğimiz bir başka ilgi alanı olan) kütleçekimi etkileşimleriydi. 1965'teki Nobel Ödülü curcunasından sonra, Feynman dikkatini temel kuvvetlerin dördüncüsüne, çekirdekleri, protonları ve nötronları oluşturan parçacıklar arasındaki ve içindeki "güçlü etkileşimlere" aracılık eden kuvvete çevirdi. Yapısız, nokta boyutlu cisimler olarak ele alınan elektronların ve nötrinoların tersine, protonların ve nötronların bir yapı taşıdığı uzun yıllardan beri açık seçik bilinen bir şeydi. Feynman'ın hadron yapısına ("hadron" güçlü etkileşimlerin bir arada tuttuğu protonları, nötronları ve diğer parçacıkları kapsayan bir jenerik terimdir) ilişkin modeli, o sırada Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi'nde protonların son derece yüksek enerjili elektronlarla bombardımana tutulduğu deneylerle uygunluk sağlamaya yönelikti.

Feynman alışılmış görsel yaklaşımını izleyerek, yüksek hıza sahip bir elektronun bir hadrona yönelerek onunla etkileşime girmesi halinde neler göreceğini sordu kendi kendisine. Temel varsayımı hadronların sert, nokta boyutlu, yüklü parçacıklar barındırdığı ve "parton" denen bu parçacıkların hadron sınırları içinde neredeyse serbestçe gezindiği görüşüne dayanıyordu. Söz konusu süreçte göreliliğe dayalı etkiler dramatik olacaktı: Elektronlar açısından bakıldığında, hadronlar lavaş ekmeği gibi yamyassı hale gelecek ve zamanın yavaşlamasıyla birlikte partonlar neredeyse statikmiş gibi görünecekti. Elektronların çoğu hiç etkileşime girmeksizin hadron lavaşından geçip giderken, birkaçı bilyardo topu gibi partonlarla çarpışacaktı. Rutherford'un α parçacıklarının saçılımını açıklamak amacıyla kullandığı resimle benzerlikler taşıyan bu basit model, Stanford hızlandırıcısında görevli teorisyenler ve deneyciler arasında rağbet gördü.

Murray Gell-Mann'ın da nokta boyutlu, bağlı parçacıklara yer veren bir hadron yapısı teorisi vardı. Bu parçacıklara verdiği "kuvark" adı James Joyce'un *Finnegans Wake* romanında geçen "Yoklama İşareti için üç kuvark!" cümlesinden geliyordu. Kuvark modeli Feynman'ın parton modeline göre daha açıktı: Kuvarklar protondaki yükün kesirleri olan elektrik yükleri taşımaktaydı ve güçlü etkileşimle üçünün bir araya gelmesi bir proton oluşturmaktaydı.

Kuvark modeli Feynman'ın da yer aldığı bir kesimin eleştirileriyle karşılaş-

tı ve bizzat Gell-Mann kendi buluşunun gerçekliği konusunda şüpheye düştü. Özellikle kesirli yük, teorisyenler için sineye çekilmesi zor bir şeydi, protondaki yük hep bölünmez sayılmıştı. Hadron sınırları dışında serbest kuvarkların varlığına ilişkin kanıtların olmaması (ve hâlâ da bulunamaması) durumu zorlaştıran bir başka etkendi.

Feynman'ın kuvarklar konusundaki kuşkucu tavrı 1970'te, iki öğrenciyle birlikte geniş bir parçacık verileri koleksiyonuna yönelik çalışmayı tamamlamasına kadar sürdü. Sonunda ikna oldu ve bir "kuvarkçı" oldu. "Bir kuvark tablosu sonuçta bütün hadron fiziği alanına egemen olabilir" diye yazdı, araştırmanın sonuçlarını bildiren makalede. Eldeki veriler "gizemli bir biçimde tuhaf bir modele cuk oturmaktaydı." Feynman'ın kuvarkları benimsemesinin bu kadar uzun sürmesine gücenen Gell-Mann, onun bağlı parçacıklar versiyonunu "atmasyon" olarak nitelendirmekten kendini alamadı.

Doğa Kandırılmaz

Feynman onursal diplomaları, konferans davetlerini ve komite görevlerini kabul ederek dürüst, titiz ve seçkin bilimci rolünü oynamaya çok nadiren soyundu. Ama bir kamusal sorumluluğu gerçekten üstlendiğinde, sonuçların dramatik olması işten değildi. Nitekim, *Challenger* faciasını soruşturan komisyonda görev alması, kamuoyunda yaptığı diğer işlerden çok daha fazla ilgi topladı.

Challenger uzay mekiği 8 Ocak 1986'da alışılmamış soğuk bir havada Florida'daki fırlatma rampasından ayrıldı. Uçuşa geçmesinden yetmiş üç saniye sonra infilak etti ve içindeki yedi astronot da hayatını yitirdi. Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) başkanı William Graham, kazadan birkaç gün sonra Feynman'ı aradı ve kazayı soruşturacak komisyona katılmasını rica etti. Feynman'ın mekik programının bilimsel önemi konusunda çekinceleri, dahası komisyonun toplanacağı Washington'a gidip gitme konusunda ikircimleri vardı. "Washington'a pek fazla yaklaşmama ve devletle alışverişe girmeme gibi bir ilke benimsemişimdir" diye belirtir ikinci monolog kitabında. Evde kalmayı tercih etmesinin hiç değinmediği bir başka nedeni de vardı. 1978'den beri ender bir mide kanseri çeşidiyle mücadele etmekteydi ve 1986'da, NASA davetinden hemen önce ender bir kemik iliği kanserine yakalandığını öğrenmişti.

Feynman'ın dostları Washington'a gitmesi gerektiğini belirtiyordu. Gwenneth de şöyle diyordu: "Eğer sen bu işi yapmazsan, topluca bir yerden başka bir yere dolaşan on iki insan olacak. Ama komisyona katılacak olursan, on bir insan topluca bir yerden başka bir yere dolaşırken, on ikinci kişi orayı baştan aşağı kolaçan ederek olağandışı türden her şeyi gözden geçirecek. Muhtemelen bir şey çıkmayacak ama eğer bir şey varsa, bunu sen bulacaksın. Bunu senin kadar iyi yapacak birisi yok." Feynman kitabında bunu aktardıktan sonra, "Kendimi çok beğenmiş biri olarak ona hemen inanıverdim" diye devam eder. Böylece Gwenneth'e "Altı aylığına intihar edeceğim" dedi ve görevi kabul etti.

Son akıbetten önceki serüveniydi bu. Önce, Pasadena'daki Jet Gücü Laboratuvarı'nda bir arkadaşın bazı arkadaşlarını alelacele toparlayarak, onlardan me-

kik motoru tasarımına ilişkin çabuk bir brifing aldı. Ardından bir gecelik uçuşla Washington'a ulaşarak ilk toplantıya zamanında yetişti. Komisyon başkanı Nixon yönetiminde Dışişleri Bakanlığı yapmış olan William Rogers'tı. Komisyon-da ayrıca Ay'a ayak basan ilk insan Neil Armstrong, uzaya çıkan ilk Amerikalı kadın Sally Ride, eski bir test pilotu Chuck Yeager ve Savunma Bakanlığı'nda mekik programının temsilciliğini yapan Tümgeneral Donald Kutyna vardı.

Kutyna, komisyonda Feynman'ın tek müttefiği oldu. Üyelerden ikisi atandıktan kısa bir süre sonra belli bir görüşe bağlı olduklarını hemen açığa vurdular. Armstrong soruşturmanın gereksiz olduğunu belirtti. Rogers da şunları söyledi: "Bu soruşturmayı NASA'yı haksız töhmet altında bırakacak bir tarzda yürütecek falan değiliz, çünkü NASA'nın mükemmel bir iş yaptığı görüşündeyiz. Ben kesinlikle o görüşteyim ve sanırım Amerikan halkı da öyle."

Komisyon üyelerinden bazıları mekik operasyonu konusunda teknik birikime ve uzmanlığa sahipti. Komisyonun karşısında çıkan NASA yöneticileri, onların ayrıntılı sorularına çok az doyurucu cevaplar verdiler. "Bu bilgiyi size daha sonra iletacağız" genelde verilen karşılıktı.

Sonunda kaza nedeni için uygun açıklamanın katı yakıt roketlerin kısımları arasına conta olarak konmuş büyük kauçuk O-halkaları olduğu açıkça görüldü. Bunların çapı yaklaşık bir çeyrek inç, çevresi ise otuz yedi ayak kadardı. Sıradan O-halkaları statik bir boşluğu tıkar, "oysa mekik söz konusu olduğunda" diye açıklar Feynman, "roketteki basıncın artmasıyla birlikte boşluk genişler ve contanın tutması için, kauçuğun boşluğu kapatmaya yetecek kadar hızlı genişmesi gerekir. Üstelik fırlatma sırasında boşluk bir saniyenin dilimi kadar bir sürede açılır. Bu bakımdan kauçuğun esnekliği tasarımda çok hayati bir unsur haline gelir."

O-halkaları imal eden Thiokol adlı şirketten bir mühendisin açıklamasıyla bu görüş daha da güç kazandı. Bu açıklamaya göre Thiokol mühendisleri "düşük sıcaklıkların conta problemiyle bir ilgisi olduğu sonucuna varmıştı ve bu konuda çok, hem de çok kaygılıydı" diye yazar Feynman. "Fırlatmadan önceki gece, uçuşa hazırlık incelemesi sırasında, [Thiokol mühendisleri] NASA'ya sıcaklığın -2,5 derecenin, yani önceki günün en düşük düzeyi altında olması halinde mekiğin uçmaması gerektiğini bildirmişti ve o sabah sıcaklık -16 dereceydi." NASA'nın bazı baskıları ve dolambaçlı gerekçeleri üzerine, Thiokol bu tutumundan vazgeçmiş ve fırlatma süreci yürümüştü.

Feynman'ın asabı bozulmaya başladı. Düşük sıcaklıklarda O-halkalarının esnekliği sorununu kurcalamaya çalıştı ve katı roketlerin proje müdürü Lawrence Mulloy'dan kaçamak cevaplar aldı. Sonunda üzerinde durduğu noktayı konferans salonunda bir gösteriyle ortaya koymaya karar verdi. Basına açık bir toplantının yapılacağı ertesi gün uygun bir zamandı. O sabah erkenden bir hırdavat mağazasına giderek, bir pense ve küçük bir C-kelepçesi aldı. General Kutyna'dan aldığı bazı taktiklerle, televizyon kameralarının üzerine çevrildiği bir anda deneylerini yaptı. Gösteri çarpıcıydı, çünkü son derece basitti. İşte tanığa, komisyona ve kameralara yaptığı açıklama: "Dr. Feynman: Bay Mulloy'a yönelik bir yorum. Bu şeyi [O-halkası kauçuğunu] sizin contanızdan aldım ve buzlu suya koy-

dum. Bir süre [C-kelepçesiyle] biraz basınç uygulayınca ve ardından serbest bırakınca, hemen açılıp eski haline gelmiyor. Aynı boyutta kalıyor. Bir başka deyişle, 0 derecede olduğu zaman bu belirli malzemede en azından birkaç saniye ve daha uzun bir süre esneklik yok. Problemimiz açısından bunun biraz anlamlı olduğu kanısındayım.”

Feynman kendi soruşturmasını yürütmek için aylar harcayarak, Florida, Alabama ve Texas'taki uzay merkezlerini ve müteahhit şirketleri dolaştı. “Tepedeki abartmanın tabandaki gerçeklikle tutarsız olduğu”, bu yüzden “iletişimin yukarıya yavaş gittiği ve sonuçta tıkanmış” bir düzenin varlığını saptadı. Yazdığı rapor daha sonra komisyon tarafından ekler bölümüne (kendi ifadesiyle “ışırılmış ekler bölümü”)ne havale edildi. Raporunun sonundaki görüş şöyleydi: “Başarılı bir teknoloji için, gerçekliğin halkla ilişkilerin önüne geçmesi gerekir, çünkü doğa kandırılmaz.”

Hiçbir Şey Dümdüz Değildir

Feynman akranlarıncı büyük bir hoca olarak değerlendirilirdi. Ne var ki, diğer uğraşlarında olduğu gibi, bunu da kendi bildiği tarzda yapardı. California Teknoloji Enstitüsü'nde fizik bölümü yönetim kurulu toplantılarına hiç katılmadı, komite görevlerinden hep kaçındı, asla araştırma bağışlarının peşine düşmedi, seminer konuşmacılarını ardı arkası gelmez sivri sorularla terletti ve çok az doktora öğrencisi kabul etti. “Çoğumuz ondan korkardık” diye belirtir California Teknoloji Enstitüsü meslektaşlarından biri. “Öğretim kadrosu toplantılarında, onun görüşüne uymayan bir şey söylediğinizde sivri bir dille sizi olduğunuz yere mıldırdı. Hiç kül yutmazdı. Benim izlenimim o ki hiçbir öğretim üyesi onunla yakınlık kurmayı başaramadı.” Öte yandan kapısı öğrencilere hep açıktı. Ve de uzun yıllar Fizik X denen program dışı bir dersi sürdürdü. Öğrencilerce seçilmiş konuların işlendiği bu derse öğretim üyeleri dışında herkes katılabiliyordu.

Feynman'ın gözünde ders salonu bir tiyatro ve hocalık da bir sahne oyunculuğuydu. Derste dram, sürpriz, komedi ve belagat olmalıydı. Faraday dinleyebilse, derslerini çok beğenirdi herhalde. 1960'ların başlarında Matthew Sands adlı bir meslektaş, Feynman'ı çetin bir iş olan giriş fiziği dersleri vermeye ikna etti. “Bak, Richard, uzun yıllar fiziği anlamaya çalıştın” dedi Sands. “Şimdi, bunu damıtarak yeni başlayanların düzeyine uygun bir öze indirebilirsin.” Feynman birkaç gün bu öneriyi düşündü ve ardından Sands'e, “Şimdiye kadar yeni başlayanlara fizik dersi vermiş büyük bir fizikçi tanıyor musun?” diye sordu. Sands bildiği kadarıyla öyle birinin olmadığını söyledi. “Ben yapacağım!” diye kararını bildirdi Feynman.

Öyle sıradan bir uğraş değildi bu. Feynman büyük mesaisini vererek dersler üzerinde çalıştı. Sands ile yine California Teknoloji Enstitüsü meslektaşlarından ve aynı zamanda Feynman'ın davul partnerinin babası Robert Leighton derslerin yazıya geçirilmiş üç ciltlik versiyonunu hazırladılar. Bu ortak çabanın ürünü hayranlık duyulacak bir başarıya ulaştı. Aradan neredeyse kırk yıl geçmesine rağmen bu kitaplar hâlâ büyük rağbet görüyor.

İşte Feynman'ın okurlarına elektronlar ve protonlar tarafından taşınan elektrik kuvvetini ve nihai elektrik yükünü anlattığı pasaj:

[Bütün] madde bu büyük kuvvetle birbirlerini çeken ve iten pozitif protonlar ile negatif elektronların bir bileşimidir. Ancak denge öylesine kusursuzdur ki, başkasının yanında durduğunuzda bir kuvveti hiç hissetmezsiniz. Eğer birazcık bile dengelessiz olmuş olsa, bunu hemen anlarsınız. Başka biriyle aranızda bir kol kadar mesafe olsa ve her birinizde elektronların sayısı yüzde bir oranında protonların sayısını aşsa, itiş kuvveti inanılmaz boyuta varır. Ne kadar mı büyük? Empire State Binası'nın yerinden kaldırmaya yetecek kadar mı? Hayır! Everest Dağı'nı yerinden kalmaya yetecek kadar mı? Hayır! Bu itiş bütün yeryüzüne eşit bir "ağırlığı" kaldırmaya yeterdi!

Feynman fizik denklemlerinin nicel olduğu kadar nitel anlamı üzerine de şaşırtıcı şeyler söyler: "Sözelimi, bir hidrojen gazı topu olarak Güneş'e ilişkin denklemlerimiz güneş lekelerinin olmadığı, pirinç tanesine benzer yüzey yapısının olmadığı, tümseklerin olmadığı, halelerin olmadığı tastamam bir Güneş'i tarif eder. Oysa bütün bunlar gerçekte denklemlerin içindedir. Onları çekip çıkarmanın yolunu bulabilmiş değiliz."

Bilimin dar bakışlı ve hayal gücünden yoksun nesnelliğini eleştirenlere şu cevabı verir:

Şairler bilimin yıldızlardaki güzelliği sıyrıp çıkardığını, onları dümdüz gaz atomlarından oluşmuş kürelerden ibaret saydığını söylüyor. Hiçbir şey "dümdüz" değildir. Bir çöl gecesinde yıldızlara bakıp derin duygulara dalmayı ben de başarabilirim. Peki, ben daha azını mı, daha çoğunu mu görüyorum? Gökyüzünün uçsuz bucaksızlığı benim hayal gücümü zorluyor. Bu minik atıklarınca çakılıp kalan ufaklık gözüm milyonlarca yıllık ışığı kapıyor. Bir parçası olduğum engin bir düzen bu, belki de beni oluşturan malzeme şimdi unutulup gitmiş bir yıldızdan püskürtülmüştür, tıpkı burada birinin püskürttüğü gibi. Ya da daha kocaman Palomar [Gözlemevi] gözleriyle baktığımda, [bu yıldızlar] belki de bir zamanlar hep bir arada oldukları ortak bir başlangıç noktasından kopup sağa sola fırlamışlardır. Nasıl bir düzen bu, anlamı ne ya da niçin var? Birazcık hakkında bilgi edinmek bu gizemi zedelemeyiz. Zira hakikat geçmişteki bütün sanatçıların hayal ettiğinden çok daha harikuladedir! Günümüzün şairleri niçin bundan söz etmiyor? Jüpiter'den sanki bir adammış gibi söz edebilen ama kendi ekseninde dönen olağanüstü büyük bir metan ve amonyak küresi olduğu ortaya çıktığında suspus kesilmek zorunda kalan şairlere ne demeli acaba?

Hayat Dolu Varlık

Öğrencileri, konferans dinleyicileri, meslektaşlar, dostları, hasımları ve karalayıcıları için, Feynman'ın varlığı her şeyden önce yok edilemez bir canlılıktı. Hiçbir şey gözünden kaçmazdı ve her şeye merak duyardı. "Kişiliği dışında bir şey

olmaktan” keyif alırdı. Zamanla usta bir bongo davulcusu haline geldi. Biraz biyoloji öğrendikten sonra, akademik bir izin yılında California Teknoloji Enstitüsü biyoloji bölümüne öğretim asistanı olarak hizmet verdi. İş hayatına yeni atılan bir bilgisayar şirketinde birkaç yaz sıradan bir eleman gibi çalıştı. Çok küçük makinelere ve düzeneklere dayalı teknolojinin, günümüzde bilinen adıyla nanoteknoloji alanının önündeki olanakları ilk gören kişilerden biriydi. Resim çizme ve kasa açma sanatlarında saygıdeğer teknikler edindi. Gibbs ve Chandrasekhar dışta bırakılırsa, diğer büyük fizikçilerin hepsinden daha uzun süre yaratıcılığını korudu.

Ömrünün son on yılında kanserlerin yavaş yavaş bedenini kemirmesine rağmen yaşama gücünden bir şey kaybetmedi. Ölümünden birkaç hafta önce çekilmiş bir resimde hâlâ keyifli gibi görünür, ki muhtemelen öyleydi de. Ama son büyük serüveni hayal kırıklığıyla noktalandı. Sonunda Gweneth’e şunu söyledi: “İki kez ölmeyi hiç istemezdim. O kadar can sıkıcı ki.”

Bana Kuvark Masalını Anlat Murray Gell-Mann



Harika Çocuğun Hikâyesi

Rivayete göre, bir öğrencisinin bir temel parçacığın adını sorması üzerine, Enrico Fermi ona şu karşılığı verir: "Delikanlı, bu parçacıkların adlarını aklımda tutabilmiş olsaydım, botanikçi olurum." O sıralarda, yani 1950'lerin ortalarında ancak bir düzine kadar parçacık biliniyordu ama bunların sınıflandırması daha o zaman bir arapsaçına dönüşmüştü. On yıl sonra sayı yüze dayandı. Yeni güçlü hızlandırıcıların devreye girmesiyle ve parçacık belirlemeye yönelik daha duyarlı aygıtların geliştirilmesiyle liste uzamaya başladı. Parçacık fizikçileri arasındaki "botanikçiler" çaresizlik içindeydi.

Bu görünüşteki kaotik parçacıklar cengeline düzen getirme yönündeki çabalarda başat rolü oynayan fizikçi, bunun altında simetri ilkelerinin dayattığı basit kalıplar olduğuna derin bir inanç besleyen Murray Gell-Mann'dı. Başvurduğu araçlardan biri ise Bohr ve Pauli'nin ilk çalışmalarından beri kuantum fizikçilerince bilinen bir matematiksel aygıtı: Kuantum sayısı. En gizemli temel parçacıklardan bazıları tam da uygun bir adla "acayıplık" denen yeni bir kuantum sayısına göre sınıflandırılabilirdi. Gell-Mann'ın şemasında acayıplık kuantum sayısı parçacık gruplandırmasına dönük daha çapraşık bir sistemin yarısına temel oluşturdu. Bu yeni sistem protonlar ve nötronlar ile egzotik akrabalarının yapısal simetritelerinin özüne dosdoğru inmeyi sağladı. Simetri bu işin anahtarıydı, çünkü uygun kuantum dinamiğinin henüz bilinmeyen ayrıntılarına girmeksizin hikâyeyi anlatabiliyordu. Gözlerini simetri teorisine dikerek ilerleyen Gell-Mann, günümüzde her yerde karşımıza çıkan kuvark kavramını yarattı sonunda. Özetle

aktardığım bu gelişim çizgisi, bu bölümde anlatılacak hikâyelerden biridir. Diğeri ise bizzat kahramanının hikâyesidir.

Murray Gell-Mann 1929'da, ailesinin henüz Aşağı Manhattan'ın On Dördüncü Caddesi'nde kaldığı sırada doğdu. Babası Arthur Gell-Mann, Viyana'dan Isidore Gellmann adıyla gelip New York'a yerleşmiş bir göçmendi. Kısa bir süre sonra Arthur adını aldı ve evliliğinin hemen ardından soyadına özgün kesme işaretini ekledi. Hiç gerçekleşmeyen düşünsel özlemlere sahip, seçkin görümlü bir adamdı. Viyana'da felsefe ve matematik öğrenimine başlamıştı ama daha önce New York'un Aşağı Doğu Yakası'na göç eden anne babasının yardım ve desteğe muhtaç olması nedeniyle onların ardından Amerika'nın yolunu tutmuştu.

Arthur parlak olmasa bile zeki sayılırdı. Dildeki üstün becerisi, onu dil öğretmeye dönük Arthur Gell-Mann Okulu'nu açmaya yöneltti. Ne var ki, öğretmenlik yeteneği İngilizce'deki neredeyse kusursuz ustalığı ayarında değildi. Murray Gell-Mann'ın biyografisini yazan George Johnson'ın belirttiği gibi, "[Arthur] daha sonraları küçük Murray'i [ve muhtemelen okuttuğu öğrencileri] kaçacak delik aramak zorunda bırakan ukalaca, buyurgan bir öğretme tarzı edindi". Hepsi de göçmen aile çocuğu olan öğrencilerine, düzgün adlandırmayla sunulmuş dil bilgisi kurallarından ve araçlarından oluşan kafa şişirici bir listeyi ezberletmeye kalkıştı. "Dili, ağdalı retorik ve her şeyi ustalıkla kıvıran bir adam vardı karşılarda" diye yazar Johnson. "Öğrenmeye tutkun ve kendi sesinin tınısına hayran bir adam. Hitap ettiği kesime kim bilir nasıl bir gözle bakıyordu, ondan başkası bilemezdi bunu."

Dil okulu büyük ekonomik bunalım yıllarında ayakta kalamadı ve 1932'de aile bir darboğaza girdi. Çaresiz kalan Arthur bir bankaya bekçi olarak girdi. Ailesinden ve geri kalan dünyadan koptu, zihnini Einstein'ın görelilik teorisiyle ilgili soyutlamalara yormaya başladı. Murray'in annesi Pauline de başındaki dertleri düpedüz görmezlikten gelerek kendi içine kapandı. "Ortada neşelenecek bir şey yokken bile saplantılı bir şen şakrak havaya girer, seyrek olarak yakını, bir düş âlemine kapılıp giderdi. ... Bir zihinsel bozukluğun başlangıcıydı bu belirtiler" diye yazar Johnson. Kendi dünyalarına dalmış anne babanın yetenekli oğullarına yol göstericilik yapma şansı çok azdı, bu nedenle Murray kendinden on yaş büyük ve kendi gibi üstün zekâlı olan ağabeyi Ben'e sarıldı. Böylece iki kardeş New York'un harika müzelerinde, Batı Yakası'ndaki Doğa Tarihi Müzesi'nde ve Doğu Yakası'nda Central Park'ın kıyısındaki Metropolitan Sanat Müzesi'nde kendi kendilerini eğittiler. Parkın kendisi canlı bir müze gibiydi. Murray doğanın sonsuz bir çeşitlilik taşıdığı yolundaki önemli dersi orada öğrenmeye başladı.

Büyük fizikçi olmak için harika çocuk olmak gerekmez ama bunun yararı da vardır. İnsanın aklına hemen Thomson, Maxwell, Rutherford, Heisenberg, Dirac ve Pauli geliyor. İşte Murray Gell-Mann da bu soydandı. Daha üç yaşındayken büyük sayıları kafasında çarpabiliyordu. Birkaç yıl sonra büyüklerinin yanlışlarını (cana yakın bir tavırla) düzeltmeye yetecek ölçüde Latince ve Roma tarihi öğrendi. Yedi yaşındayken, bir telaffuz yarışmasında on iki yaşındaki çocukları geride bırakarak birinci oldu. Öğretmenleri ona karşı nasıl bir tutum izleye-

ceklerini bilemez bir durumdaydı. Ama sevecen ve anlayışlı bir piyano öğretmeni olan Florence Freint gerekeni yaptı. Onunla yakın bir dostluk kurdu ve bir gün elinden tutarak Manhattan'ın Yukarı Batı Yakası'ndaki özel Columbia Ortaokulu'nun müdürüne götürdü. Çocuğun durumuna ancak onu görünce inanacağını ısrarla belirterek, böyle bir randevuyu koparmıştı. Eğer müdürün aklı yatmazsa, hemen çekip gideceklerdi. Müdür sekiz yaşındaki Murray'in zihinsel kapasitesinin çoğu yüksek okul öğrencisine denk olduğunu gördü. Murray tam burslu olarak Columbia Ortaokulu'na girdi ve ilk kez Arthur ile Pauline üstün zekâlı oğullarının ihtiyacını gözetken bir tavır takındılar. Aile Batı Yakası'ndaki Doksan Üçüncü Cade'de okulla aynı blokta yer alan bir apartman dairesine taşındı.

Columbia Ortaokulu'nda Murray yine öğretmenlerinin ve sınıf arkadaşlarının ilerisindeydi, üstelik sınıfında birkaç yaş farkla en küçük öğrenci olmasına karşın. Daha sonraları kesinlikle hiçbir şey öğrenmediğini ileri sürerek bu okula burun kıvrıdıysa da, orada geçirdiği yıllar, tam burslu olarak Yale'de seçkin bir eğitim almasının kapısını açtı. Yale daha önce New York'ta karşılaşmadığı Protestan Anglosakson kültürüyle tanışmasını sağladı. Yahudi öğrencilere ayrılmış (tam yüzde 10'luk) kontenjandan okula girmişti. Kayıt işlerinden sorumlu dekan açık bir dille şu uyarıda bulundu: "Burası işlerin Hristiyan takvimine göre yürüdüğü bir Hristiyan okulu ve Yahudi bayram tatillerinde sınıfınızda olmanızı beklediğimizi iyice kafanıza koyun." Bazı öğrenciler protesto edince, Yale rektörü dekanın genelgesini kaldırdı ama bunun ardındaki duygular sürdü.

Murray'in Yale'de seçtiği ilk dal arkeoloji oldu. Arthur ona bunun aptalca olduğunu söyledi. Bir arkeolog olunca açlıktan geberecekti. Büyük Alman arkeolog Heinrich Schliemann'ın yolunu izlemeliydi: Önce servet sahibi olmalı ve daha sonra arkeolojik keşif gezileri düzenlemeliydi. Peki, bu zorunlu serveti nerede bulacaktı? "Mühendislikte" dedi Arthur. Murray derhal bu seçeneği veto etti, kendisinin tasarlayacağı bir yapının çökeceğinde diretti. Sonunda baba ve oğul ilk başta her ikisine de muhtemelen kuşkulu gelen bir dalda uzlaştılar: Fizik.

Yale en azından Murray Gell-Mann'ın fiziği seçmesini onaylamış olmasından dolayı kendisine pay çıkarabilir. Murray'i bir düşünür ve hoca olarak en çok etkileyen Yale öğretim üyesi, Dirac, Heisenberg ve Pauli kuşağından bir kuantum teorisyeni olan Henry Margenau'ydü. Aynı zamanda bilim felsefecisi olan Margenau, fiziğin temellerini irdeleyen pek alışılmamış bir ders veriyordu. Onun ders anlatımları ve yazıları sayesinde, Murray görelilik ve kuantum teorisinin düşünsel mimarisini ilk kez kavramaya başladı.

Gerek matematikte gerek fizikte ileri düzeylere ulaşmasına karşın, ders programı Murray için hâlâ kolaydı ve pek fazla ders çalışmasına gerek yoktu. Sınıf arkadaşları korku dolu bir endişeyle çırpınıp dururken, o birayla kafa çekmek ya da genellikle sol kesimden insanlarla siyaset tartışmak üzere dışarıya gitmeye her zaman hazırdı.

Yale'deki son sınıfında Murray asla iyileşmeyecek olan bir illetin belirtilerini gösterdi: Yazma tutukluğu. Güç bela başlayabildiği son sınıf tezini bir türlü bi-

tiremiyordu. Bir konuyu araştırma ve yazıya dökme formalitelerini bilmiyordu. Tez danışmanı olan Margenau'dan yardım istemeyi de kendine yediremiyordu. Daha da kötüsü, "omzunun üstüne eğilmiş babasının görüntüsüyle birlikte" boş bir sayfaya bakmanın ona çekilmez geldiğini belirtir Johnson. "İçine düştüğü duruma hiçbir şey yeterince çare olmadı." Belki tezin eksikliği yüzünden, belki de Margenau'nun aleyhindeki belirleyici oyu yüzünden, Murray'ın Yale'de lisansüstü öğrenim görme isteği kabul edilmedi. Öbür seçkin üniversitelerden de yalnızca Harvard kapısını açtı, o da burssuz olmak şartıyla.

Bununla birlikte MIT'de ona uygun bir yer vardı, bu da fizik camiasının öncü simalarından Victor Weisskopf'un asistanı olmaktı. "Viki" Weisskopf kariyerine kuantum mekaniğinin neredeyse bütün kurucularının yanında öğrenim görerek başlamıştı: Berlin'de Schrödinger'in, Göttingen'de Born'un, Leipzig'de Heisenberg'in, Kopenhag'da Bohr'un, Zürich'te Pauli'nin ve Cambridge'de Dirac'ın yanında. Savaş yıllarında da Oppenheimer'ın Los Alamos'taki meşhur teorisyenler topluluğuna katılmıştı. Gell-Mann bu başarı sicilinden habersizdi, Weisskopf'un adını bile işitememişti ve MIT konusunda pek hevesli değildi. "O pasaklı yere nasıl gideyim ben şimdi?" diye soruyordu sağa sola. Ama alternatifler sınırlıydı. "Biraz düşününce şuna ikna oldum: Önce MIT'yi deneyebilir ve daha sonra istersem intihar edebilirdim. Bunun tam tersi bir yol izlemem olacak şey değildi."

MIT denemeye değer bir yerdi. Gell-Mann orada Weisskopf'tan gerçek hayatta uygulandığı haliyle fiziği, "matematiksel karmaşıklığın ötesindeki kanıtlarla uyuşmaya değer vermeyi", "olabildiğince yalınlığa ulaşmak için" uğraşmayı ve "riyakârlıktan ve tantanadan kaçınmayı" öğrenmeye başladı. Tez araştırması için iddialı planları vardı: Önem bakımından Einstein'ın 1905'teki makalelerinin birine denk bir konu bulacaktı. Sonunda Weisskopf ona pek Einstein'a yaraşır sayılamayacak ama yine de önemli bir problem verdi: Nükleer davranışa ilişkin dönemin ağır basan iki modelini birleştirmek. Bu teorik görev Gell-Mann'ın yeteneğinde bir fizikçi için basit ve görece kısa sayılırdı ama bir kaz daha yazma tutukluğu ona köstek oldu. Verilen süre geçti ve bu arada Gell-Mann tezin bitirilmesi koşuluyla Oppenheimer'dan Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde bir görev önerisi aldı. Böyle bir dürtüyle sonunda yazma işine koyuldu ve 1951 başlarında tezi birkaç günde tamamladı.

İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde Gell-Mann kuantum elektrodinamiğinde geriye kalmış problemlerle uğraşmakta olan Francis Low'la aynı odayı paylaştı. Her ikisi de doktora diplomalarını daha yeni almışlardı ama Gell-Mann yirmi bir yaşındayken, askerlik hizmeti nedeniyle kariyeri gecikmeye uğrayan Low otuzundaydı. "Bu çocuğu odama koydular" diye belirtecekti Low, daha sonraları bir röportajda. Ama çok geçmeden "çocuğun" fizik ilkelerine ilişkin alışılmamış ölçüde olgun içgörülerini olduğunu fark etti. Başkalarının da daha sonraları öğreneceği üzere, Gell-Mann'daki cevherin bir problemin hemen görünen ayrıntılarının ötesine bakma ve Feynman'ın deyişiyle "analiz gözü"nü kullanarak temelde yatan kalıpları açığa çıkarma becerisi olduğunu anladı.

Chicago ve Acayıplık

Gell-Mann'ın Princeton'deki görev süresi üretken ama kısa oldu. Oppenheimer onun çalışkanlığından etkilendi ama bir öğretim üyeliği önerebilecek durumda değildi. MIT'den Gell-Mann'ın arkadaşı olan, o sırada Chicago Üniversitesi'nde yardımcı profesörlük yapan ve daha sonraları California Teknoloji Enstitüsü rektörlüğüne yükselen Marvin Goldberger, ona destek olarak Enrico Fermi'nin yönetimindeki Nükleer Araştırmalar Enstitüsü'ne girmesi için girişimde bulundu. Tek açık kadro, düşük konumlu bir okutmanlıktı ama Fermi'nin enstitüsü 1950'lerin başlarında insanın olmak isteyeceği bir yerd. Eski bir New Yorklu için Chicago kendine özgü sınırlılıklar taşısa ve hava koşulları berbat olsa bile, Fermi'nin varlığı bu dezavantajları telafi edecek düzeydeydi. O sırada Fermi mesleğin içinde olan en büyük fizikçiydi. Oppenheimer, Rabi, Weisskopf ve hatta Bethe'den bir basamak yukarıdaydı.

Fermi aşırı matematikten kaçınan bir pragmatistti. Pauli'nin ona taktığı ad "kuantum mühendisi"ydi ama bu doğrudan yaklaşım Fermi'yi hem deneysel hem de teorik fizikte zaferlere götürmüştü. Weisskopf'la bazı benzerlikler taşıyan Fermi'nin üslubu Gell-Mann'a çekici geldi. Chicago siklotronunun, Berkeley'deki ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki diğer parçacık hızlandırıcılarının ortaya koyduğu verilerden zengin bir hasat toplamak için gerek duyduğu şey ram da buydu.

Henüz tanımlanmamış olmakla birlikte parçacık detektörlerinde varlıklarını en belirgin biçimde açığa vuran parçacıklar geride V biçimli bir iz bırakmaktaydı. İlk başta bunlara "V parçacıkları" dendi ve kaynaklarının gizemi derinleştikçe "acayıp" adı takıldı. 1950'lerin ortalarında Gell-Mann acayıp parçacıklar dünyasına açılan kapıyı, yıllardan beri kuantum fizikçilerine yararlı katkılarda bulunmuş iki aracı kullanarak araladı: Kuantum sayısı ve korunum yasası kavramları. Esaslarına indirgendiğinde, Gell-Mann'ın şeması her acayıp parçacığa "acayıplık" denen bir kuantum sayısı verir ve bu kuantum sayısının zayıf etkileşimler devreye girdiğinde değişse bile, güçlü etkileşimlerde değişmediği, yani korunduğu ilkesini benimser. (Güçlü etkileşimlerin atom çekirdeklerindeki nötronlar ve protonlar arasında, ayrıca nötronlar ve protonlar içindeki bileşen parçacıklar arasında meydana geldiğini hatırlayacaksınız. Bu bileşen parçalara Gell-Mann daha sonraları "kuark" adını verdi.)

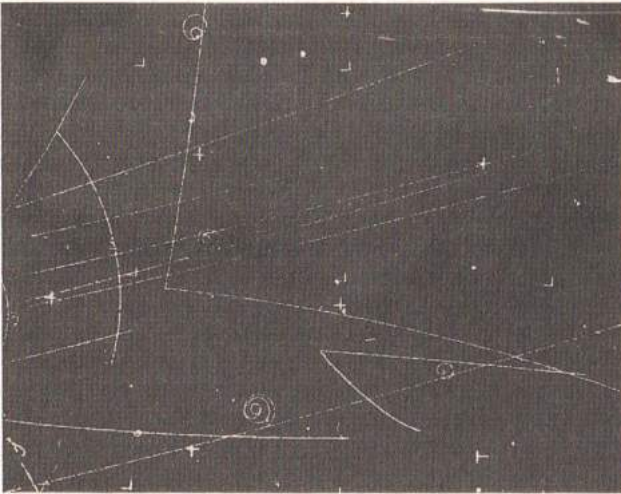
Parçacık fizikçileri güçlü etkileşimlere maruz kalan protonlar ve nötronlar gibi bütün parçacıklar için "hadron" terimini kullanırlar. Hadronları da ayrıca görece büyük kütleli "baryonlar" ve orta çapta kütleli "mezonlar" olarak sınıflandırır. "Leptonlar" denen bir başka parçacık kategorisi, en hafif parçacıklar olan elektronları ve nötrinoları kapsar.

Gell-Mann'ın acayıplık kuralları, "piyon" denen mezonlardan oluşmuş yüksek enerjili bir demetin sıvı hidrojen dolu bir odaya girmesi sonucunda meydana gelen parçacık tepkimesiyle sergilenir. Piyonlar, hidrojen çekirdeklerinde bulunan protonlarla tepkimeye girer ve iki acayıp parçacık ortaya çıkar:

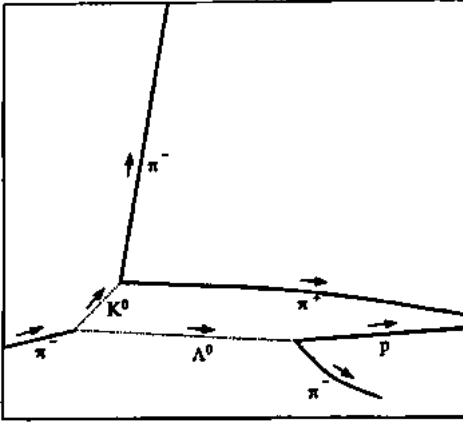


Burada p bir proton, π^- negatif elektrik yükü taşıyan bir piyon (bunun sırasıyla nötr ve pozitif yüklü π^0 ve π^+ gibi iki kardeşi vardır), Λ^0 ve K^0 ise birincisi baryon, ikincisi mezon olmak üzere nötr acayip parçacıklardır. Bir sıvı hidrojen odasında basınç birdenbire düşürüldüğü zaman, oda içinden geçmekte olan yüklü parçacıklar geride kabarcıklardan oluşmuş bir iz bırakarak varlıklarını belli ederler. "Kabarcık odası" denen bu parçacık belirleme aygıtının mucidi Donald Glaser'in aklına böyle bir düzeneğin bir bira şişesinde yükselen kabarcıklara dalmış halde düşünürken geldiği söylenir. Kabarcık odası Wilson bulut odasının bir ardılıydı.

Fotoğraf 26.1'de görülen kabarcık odasındaki izler, yukarıda tarif edilen parçacık tepkimesinin hikâyesini anlatır ve Gell-Mann'ın acayiplik şemasının eylemli halini yansıtır. Fotoğrafın konuyla ilgisiz izlerden arındırılmış bir yorumu Çizim 26.2'de verilmektedir. Öncelikle kabarcık odasına dik açıyla uygulanan güçlü bir manyetik alanın yol açtığı izlerden birçoğunun eğimli oluşuna dikkat edin. (Maxwell denklemleri bize her türlü elektrik akımının bir manyetik alan içinde eğri bir yol izlediğini anlatır.) Kesin biçimde ölçülebilen bu eğim, ize yol açan parçacığın hem yükünü, hem de kütlesini ortaya çıkarır.



Fotoğraf 26.1. Hidrojen dolu bir kabarcık odasında yüksek enerjili, negatif yüklü bir piyon demetiyle meydana gelen izlerin fotoğrafı. Bu fotoğraf, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nın izniyle kitaba alınmıştır.



Çizim 26.2. Yalnızca konuyla ilgili izlerin yer aldığı bu çizim, Fotoğraf 26.1'in yorumudur.

Çizim 26.2'de, sol taraftan yüksek enerjili bir piyon kabarcık odasına girer, bir protonla (hidrojen çekirdeğiyle) karşılaşır ve tepkime (1)'in meydana gelmesiyle Λ^0 ve K^0 parçacıkları ortaya çıkar. Bunların ikisi de elektrik yükü bakımından nötr oldukları için, kabarcık odasında hiçbir iz bırakmazlar. Ama daha sonra bozunuma uğrayarak (parçalanarak) yüklü pilyonlara ve protonlara ayrılırlar:

$$K^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+ \quad (2)$$

ve

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \quad (3)$$

Gell-Mann kuralları S acayıplık kuantum sayısına ilişkin değerleri şöyle verir: Acayıp olmayan parçacıklar (örnekteki p , π^+ ve π^-) için $S = 0$, K^0 için $S = +1$ ve Λ^0 için $S = -1$. Böylece toplam acayıplık kuantum sayısı tepkime (1)'in sol tarafı için $0 + 0 = 0$, sağ tarafı için ise $-1 + 1 = 0$ olur. Dolayısıyla, Gell-Mann şemasının güçlü etkileşim için öngördüğü gibi, tepkimede acayıplığın korunmuş olduğunu görürüz.

Buna karşılık tepkime (2) ve tepkime (3) acayıplık kuantum sayısında bir değişimi, tepkime (2)'de $+1$ 'den 0 'a ve tepkime (3)'de -1 'den 0 'a bir değişimi zorunlu kılar. Acayıplıkteki bu tür değişimler güçlü etkileşimler (ve elektromanyetik etkileşimler) olasılığını dışta bırakır ve zayıf etkileşimlere işaret eder. Kabarcık odasında bir izin fiilen görülen ya da çıkarsamayla saptanan uzunluğu, parçacığın bir sonraki tepkimede "ölmeden" önceki "ömrü"nün bir ölçüsüdür. Çizim 26.2'de K^0 ve Λ^0 parçacıklarının izlediği yollar, zayıf etkileşimlerle bozunuma uğrayan parçacıkların görece uzun ömürlü olduğunu gösterir. Süreler aslında uzun değildir, tipik olarak 10^{-8} saniye düzeyindedir ama parçacıkların güçlü etkileşim-

lerle bozunuma uğraması durumuna oranla birçok üs katıyla daha uzundur. Bozunumlarının güçlü etkileşim yolunu izlemesi halinde, kabarcık odasında K^0 ve Λ^0 parçacıklarına ilişkin hiçbir doğrudan belirti olmayacaktı.

Spin ve İzospin

Madde parçacıkları kütlelerine, elektrik yüklerine, hareket biçimlerine ve eşlem gibi başka değişik özelliklerine göre bilinirler. Kabarcık odasında izlenen yollarda görüldüğü gibi, bir parçacığın hareketi bir yerden başka bir yere gitmesini ve ayrıca bir tür spin kazanmasını sağlayabilir. "Spin" terimi aslında yalnızca kuantum alanında varolan bir özelliği belirtmeye yönelik kaba bir adlandırmadır. Feynman spinden çok "kuantum spini" diye anarak, parçacık spininin soyut niteliğini vurgulamamız gerektiğini ileri sürer. Bu hareket bir golf ya da beyzbol topunun kendi eksenini etrafında dönmesine hiçbir biçimde benzemez. Her şeyden önce, teoriye göre ölçülebilir bir büyüklükten yoksun noktalar biçiminde olsalar bile, elektronlar, nötrinolar ve kuvarklar da spin hareketi içindedir.

Bir başka ilginç yön, maddenin bütün temel parçacıkları gibi bu parçacıkların da yalnız iki spin biçimi ya da durumu içinde olmasıdır. Kuantum mekaniğinin diliyle konuşmak gerekirse, elektronlar, nötrinolar ve kuvarklar $1/2$ spine sahiptir ve bu iki spin durumu $-1/2$ ve $+1/2$ kuantum sayılarını taşırlar. Konumuz açısından bu spin biçimlerini dosdoğru saat yönünde ve saat yönünün tersinde diye yorumlamak yeterlidir.

Bütün $1/2$ spinli parçacıklara, önce Fermi'nin ve kısa bir süre sonra Dirac'ın belirttiği istatistiksel davranışları açısından "fermion" denir. Pauli'nin açıklığa kavuşturduğu istatistiksel kurala göre, iki fermiyon aynı kuantum durumu içinde yer alamaz. Köklü öneme sahip bu kural, atomların elektron kabuk yapılarını of moleküllerde yer alan atomlar arasındaki elektron bağıını belirler. Kuvark teorisinin bazı temel yönlerini ortaya koymada Gell-Mann'a ve diğer fizikçilere yol göstermiştir. Temel nitelikte olmayan parçacıklar da iki ya da daha fazla spin durumu içinde olabilir. Örneğin, $3/2$ spinli bir parçacığın, kuantum sayıları $-3/2$, $-1/2$, $+1/2$ ve $+3/2$ olan dört spin durumu vardır. Buradaki formülün yalnızca tek birimle ayrılan kuantum sayılarına elverdiğine dikkat edin. Söz konusu parçacık ve yarım tam sayılı spini (örneğin $1/2$, $3/2$ vs.) olan diğer her parçacık da bir fermiyon olarak sınıflandırılır.

Temel parçacık olan fotonların da spini vardır. Davranışları 1 düzeyinde bir spini ortaya koyar ve kuantum sayıları -1 , 0 ve $+1$ olan üç spin durumuna elverir. Fermiyonlarla tam bir tezat içinde, herhangi sayıda foton aynı kuantum durumunda bulunabilir; Satyendranath Bose'nin bulduğu ve Einstein'ın geliştirdiği bir kalıptır bu. Fotonlara ve tam sayılı spine (1 , 2 , 3 vb) sahip diğer bütün parçacıklara (temel nitelikte olsun ya da olmasın) "bozon" denir.

Parçacık fiziği tarihinin erken evresi içinde sayılabilecek 1932'de, Heisenberg spin kavramını bir adım daha soyutlamaya doğru götürdü. Çekirdek yapısına ilişkin bir model için, çekirdeği oluşturan parçacıkların nötronlar ve protonlar olduğunu ve bunların esas olarak güçlü çekirdek kuvvetlerinden ve çok daha

zayıf biçimde (pozitif yüklü protonlar arasındaki) elektrik kuvvetlerinden etkilendiğini varsaydı. Elektrik yüküne karşı bu görece kayıtsızlığı, nötron ve protonun aşağı yukarı aynı kütleye sahip olduğunu ve nötron ile protonun karşılıklı olarak birbirine dönüştüğünü göz önünde tutarak, nötron ile protonun aslında “nükleon” denen yek bir yapının farklı durumlarından ibaret olduğu görüşüne dayalı bir teori kurdu. Nükleonun iki durumu Heisenberg’e $1/2$ spinli fermionların iki spin durumunu hatırlattı; böylece “izospin” kavramını ortaya attı. Buna göre nükleonun $1/2$ ’lik bir izospini (elektronun $1/2$ ’lik spininin benzeri) ve kuantum sayıları $-1/2$ ve $+1/2$ olan iki izospin durumu vardır. Bu durumlar (elektronun aynı kuantum sayılarına sahip iki spin durumuna benzer biçimde) nötron ve proton olarak gözlemlenir. Heisenberg’in hareket noktası sıkı sıkıya matematikseldi, gerçek anlamda bir spin hareketini tasarlaması söz konusu değildi. Ama ne kadar soyut olursa olsun, genişletilen ve Gell-Mann’ın acayiplik kurallarıyla birleştirilen bu izospin kavramı, tam da teorisyenlerin öğrenmek istediği şeyi gözler önüne serer: Nükleonun ve hadron akrabalarının temelinde yatan simetriler.

Terimler dizinine ilişkin birkaç hususa daha değinmemiz gerekir. İzospin kuantum sayısı I , ayrı izospin durumları ise I_3 sembolleriyle belirtilir. (Buradaki alt-sayı 3, izospin durumlarını ifade etmek için başvuru kabule ilişkindir. Kabule temel oluşturan matematiksel ayrıntılar ele aldığımız konu açısından önemli değildir.) Böylece nükleon için $I = 1/2$ ve “ikili” izospin durumları (nötron ve proton) için ise $I_3 = -1/2$ ve $+1/2$ olur. Bir mezon olan piyonun $I = 1$ değerinde izospini ve $I_3 = -1, 0$ ve $+1$ olarak belirtilen “üçlü” izospin durumları vardır. İleride Δ hadronuyla karşılaşacağız. Bunun izospini $I = 3/2$ değerindedir ve “dörtlü” izospin durumları $I_3 = -3/2, -1/2, +1/2$ ve $+3/2$ olarak belirtilir. Daha önce değinilen Λ acayip parçacığı tek başına durur, izospini sıfır, yani $I = 0$ değerindedir ve $I_3 = 0$ olarak belirtilen “tekli” bir izospin durumu vardır. Bunların hepsi hadron “çokluları”nın örnekleridir. Bu örneklerden I izospinine sahip bir hadronun $2I + 1$ üyeli bir izospin çoklusuna mensup olduğunu görebiliriz.

Başka Simetri Dersleri

En derin ve en güvenilir fizik ilkelerinin kökleri doğadaki simetrilere yatar. Simetriler korunum yasalarını, bu yasalar da simetrisi öngörür. Simetri tanısı teorisyene aynı zamanda yapıya ilişkin önemli ipuçları sağlar. Sözelimi, deneysel tekniklere (örneğin spektroskopiyeye) başvurarak bir molekülün simetrisini belirleyebilirsek, muhtemelen o molekülün biçimini ve atomlarının düzenlenişini de çıkarsamayla anlayabiliriz. Her iki strateji de uygulanabilir dinamik teorilerden tamamen bağımsızdır. Dinamik teoriler gelip geçici olabilir ama sağlam deneysel temeli olan her simetri bir demirbaş olarak kalır.

Gell-Mann hadronun yapısı gibi çetin bir probleme çözüm bulmak için simetri yordamını izleyen ilk ve en başarılı teorisyenlerden biriydi. Daha önceki fizikçiler gibi, o da izospin çoklularının resmen $SU(2)$ “simetri grubu” olarak belirtilen bir tür simetrinin imzaları ya da matematikçilerin deyişiyle “ifade biçimleri” olduğunu biliyordu. Gösterimin “ SU ” kısmı “özel üniterlik” (*special unitary*)

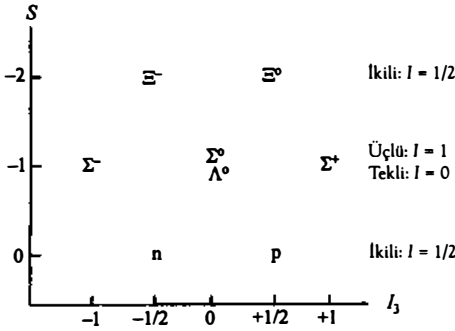
terimine karşılık düşer. Bu terim kuantum mekaniğinin öngördüğü belirli gereklerin yerine getirilmesini güvence altına alır. Parantez içindeki 2 ise en basit izospin çoklusunun nötron ve protondan oluşan iki-katlı ikili olduğunu yansıtır. Gell-Mann ve aynı uğraş içindeki teorisyenler o sırada mebzul miktarda keşfedilen hadronlar arasında $SU(2)$ simetrisine dönük kanıtları taradılar ve verilerin daha üst düzeyde simetritleri açığa çıkarıp çıkarmayacağını saptamaya çalıştılar. Her türlü yeni simetri kalıbını eşleyerek, hadron yapılarına ilişkin ipuçlarını bulmak belki mümkün olabilirdi. Önce gizli simetritleri ortaya çıkarmaya ve ardından hadron yapılarını çikarsamayla anlamaya dayanan bir yarıştı bu.

California Teknoloji Enstitüsü ve Sekiz Aşamalı Yol

Gell-Mann hadron spektroskopisi verilerine kafa yorarken, bir yandan da gittikçe tatsız hale gelen bir yaşam tarzından kopma uğraşı içindeydi. Ortak bir arkadaş olan Gwen Groves (Manhattan Projesi direktörü General Leslie Groves'un kızı) aracılığıyla, İleri Araştırmalar Enstitüsü'ndeki ikinci görevi sırasıyla Princeton'da Margaret Dow adlı genç bir İngiliz kadınla tanıştı. Enstitüdeki bir arkeologun asistanlığını yapan kadın, Gell-Mann'ın kine benzer bir aile geçmişi-ne sahipti. Babasının iş hayatında iflas etmesiyle sıkıntılı günler yaşamıştı. Gell-Mann onun arkeolojiye dönük ilgisini paylaşıyordu (eğer babası caydırmazsa, muhtemelen bir arkeolog olacaktı) ve onda ornitoloji tutkusunun simgesini görüyordu. Hatta birlikte İskoçya'nın batı kıyısı açıklarındaki ücra bir adada şişkin gagalı martı arama seferine çıktılar. Tek bir kuş yakaladılar ve bu martı onların uğuru haline geldi.

Gell-Mann Kasım 1954'te Margaret Dow'a niyetini açtı ve ondan olur cevabını alması üzerine 1955 ilkbaharında evlendiler. Bu arada Fermi ölmüştü ve bir kez Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde görev alan Gell-Mann artık Chicago'ya dönmeme kararını aldı. Önüne çıkan başka fırsatlar vardı. Julian Schwinger onun Harvard'a alınmasına destek verdi. Feynman onu California Teknoloji Enstitüsü'ne çağırdı. Aklına yatan tercih bu oldu. Pasadena ve Güney California başlangıçta Margaret'e pek sıcak gelmedi ama evlilik California'daki hayatın sıkıntılarına daha ağır bastı. Margaret duruma uyum sağladı ve Gell-Mann için büyük bir şans oldu. "Karısı sayesinde ... yaşamı değişti" diye yazar Johnson. "Kendisi dışında birini ne kadar seyrek düşündüğünü kavramaya başladı. Margaret'le tanışmadan önce, kendi deyişiyle 'çok işlevli bir bilgi işlem makinesi' ya da bilinçli kuvvetlerin etkisiyle 'sağa sola sekip duran bir atom' gibiydi. Şimdi bir kişilik olduğunu hissediyordu."

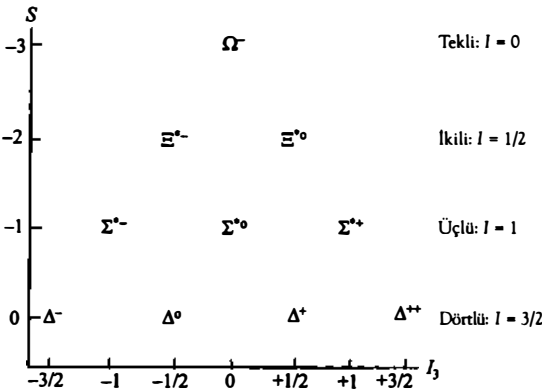
Gell-Mann 1960'ların başlarında hadron verilerinin gizemlerini çözme yoluna girdi. Daha yüksek simetrilere dönük arayışındaki atılımlardan biri, aydınlatıcı bir izospin çokluları gruplaşması bulmasıydı. Belirli bir eşleme ve $1/2$ 'lik spine (izospin değil) sahip bilinen baryonlara ilişkin basit bir harita hazırladı. Çizim 26.3'te görüldüğü gibi, bu krokinin koordinatları S acayipliği ve I_3 izospin durumudur. Krokisi çıkarılan baryonlar ise nükleonlar ile Λ , Σ , Ξ adları verilen üç parçacıktır. Nükleon ikilisi (nötron ve proton için n ve p) krokinin alt satırın-



Çizim 26.3. I_3 izospinine ve S acayıplığına göre haritası çıkarılmış bir baryon sekizlisi. Her sembol haritadaki bir noktayı temsil eder. Örneğin, "n" sembolü $I_3 = -1/2$ ve $S = 0$ noktasını gösterir.

dadır. Daha sonra Λ^0 tekli ile Σ^- , Σ^0 ve Σ^+ durumlarından oluşan Σ üçlüsü gelir. (Gerek Λ^0 gerek Σ^0 durumlarının $S = -1$, $I_3 = 0$ noktasında olduğu varsayılır.) Diyagramın üst tarafında Ξ^- ve Ξ^0 durumlarından oluşan Ξ ikilisi yer alır. Çizim 26.3'teki harita sekiz baryonu gruplaştırdığı için bir "sekizli" olarak anılır. Bir bakıma izospin çoklularının bir çoklusu olmakla birlikte, kütle farklılıklarından dolayı tam öyle değildir. Gell-Mann bir mezonlar sekizlisi için de benzer bir harita hazırladı.

Sekizlilerin ötesinde Gell-Mann'ın gözüne on baryondan oluşan daha büyük bir gruplaşma, yani bir "onlu" ilişti. Çizim 26.4'te görülen onlu kurgusu, $S = 0$ acayıplıklı bir Δ 'lar dördlüsü, $S = -1$ acayıplıklı bir Σ^* 'lar üçlüsü (asteriks işaretinden anlaşılacağı üzere, baryon sekizlisindeki Σ 'larla aynı değil), $S = -2$ acayıplıklı bir Ξ^* 'lar ikilisi (sekizlideki Ξ 'lerden farklı) ve diyagramın üst tarafında $S = -3$ aca-



Çizim 26.4. Önceki çizime benzer biçimde haritası çıkarılmış bir baryon onlusu.

yiplikli bir tekli olan Ω^- parçacığını barındırır. Gell-Mann 1960'ların başlarında bu onluyu kafasında canlandırmaya yöneldiğinde, on baryonun tamamı henüz bulunmuş değildi, yalnızca dördü (Δ 'lar) bulunmuştu. Onlu diyagramdaki bu "delik"lerin varlığına rağmen, Gell-Mann bulgularını 1961'de yayımladı, bilginçli olarak sekizlileri öne çıkardı ve şemasına "Sekiz Aşamalı Yol" adını verdi.

Gell-Mann şemasında sekizli ve onlu çokluları hayati önem taşır, çünkü izospin teorisinde $SU(3)$ simetri grubu olarak bilinen ve $SU(2)$ 'den daha yüksekte yer alan bir simetrinin ifade biçimlerini oluşturur. Daha sonra elde edilen hadron verileri, $SU(3)$ simetrisinin yalnızca hadron sınıflandırmasının anahtarı olmakla kalmadığını, bunun ötesinde hadron yapısına dönük arayışta önemli bir ipucu olduğunu doğruladı.

Gell-Mann'ın hadron verilerini düzenlemeye yaklaşımı, 1860'ların sonlarında Dmitriy Ivanoviç Mendeleyev'in kimyasal elementleri sıralamak için önerdiği periyodik şemaya benzer. Tıpkı Gell-Mann'ın tabloları gibi, Mendeleyev'in tablosu da yer alması gereken elementlerin henüz ortada olmadığı boşluklar içermektedir ve bu durum yeni elementlere dönük bazı çarpıcı buluşlara esin kaynağı olmuştur.

Gell-Mann'ın onlu haritası eksik baryonlara dönük benzer arayışları getirdi. Onlu dağının zirvesine $S = -3$ acayipliğiyle kurulan Ω^- parçacığı dışında hepsi gereğince bulundu. Özellikle erişilmez olmasının nedeni, olağanüstü büyük kütesiydi. Bir hızlandırıcıda bu parçacığı yaratmak için yüksek bir enerjinin verilmesi gerekirdi. Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda Nicholas Samios ve Robert Palmer 1964'te bir Ω^- yakalamak için kahramanca bir çabaya giriştiler. Karbarık odası izlerinin yer aldığı doksan yedi bini aşkın görüntünün fotoğrafı çekildi ve bunun için üç yüz elli bin metreye yakın film tüketildi. Ancak deneyçiler doğru resmi elde ettiğinde, enfes bir şey olduğu görüldü. Bu resim yalnızca ele avuca sığmaz Ω^- parçacığının ortaya çıkışını değil, sistemi kararlı parçacıklar düzeyine getiren sonraki olaylar şelalesini de açığa çıkardı. Nihai parçacıkların izlerinden yola çıkarak, Ω^- kütlesi saptandı. Enerji birimleriyle bu kütle 1682 ± 12 MeV düzeyindeydi. (MeV bir milyon elektron volt demektir.) Gell-Mann 1685 MeV tahmininde bulunmuştu. Böylece $SU(3)$ simetrisi perçinlenmiş oldu.

Üç Koku Halindeki Kuvarklar

Deneyçiler Ω^- parçacığının ve kuzenlerinin izini sürerken, Gell-Mann kendinden emin bir biçimde $SU(3)$ hadron simetrisinin anlamını araştırıyordu. Ana gizem $SU(3)$ 'teki 3'tü. Acaba bunun fiziksel bir anlamı var mıydı? Eğer varsa neydi bu? Matematiksel açıdan $SU(3)$ simetrisinin üç-katlı bir ifade biçimi söz konusuydu ama Gell-Mann hadron verilerinde bunun doğrudan fiziksel karşılığını bir türlü bulamıyordu. İzospin $SU(2)$ simetrisinin kendine özgü iki-katlı nükleon (nötron + proton) ikilisi vardı ama Gell-Mann'ın verilerde benzer bir $SU(3)$ üçlüsünü araması boşunaydı.

Daha incelikli bir olabilirlik, üç-katlı simetrinin esasen hadronların yapısında yer almasıydı. Gell-Mann nötronların, protonların ve diğer bütün baryonların üç temel parçacıktan oluştuğu, bunların da üç tipte, kendi deyişiyle üç "ko-

ku" halinde belirttiği fikrini kafasında evirip çevirmeye başladı. Bu temel parçacıklara önce "kvork" adını verdi, daha sonra James Joyce'un *Finnegans Wake* romanında "Yoklama İşareti için üç kuvark!" cümlesine rastlayınca, adı şimdi bilinen haliyle "kuvark"a çevirdi. (Parçacık fizikçilerinin arsızlığa varan garip adlar koyma gibi bir alışkanlığı vardır. Gell-Mann kuvark teriminin "yalnızca bir espri ... gösterişli dile karşı bir tepki" olduğunu ileri sürer.)

Modelin bazı problemler vardır. Bunların en direşkeni ise elektrik yükünün maddesidir. Modelde kuvarkların yük taşıdığı öngörülür. Peki, her üç temel parçacığın toplam yükü protonun birim yükünü ya da nötronun sıfır yükünü nasıl verebilir? Bu açmazdan tek çıkış yolu kuvarklara daha önce doğada hiç gözlemlenmemiş olan bir şeyi bahşetmektir: Proton birim yükünün kesirleri. Üstelik ciddiye alınabilmesi için, böyle bir modelin şunu açıklaması gerekir: Kesir yüklü kuvarklar niçin laboratuvar ortamında asla görülemeyecek kadar maddeye sıkıca kilitlenip kalmış olsun?

Gell-Mann modelinin bir başka tuhaf yönü, üç kuvarktan birine diğer ikisinden önemli ölçüde farklı bir kütle verme zorunluluğuydu. Bu durum modelin estetiğini zedelemekteydi: Üç-katlı simetriyi pürüzlü hale getirmekteydi. Böylece simetri parçacık fizikçilerinin deyişiyle "kırılmış" olsa da, bu aksaklık SU(3) simetrisinin ayırıcı olan sekizlilerin ve onluların Gell-Mann sekizli ve onlu haritalarında açık seçik görülememesi düzeyine varmaz.

Gell-Mann ortaya attığı üç kuvarka "yukarı", "aşağı" ve "acayip", (İngilizce karşılıklarının baş harfleriyle) u, d ve s adlarını verdi. Bunlardan u ve d yaklaşık aynı kütleye sahiptir, s ise kabaca yüzde 40 oranında daha ağırdır. Kesirli elektrik yükü u kuvarkında $+\frac{2}{3}$ (proton yükü birimleriyle), d kuvarkında $-\frac{1}{3}$ ve s kuvarkında $-\frac{1}{3}$ 'tür. (Farklı kuvark yükleri üç-katlı simetriyi yalnız birazcık bozar, çünkü bir hadronun sınırları içinde, güçlü etkileşimle karşılaştırıldığı zaman elektrik etkileşimleri neredeyse önemsiz sayılacak kadar düşüktür.)

Gell-Mann'ın teorisinde bir protonun iki u kuvarkı ile bir d kuvarkından oluştuğunu, kısaca uud yapısında olduğunu öngörür. Böylece toplam yük $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$ olur. Nötronun udd şeklindeki kuvark bileşimi, zorunlu olan sıfır yükünü sağlar: $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$. Adından anlaşılacağı üzere, s kuvarkı yalnızca acayip parçacıklarında bulunur ve -1 düzeyinde bir acayıplık taşır. Buna karşılık u ve d kuvarklarının sıfır acayıplığı vardır. Σ^- , Σ^0 ve Σ^+ acayip üçlüsünün üyeleri sırasıyla dds, uds, uus kuvark içeriklerine ve $-\frac{1}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = -1$, $\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$ ve $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$ yüklerine sahiptir. Meşhur Ω^- parçacığı her biri -1 acayıplık katan üç s kuvarkı barındırır ve yükü $-\frac{1}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = -1$ düzeyindedir.

Gell-Mann'ın teorisinde mezonlar da kuvark yapılarına sahiptir. Ama bunlar baryon yapılarından temelde farklıdır. Her zaman biri normal kuvark, diğeri anti-kuvark olmak üzere iki kuvark barındırırlar. Bir kuvark ve anti versiyonu, elektrik yükü ve ayrıca acayıplık bakımından birbirine karşıttır. Böylece, sözgelimi, d kuvarkı ve $\bar{d}$ olarak yazılan anti-d kuvarkı sırasıyla $-\frac{1}{3}$ ve $+\frac{1}{3}$ yüklerine sahip olur. Benzer biçimde, s kuvarkı ve anti partneri $\bar{s} - \frac{1}{3}$ ve $+\frac{1}{3}$ yüklerini, -1 ve $+1$ acayıplık değerlerini taşır.

Verilebilecek bir örnek, kuvar yapıları sırasıyla $s\bar{u}$, $d\bar{s}$ ve $u\bar{s}$, yükleri ise $-\frac{1}{3}$, $-\frac{2}{3}$, -1 , $-\frac{1}{3}$ + $\frac{1}{3}$ = 0 ve $\frac{2}{3}$ + $\frac{1}{3}$ = 1 olan K^- , K^0 ve K^+ mezon üçlüsüdür. Bunlara denk düşen acayiplikler ise -1 , $+1$ ve $+1$ 'dir. Parçacık fiziğinde parçacıkların ve anti-parçacıklar sıkı yakınlıkta geçinememesi bir genel kuraldır, ortaya çıkan sonuç karşılıklı yıkımdır. Bu kural bir kuvar ile bir anti-kuvarı bir araya getiren mezonların her zaman kararsız olduğunu ortaya gözlemlerde açık seçik görülür.

Gell-Mann'ın kuvar modelinin hemen benimsendiği pek söylenemez. "Kuvarlar bir kılavuz balon gibi karşılandı" diye ifade eder bunu Gell-Mann. Özellikle kuvarın kesirli yükleri ve bu yüklerin hadronlar içindeki ebedi mahkûmiyeti, teorisyenler için kabul edilmesi zor şeylerdi. Kuşkuyla yaklaşanlar arasında bizzat Gell-Mann da vardı. "Ben bile [gözlemlenemeyen] kesir yüklü parçacıklar fikrini çatlakça buluyordum" diye belirtir, o günleri anarken. Kuvarların "kalıcı olarak içeriye tıklmış olması" nedeniyle (nitekim Sheldon Glashow adlı bir fizikçi "Kuvar tornavidasıyla bile birini çekip çıkarmaya olanak yok" diye dalga geçmişti), Gell-Mann bunların matematiksel bir varlık taşıdığı ama gerçek olmadığını söyleyerek kaçamak bir yola başvurdu. *Physical Review* yazı kurulu üyelerinin ve editörlerinin nasılsa kabul etmeyeceği inancıyla, kuvarlara ilişkin bir makaleyi Cenevre yakınındaki Avrupa hızlandırıcı merkezi CERN'de yayımlanan daha liberal *Physics Letters*'a gönderdi. "Şematik Bir Baryonlar ve Mezonlar Modeli" başlıklı makale 1964'te, Ω^- parçacığının bulunduğu haberinden tam bir gün önce dergide çıktı.

Üç Renk Halinde Kuvarlar

Gell-Mann'a göre fizikçilere başarı puanı verirken, yayımladıkları doğru fikirlerin sayısından yanlış fikirlerinin iki katını çıkarmak gerekir. İlk kuvar makalesi bir dergide çıktığında, teorisinin itibar düşürücü bir sonuç getirebileceği endişesini duyması için haklı nedenler vardı. Teorisyenlerin kırk yılı aşkın bir süreden beri güvendiği bir istatistiksel ilkeyle, Pauli dışlama ilkesiyle açık seçik bir çatışma söz konusuydu. Tıpkı elektronlar gibi, kuvarlar da $\frac{1}{2}$ spinli parçacıklardır. Bu da fermiyonlar kapsamına girmelerini ve iki ya da daha fazla fermiyonun sıkı yakınlık içinde aynı kuantum durumunda bulunamayacağı yolundaki dışlama kısıtlayıcılığına mutlaka uymalarını getirir. Oysa sözgelimi Ω^- parçacığı yakın sınırlar içinde ve hatta kimiz zaman aynı kuantum durumunda yer alan s kuvarlarını barındırır.

Teorisyenler için uzun yıllardan beri işlerine yaramış bir ilkedен vazgeçmek kadar tatsız bir şey yoktur. Pauli ilkesini gözden çıkarmaya razı olacakların sayısı çok azdı. Bazıları kuvar teorisinin sahnedен çekilmesine hayıflanmaktan uzaktı ama iyi bir alternatif vardı. Kuvarları ek bir kuantum özelliğiyle, Ω^- parçacığında bir araya gelen üç kuvarından farklı bir özellikle donatarak teoriyi geliştirmek mümkündü. Böyle bir teori önce Moo-Young Han ve Yoiçiro Nambu tarafından ortaya atıldı. Onlara göre kuvarlar (daha garip bir adla) "renk" denen ve elektrik yüküne benzeyen bir özelliğe sahipti. Normalde negatif ve pozitif olmak

üzere iki elektrik yükü vardır; Han ve Nambu kuvarkların farklı ve bağımsız üç tür yüke sahip olduğu görüşünü ileri sürdü. Bu fikri benimseyen başka teorisyenler çıktı. Gell-Mann da onlara katılarak kırmızı, beyaz ve mavi diye üç renk yükü belirledi. Diğer fizikçiler (belki de beyazın saf bir renk olmadığını göz önünde tutarak) renk belirlemesini kırmızı, yeşil ve maviye çevirdiler. Böylece kuvark teorisinin garip diliyle konuşursak, üç kuvark kokusu u, d ve s (ileride göreceğimiz üzere daha başkaları da) üç renk halinde, yani kırmızı, yeşil ve mavi olarak ortaya çıkar.

When Gell-Mann 1969'da kendi deyişiyle "İsveç Ödülü"nü kazandığında, kuvark teorisi hâlâ kırılğan olduğu için Nobel gerekçesinde bundan hiç söz edilmedi: Gell-Mann "temel parçacıkları ve etkileşimlerini sınıflandırma konusundaki katkılarından ve buluşlarından dolayı" ödüle layık görüldü. Ödül dağıtım töreninde Gell-Mann'ı Nobel konuşmasını yapmaya davet eden sunucu, yalnızca kuvark kavramının "buluşa yöneltici büyük değeri"ni belirtmekle yetindi. Gell-Mann bundan daha ileri gitmeye pek istekli değildi. Şunu söyleyebilirdi ancak: "Şimdiye kadar kuvark bir nosyondan ibaret kalmıştır. Yararlı bir nosyon olduğu doğrudur ama gerçek kuvarklar belki hiç var olmayabilir." Kuvarkın varlığı ya da yokluğu sorunu "maddi temelden yoksun" bir şeydi.

Tutsak Haldeki Kuvarklar

Gell-Mann'ın Nobel Ödülü'nü kabul ettiği sıralarda, kuvark teorisi bazı çarpıcı deneysel destekler elde etmekteydi. Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi'nde 1960'ların sonlarında protonları yüksek enerjili elektron demetleriyle bombardımana tutarak yürütülen deneyler, protonların içinde sert, noktaya benzer ve yüklü parçacıkların varlığını ortaya çıkardı. Feynman bunlara "parton" adını verdi ve yer aldıkları proton sınırları içinde serbest hareket ediyor gibi göründüklerine işaret etti.

Gell-Mann'a göre Feynman'ın partonları birer "atmasyon"du ve söz konusu parçacıklara kuvark denmesi gerekirdi. Parçacık fiziğinin gelişimini anlatan *The Second Creation* (İkinci Yaratılış) adlı kitabın yazarları Robert Crease ve Charles Mann'la yaptığı bir görüşmede, "Bunların kuvarklar ve anti-kuvarklar değil de, 'atmasyonlar' gibi yeni bir şey olduğunu söylemek, geliştirmiş olduğumuz bütün fikre bir hakaret gibi görünüyor bana" dedi. Daha da ileri giderek, Stanford teorisini James Bjorken'in ortaya koyduğu önemli bir noktanın "Feynman tarafından biraz daha -eee, nasıl desem- biraz daha popüler tarzda" açıklandığını belirtti. "Ve de bütün derinliği nükleonun içinde kuvarkların her zaman serbest olduğunu söylemekten ibaretti."

Tuhaf yaratıklar vessalam şu kuvarklar/partonlar. Kapatıldıkları hadron sınırlarından kaçmalarına olanak yok ve buna rağmen kafesleri içinde birbirlerini etkilemiyormuş gibi görünüyorlar. Hadronlar âleminde işlerin böyle yürüdüğünü söylemek başka bir şey, bu davranışı açıklayan dinamik bir teori kurmak başka bir şeydi. Gell-Mann'ın Crease ve Mann'a anlattığına göre, bunun anahtarı renkti: "Bu değişkenin [rengin] bizim için her şeyi yapacağını tedricen gördük. İsta-

tistiği düzeltti ve bizleri yeni çılgın parçacıklarla uğraşmak durumunda bırakmaksızın başarabildi bunu. Derken dinamiği de düzeltbildiğini kavradık.”

Dinamik “düzeltme” kuvarkın renk yükü olarak kaynağını oluşturduğu yeni bir kuantum alanıydı. Elektrik yükünün kaynağını oluşturduğu elektromanyetik alana benzer bir şeydi bu. Yeni alanın zamanla “glüonlar” diye anılmaya başlayan kuantumları, elektromanyetik alanın fotonlarına benzer biçimde, kuvarkları birbirine bağlayan güçlü kuvveti taşır. Sekiz tür glüon vardır (SU[3] simetrisinin bir kez daha işbaşında olduğunu gösteren bir sekizli) ve bunlar da renk yakıştırmasına sahiptir.

Renk dinamiğinin ya da Gell-Mann’ın daha sonraları verdiği adla “kuantum kromodinamiği”nin (KKD) son rötuşlarından biri, 1973’te David Politzer, Frank Wilczek ve David Gross’ın katkısıyla geldi. Bu üç teorisyen bizzat alanın gerekli şeyi yaptığını, yani serbest kuvarkları hadron kafeslerinde tutsak durumda bıraktığını gösterdi. Bunun için alanın alışılmamış türde bir kuvvet, mesafeyele birlikte artan bir kuvvet yaratması gerekir. Bildik kuvvetlerin çoğu tam tersi yönde işler, yani mesafenin artmasıyla birlikte azalır. Bunun örnekleri azalan $1/r^2$ değerine bağlı kütleçekimi ve elektrik kuvvetleridir. Buradaki r , kuvvetin etkilediği iki cisim arasındaki mesafeyi ölçmeye yarar. Kuantum kromodinamiğinde beliren kuvvet, bir lastik bandın kuvvetine benzer. Lastik bantla bir arada tutulan iki cisim ayrıldığında, bant gergin hale gelir, kasılır ve cisimleri çekerek tekrar bir araya getirir. İki cisim birbirine yaklaştığında, bant askıları gevşer ve böylece cisimlerin serbest ve kısıtsız hareket eder.

Teorisyenlerin burada açıklanması pek gerekmeyen nedenlerle “asimptotik serbestlik” dediği sınırlanma özelliği, fizikçilere bu güçlü kuvveti tam anlama umudunu verdi. Crease ve Mann’ın belirttiği gibi, “asimptotik serbestlik tıpkı açılan bir perdenin ardında daha önce saklı bir sahnenin görünmesi gibi, güçlü etkileşimi tan boyutuyla gözler önüne serdi. Birçok fizikçi manzaranın unsurlarını resmetmiş ve Gell-Mann bütünlüğü kucaklamaya en yakın noktaya varmıştı ama o zamana kadar hiçbiri doğanın hayat verişinin kusursuz zarafetini tam kavrayamamıştı.”

Kuvark Kuşakları

Kuvark kokuları yeterli değildi. Hızlandırıcı demetlerinin enerjisi yukarılara doğru tırmandıkça, daha da sofistike hale gelen detektörlerde kısa ömürlü parçacıklar, bilinen u , d ve s kuvarklarına göre belirlenmiş yapılarla açıklanamayan parçacıklar belirmeye başladı. Bu parçacıklardan ilkinin izleri tamamen farklı tekniklerin kullanıldığı iki laboratuarda beklenmedik biçimde ve eşzamanlı olarak ortaya çıktı. Brookhaven Ulusal Laboratuvarı’nda Samuel Ting’in yönetimindeki bir ekip bulduğu bir parçacığa J adını verdi, Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi’nde Burton Richter’e bağlı bir ortak çalışmanın sonunda aynı kütleyle sahip ve ψ adı verilen bir parçacığın bulunduğu bildirildi. Her iki sav da geçerliydi ve biri diğerinden öncelikli değildi. Bu nedenle J/ψ adıyla vaftiz edilen parçacık, proton kütesinin üç katını aşacak kadar ağırdı. Böylesine büyük bir küt-

leye (ve enerjiye) sahip olmasına rağmen, şaşırtıcı ölçüde uzun ömürlüydü. Kuantum kromodinamiğine ve “büyü” ya da [İngilizce karşılığının baş harfiyle] kısaca c adını kazanan dördüncü bir kuvarkın varlığına dayalı bir model, ilginç J/ψ için iyi bir açıklama sağladı. Buna göre J/ψ bir mezondur ve kuvark yapısının $c\bar{c}$ ($\bar{c}$ bir anti-büyü kuvarkı) biçiminde olduğu varsayılır. Kuantum kromodinamiğinin J/ψ olayındaki başarısı, kuvark kavramının genelgeçer fizikte yer bulmasında epeyce önemli rol oynadı.

Dördüncü kuvarkın bulunmasıyla birlikte, bir kuvark aileleri ya da kuşakları düzeni doğmaya başladı. En hafif iki kuvark u ve d birinci kuşağa, belirgin biçimde daha ağır s ve c kuvarkları ikinci kuşağa girer. 1970’lerin sonlarında üçüncü kuşağa mensup daha da ağır bir beşinci kuvarkı gerekli kılan Y (epsilon) parçacıklarının (mezonlarının) bulunmasıyla düzen genişletildi. Yeni üyeye belli bir neden olmaksızın “alt” ya da [İngilizce karşılığının baş harfiyle] kısaca b kuvarkı adı verildi.

Artık beşinci kuvark olduğuna göre, besbelli ki üçüncü kuvark kuşağını tamamlayacak altıncısına gerek vardı. Illinois eyaletinin Batavia şehrindeki Fermilab Ulusal Hızlandırıcısı’nda 1990’ların ortalarında (birbirini dostça denetleyecek) iki devasa proje başlatıldı. Amaç alt kuvarkının (haliyle) “üst” ya da [İngilizce karşılığının baş harfiyle] kısaca t kuvarkı olarak adlandırılan kardeşinin varlığına ilişkin kanıtları derlemektir. İki ortak çalışmaya bin kadar fizikçi ve bir sürü teknisyen katıldı. Bir detektördeki birkaç trilyon olay arasından on ikisinin bir üst ve alt-üst çifti ortaya çıkardığı sonucuna varıldı. Adamakıllı pahaliya patlayan bilimci bu. Rutherford böyle bir şeyi görse şaşkınlıktan donakalırdı.

Üç kuvark kuşağı, teorisyenlere bütün bilinen mezonların ve baryonların modellerini kurmak için gerekli yapı taşlarını vermeye yeterlidir. Üçüncü parçacık kategorisini oluşturan leptonlar, mevcut kuantum alanı teorisine göre (biri nokta olma itibarıyla) yapıdan yoksundur. Kuvark teorisinin bunlar hakkında söyleyeceği bir şey yoktur. Ancak görünüşe bakılırsa üç aileye ya da kuşağa mensup olmaları gerekir.

Birinci lepton kuşağı e elektronunu, hem negatif elektronu hem de pozitif elektronu (bir başka adla pozitronu) ve ν nötrinosunu kapsar. İleride karışımıza başka nötrino türleri çıkacağından, elektronla bağlantısını vurgulamak üzere bunu ν_e sembolüyle göstereceğim. Uzun yıllar parçacık fizikçilerinin başına bela kesilen (ve hatta Isidor Rabi’yi “Müonmuş. Kim buyurdu bunu?” diye yakınmak zorunda bırakan) μ müonu sonunda tanımlandı ve elektronun ağır bir dengi olduğu anlaşıldı. Pozitif ya da negatif elektrik yüklü olan bu parçacığın kütlesi, elektron kütlesinin iki yüz katı kadardır. Elektron-müon paraleli, ν_μ şeklinde ifade edilebilecek özel bir müon nötrinosunu gerekli kılar. Columbia Üniversitesi’nden fizikçilerin 1960’ların başlarında Brookhaven’da tasarladığı devasa bir deney, bu ikinci kuşak nötrinin varlığına ilişkin kanıtları ortaya koydu.

Deneyciler 1970’lerde üçüncü kuşak leptonlara yöneldi. Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi’nde τ olarak adlandırılan elektron benzeşiği beklenmedik biçimde bulundu. Tıpkı μ gibi, bu da negatif ya da pozitif yük taşıyabilir ve küt-

lesi elektron kütlelerinin yaklaşık üç bin beş yüz katıdır. Artık τ leptonu bulundu-
ğu için, ν_τ nötrinosunun varlığı kabul edildi ve yakın dönemde de gözlemlendi.
İşte, size üç lepton ve kuvarik kuşağının derli toplu bir özeti:

Birinci kuşak:

d ve u kuvarıkları,
e ve ν_e leptonları.

İkinci kuşak:

s ve c kuvarıkları,
 μ ve ν_μ leptonları.

Üçüncü kuşak:

b ve t kuvarıkları,
 τ ve ν_τ leptonlar.

Bu parçacıklardan her birinin anti versiyonu bulunduğunu unutmayın.

Acaba bir *dördüncü* kuvarik ve lepton kuşağı var mı? Stanford Lineer Hızlandırıcı Merkezi'nde ve Avrupa hızlandırıcı merkezi CERN'de 1980'lerin sonlarında yürütülen iki karmaşık ve ustalıkla deneyin gösterdiği gibi, buna verilecek cevap hayırdır. Söz konusu deney, dördüncü bir nötrino türü olamayacağını dolaylı olarak ortaya koydu. Teorisyenler de dördüncü kuşak nötrino bulunmadığına göre, dördüncü kuşak kuvarik ve elektron karşılıklarının olamayacağı sonucuna vardı. Liste dolmuş durumda.

Yarışma

Gell-Mann'ın 1950'li ve 1960'li yıllarda önemli buluşlarına varırken izlediği teorik yol bayağı sıkıştı. Aynı menzillere doğru sıkı bir yarış içinde Gell-Mann'la birlikte yolculuk edenlerden bazılarına değinmezsek, hikâyemiz eksik kalacaktır.

Gell-Mann'ın acayip parçacıklar için yeni bir kuantum sayısına gerek olduğu yolundaki fikrini Japon teorisyen Kazuhiko Nişicima da paylaşılmaktaydı. Sekiz Aşamalı Yol'un ardındaki simetri ilkelerinin eşzamanlı diğer buluşçusu, İsrail ordusunda albay olan Yuval Ne'eman adlı bir amatör fizikçiydi. Ne'eman askeri ataşe olarak Londra'da bulunduğu sırada Imperial College'da fizik öğrenimi görmüştü. Hocası Abdüsselam, zayıf etkileşime ilişkin alan teorisi üzerindeki çalışmalarıyla ünlüydü; Ne'eman'ın SU(3) simetrisine ilişkin savlarına önce pek hararetle bakmadı ama Gell-Mann'ın da SU(3) yordamını takip ettiğini öğrenince fikrini değiştirdi.

Kuvarik kavramını bulma payesini Gell-Mann'la paylaşan kişi, onun araştırma öğrencilerinden biri olan George Zweig'di. Teorisini CERN'e bir ziyareti sırasında, Gell-Mann'ın etkisi altında olmaksızın geliştirdi. Kendi hadron-altı parçacıklarına "as" adını verdi. Buna göre üç as barındıran baryonlar "üçlü", iki as barındıran mezonlar ise "ikili" yapıya sahipti. Zweig teorisini ayrıntılı olarak kurdu ama as'ların belki de "oldukça gelişkin hatırlatıcı araçlar" olmanın ötesine ge-

çemeyebileceği kaydını da koydu. Bununla birlikte “modelin doğaya sandığımızdan daha sıkı bir yakınlık taşıması ve kesir yüklü asların bünyemizde bolca bulunması gibi bir uzak ihtimali” de görebildi.

Zweig bir başka uzak ihtimal için bahse girmeye hevesliydi. Makalesini CERN yayın organı *Physics Letters*’a vermesi bekleniyordu. Bunun yerine saygın *Physical Review* dergisine göndermeyi tercih etti ve kesin bir ret cevabı aldı. Daha yaşlı ve makul Gell-Mann ise gözlemlenemeyen kesir yüklü temel parçacıklar gibi tuhaf yapılara *Physical Review* dergisinin olumsuz bakacağını kestirerek, ilk kuvar makalesini *Physics Letters*’ta yayımladı. Zweig’in teorisi bir CERN raporunda yer alma dışında bir yayın mecrasına girmedi, yine de yaratıcısıyla birlikte belirli bir şöhrete ulaştı. Zweig önemli bir üniversiteye girmek için başvurduğunda, ilgili bölümün başkanı onu bir “şarlatan” olarak nitelendirdi.

Kuvarklar ve Jaguarlar

Murray Gell-Mann anlaşılması kolay bir adam değildir. Bazıları iyi, bazıları kötü ve bazıları şaşırtıcı birçok yönü vardır. Onu tanıyan herkes teorik fizik açısından bir dâhi ve fikirlerini kolay akılda kalır bir terminolojiyle tanıtmaya açısından mahir olduğu konusunda görüş birliği içindedir. Geniş ve çoğu kez gizemli ilgi alanları vardı. Biyografisini yazan Johnson’ın verdiği listeye göre bunlar klasik tarih, arkeoloji, dilbilim, doğal hayat ekolojisi, ornitoloji, nümizmatik, Fransız ve Çin mutfağıydı. California Teknoloji Enstitüsü’nde disiplinler arası girişimlerin geliştirilmesi için yıllarca önerilerde bulundu ama pek sonuç alamadı. 1980’lerin ortalarında aynı görüşteki birkaç meslektaşıyla birlikte Santa Fe’de yer alacak ve “karmaşıklık araştırmaları”nı konu alacak bir enstitüsünü tasarladı. Ona göre bunun anlamı, basitten karmaşığa varma yollarını irdelemektir. Santa Fe Enstitüsü 1987’de gerçekleşti. Los Alamos’ta araştırma direktörlüğü yapmış olan George Conway rektör, Gell-Mann da bilim kurulu başkanı oldu.

Gell-Mann’ın üstlendiği üst düzey kamu görevleri, bu kitapta yer alan diğer fizikçilerin hepsine oranla daha fazladır. 1960’larda Savunma Analizleri Enstitüsü’ne bağlı bir danışma grubuna katıldı. Birbirlerine “Jason” diye hitap eden grup üyeleri anti-balistik füze sistemleri ve nükleer patlamaların belirlenmesi gibi savunma politikası konularını ele alıyordu. Hans Bethe, Edward Teller, John Wheeler, Eugene Wigner ve Freeman Dyson’ın yer aldığı elit bir gruptu bu. Gell-Mann ayrıca Richard Nixon’ın bilim danışma kurulunda yer aldı. Bir suikasta uğramayıp başkan seçilmesi halinde Robert Kennedy’nin de bilim danışmanı olacaktı. Gell-Mann’ın fizik dünyası dışındaki birçok saygın bağlantısı arasında Smithsonian Enstitüsü ve MacArthur Vakfı yönetim kurulu üyelikleri sayılabilir.

Anlaşıldığı kadarıyla diğer üyelerle pek görüş ayrılığına düşmeksizin yürüttüğü bu imrenilecek komite çalışmaları siciliyle tam bir tezat oluşturan şey, Gell-Mann’ın seçilmiş meslektaşlarına, genellikle de kendisiyle yarışma içinde olanlara aşağılayıcı sözlerle saldırma huyuydu. Gözde hedefi ise aynen mukabele eden Richard Feynman’dı. California Teknoloji Enstitüsü’nde ikisinin odaları birbiri-

ne yakındı. Aynı sekreterlik hizmetlerini paylaşıyorlardı. Önceleri ilişkileri işbirliğine dayalı ve ahbapçaydı. Yeni fikirlerini sınamak için bir insan mihenk taşına ikisinin de ihtiyacı vardı. “Birlikte fiziği tartıştığımız zaman” diye yazar Gell-Mann, “fikir alışverişine girerdik ve matematiksel hesap hummaları arasında gü-lünç şakalar yapardık. Aramızda kıvılcımlar çakardı ve bize coşkulu bir heyecan verirdi bu.” Bu şahane tartışmalarına “kozmosun kuyruğunu bükme” derlerdi.

Gelgelelim, Gell-Mann ve Feynman tam birbirine zıt kişiliklere sahipti. Bir araya geldiklerinde ortalığa gamma ışınları olmasa bile, en azından maytap ışıklarının saçılması kaçınılmazdı. Feynman aşağılama sanatında Gell-Mann’dan hiç de aşağı değildi. Gell-Mann’ın döktürdüğü dilbilim bilgilerine katılmaması yüzünden çıkan bir kapışmanın sonunda sözünü şöyle bağlamıştı: “Murray, yüz yıl sonra soyadının kesmeli mi, bitişik mi yazıldığını kimse bilmeyecek.” Gell-Mann da Feynman’s monolog kitaplarını “Dick’in fıkra kitapları” diye anmaktan hoşlanırdı. Feynman üzerine anı yazılarının bir derlemesi olan *Most of the Good Stuff* (İyi Kumaştan En İyi Elbise) adlı kitapta, Gell-Mann’ın araya sıkıştırdığı bir takılma şöyleydi: “Richard’ın üslubunun çok iyi bilinen bir yönü [beni pek sarmazdı]. Kendini bir efsane sisyle kuşatırdı, kendisi hakkında anekdotlar üretmek için epeyce zaman ve enerji harcardı. Bunlar kimi zaman o kadar büyük gayret gerektirmeyen şeylerdi.”

Gell-Mann iki mutlu evlilik yaşadı. İlk karısı Margaret 1970’lerin sonlarında kalınbağırsak kanseri belirtileri gösterdi ve teşhis konarak bir tedavi yolunun izlenmesine fırsat kalmadan, kanser karaciğere sıçradı. Margaret karaciğer kanserini bastırmaya yönelik ıstırap verici ve beyhude girişimlerin ardından 1981’de öldü. Gell-Mann için sarsıcı bir kayıp oldu bu. Margaret onun dayanaklarından biri olmuştu.

Aynı sıralarda Gell-Mann bir baba olarak derin acılar içinde kıvranıyordu. Küçüklüğünde örnek ve saygılı bir çocuk olan kızı Lisa, ateşli bir biçimde sol siyasetin içine dalmıştı. Varlıklı bir New York ailesinden gelen genç bir adamın etkisiyle ABD Marksist-Leninistleri Merkez Örgütü adlı bir devrimci gruba katıldı. İosif Stalin’i kahraman olarak gören grubun siyasal ideali Arnavutluk’ta Enver Hoca’nın kurduğu tarzda bir diktatörlüktü. Gell-Mann ancak ara sıra görebildiği kızının ilgisini başka yönlere çevirme girişimlerinden sonuç alamadı. Birkaç yıl sonra oğlu Nick’le de ilişkileri bozulmaya yüz tuttu. Çocuklarıyla yaşadığı bu yabancılaşmalar on yıl kadar Gell-Mann’ın başına dert oldu.

Gell-Mann bir bilim adamı için savurgan ve gösterişli sayılacak bir yaşam tarzını tuttu. Bir ara Santa Fe, Aspen ve Pasadena’da ayrı ayrı evleri vardı. “[Santa Fe’deki evi] bir müze gibiydi” diye yazar Johnson. “İçinde yerli Amerikan seramik işlerinden, Afrika sanat eserlerinden, nadir kitaplardan ve Eskimo zıpkını, Kuzey Afrika güzrü, zehirli okları da eksik olmayan üfleme borusu, Sumatra hancı, kafa uçurmada kullanılan Çin palası gibi antik silahlardan oluşan bir koleksiyon vardı.” Pasadena’daki evin ise “anonim, neredeyse kurumsal dış cephesiyle gölgelerle kaplı ve heybetli” olduğunu belirtir Johnson. “Birçok ziyaretçiye evden ziyade bir müze olarak, Murray’in gittikçe büyüyen antika eserler koleksiyon-

nunu tuttuğu bir yer olarak çarpıcı gelirdi.” Gell-Mann aynı zamanda lüks otomobiller konusundaki zevkiyle de ünlüdür. Kazandığı Nobel Ödülü parasının bir kısmını bir binek Jaguar Sedan arabasına harcamıştı.

Gell-Mann anlatımı düzgün, konuşmada usta ve hoşsohbet bir adamdır. Bununla birlikte belki babasının katı etkisine kadar uzanan bazı sebeplerden dolayı her zaman yazma tutukluğuna duçar kalmıştır. Yale’deki son sınıf tezini bitiremedi. MIT’deki doktora tezi altı ay kadar gecikti. Nobel konuşmasını rahatça yaptı ama konuşmasının *Le Prix Nobel* adlı seçkin yayında yer alacak yazılı versiyonunu teslim etme işini erteleyip durdu. Yayın editörünün hatırlatmalarını ve Gell-Mann’ın gecikmeden dolayı özürlerini içeren altı aylık karşılıklı telgraflardan sonra, yazı istenen zamanda yetişmedi.

Dergilere makaleler yazması yönündeki isteklerde de tutumu bundan daha iyi değildi. Festschrift editörlerinden birine verdiği cevap şöyleydi: “Böyle yayınlara katkıda bulunmaya söz verdiğimde, maalesef bu sözleri neredeyse hiç yerine getiremeyen biriyim. Dolayısıyla ilk ağızda söz vermemek gerektiğini öğrendim ve davetinizi üzüntüyle geri çevirmek zorundayım.” Tavsiye mektupları yazmak bile ona zor geliyordu. “Ne yazık ki mektup yazmakta epey güçlük çekerim, bu yüzden yazılı tavsiye ricalarını kulak ardı etme olasılığım yüksek” diye uyarıyordu eski bir öğrencisini. “Lütfen, hiç çekinmeden insanların senin hakkında beni telefonla aramalarını iste.”

Gell-Mann’ın bir yazı işiyle karşılaştığında bunu ağırdan alma istidadı, sıradan okurlar için popüler bir kitap yazmaya karar vermesiyle birlikte dillere destan boyutlara ulaştı. Her ikisi de kitaplarıyla satış rekorları kırmış olan Feynman ve Stephen Hawking’in başarısını yakalama düşüncesi içindeydi. Aynı biçimde Hawking ve Feynman’ın kazandığı paraları göz önünde tutan John Brockman adlı atak ve çalımli bir edebiyat ajanı bu projeye hevesle destek verdi. Gell-Mann’la işbirliği yaparak bir öneri hazırlaması için tanınmış bir bilim yazarını tuttu. Hawking’in *Brief History of Time*’ını yayımlamış olan Bantam Boks, öngörülen kitabın ABD ve Kanada’daki telif hakları için 550 bin dolar teklif etti. Gell-Mann bunun yüzde 25’ini avans olarak alacaktı. Brockman ayrıca başka ülkelerdeki yayımcılardan yüklü avansları içeren sözler elde etti. Bağladığı sözleşmeler popüler bir bilim kitabı için o zamana kadar yapılanların en kazançlısı sayılmaktaydı. Teklif 1990 sonlarında yürürlüğe girdi ve metnin Haziran 1992’ye kadar tamamlanması kararlaştırıldı. Kitabın adı *The Quark and the Jaguar* olacaktı. Kitapta okura basitten karmaşığa doğru gitmek üzere doğanın kalıpları anlatılacaktı. Kuvark en basit düzeye indirilmiş doğanın timsaliydi ve Gell-Mann’ın doğadaki karmaşıklık için bulduğu güzel metafor jaguardı.

Çetin olacağı besbelli bir yazı işine odaklanma açısından Gell-Mann için hiç de iyi bir zamana değildi. 1991 yazında Marcia Southwick’le nişanlandı ve nikâh tarihi ise Gell-Mann’ın kitap metnini teslim etme süresiyle çıkışacak biçimde Haziran 1992 olarak saptandı. Gell-Mann bir şair olan Southwick’le kimi zaman şiir dersleri verdiği Aspen Yazar Konferansı için Aspen’de bulunduğu sırada tanışmıştı.

Nikâh başarıya ulaştı ama kitap projesi öyle olmadı. İki editörün yardımı ve Southwick'in akıl hocalığı durumu kurtarmaya yetmedi. Bantam verilen metni reddetti ve Gell-Mann avansı iade etmek zorunda kaldı. Küçük bir yayımcı olan W. H. Freeman devreye girdi ve projeyi ilk Bantam teklifinin onda biri kadar bir meblağla aldı. Romancı Cormac McCarthy'nin metni gözden geçirmesini de kapsayan yeni bir editörlük çalışmasıyla, *The Quark and the Jaguar* nihayet 1994'te yayımlandı. "Ömrümde bir şey üzerine hiç bu kadar sıkı çalışmadım" diye belirtir Gell-Mann önsözde. Kitap yayıncının masraflarını fazlasıyla çıkardı. Yazarı için de, inşallah öyledir diyelim.

Gell-Mann halen Santa Fe'de yaşıyor. Eskisi gibi New Mexico'daki yüksek dağların, çöllerin ve kanyonların tadını çıkarıyor. Doğanın güzelliğine ve çeşitliliğine tanık olmak için sıkça seyahatlere çıkmayı sürdürüyor. (Gördüğü kuş türlerinin listesi şimdilik dört bini aşan şaşırtıcı bir rakama ulaşıyor.) İkinci evliliği iyi gidiyor, çocukları Nick ve Lisa'yla da barışmış durumda. Düşünsel açıdan bilimin yaşlı ekâbirlerinin pek itiyadı olmayan bir şeyi yapıyor: Zihnini bilimsel çalışmalarının en uç sınırlarına doğru zorluyor. Bir konferansında dinleyicilere şunu söylemişti: "Benim için iki şey birbirinden ayrılamaz: Doğanın güzelliğine tutkunluk ile doğa yasalarının simetrisini ve inceliğini daha da irdeleme arzusu."

ASTRONOMİ, ASTROFİZİK VE KOZMOLOJİ

Tarihsel Sinopsi

Hikâyemiz başladığı noktaya, fizikçilerin içinde yer aldığımız evrene ilişkin ipuçları için geceleri gökyüzünü taramasına dönerek sona eriyor. İlk iki bölümde, Galileo'nun Kopernikçi mesajı, yani Dünya'nın ve diğer gezegenlerin Güneş etrafında döndüğü görüşünü teleskopuyla doğruladığını ve Newton'un da gezegen yörüngelerini ve diğer bütün gök cisimlerinin hareketini hesaplamaya yönelik evrensel kütleçekimi teorisini geliştirdiğini görmüştük. Kitabın bu kısmında, evrenin haritasını çıkarma, dinamiğini tanımlama ve tarihini yazma yönünde fizikçilerin yirminci yüzyılda yaptıkları büyük atılımlardan bazılarını göreceğiz. Modern hikâyede başı çeken kahramanlarımız ise bir astronom olan Edwin Hubble, bir astrofizikçi olan Subrahmanyam Chandrasekhar ve bir kozmolog olan Stephen Hawking.

Edwin Hubble galaksimizin ötesindeki galaksileri saptayan ilk kişiydi. Bu dış galaksi âlemindeki mesafeleri hesaplamak için döneminin en büyük teleskoplarını kullandı. Ardından uzak galaksilerin renklerini titizlikle inceledi ve galaksiye mesafenin artmasıyla birlikte, galaksi renginin kırmızıya doğru kaydığını belirledi. Mesafe ve "kırmızıya kayma" arasında basit bir doğrusal ilişki önerdi. Bir galaksinin kırmızıya kayması bizden uzaklaştığı biçiminde yorumlanabileceği için, Hubble'ın verileri evrenin bir bütün olarak genişlediğine işaret etmekteydi. Hubble bu yorumu benimsemeye önce temkinli davrandı ama başkaları çok daha kolay ikna oldu ve böylece evrenin kökeni ve tarihi konusunda günümüzün baskın teorisi "büyük patlama" yönünde ilk adımlar atıldı.

Subrahmanyan Chandrasekhar (çevresinin kullandığı adla “Chandra”) yıldız fiziğinin karmaşıklıklarını irdelemede yetkinleşmiş bir adamdı. Uzun astrofizikçilik kariyeri boyunca, yıldızların yapısını, dinamiğini ve evrimini inceledi. Son çabalarından biri “kara delik”lerin, yani aşırı kütleçekimi çöküşüyle tamamen ve şiddetle göçen cisimlerin matematiksel teorisini araştırmaktı. Bu kara delik araştırmasındaki başlıca teorik aracı, Einstein’ın genel görelilik teorisine oturttuğu yerçekimi teorisiydi.

Fizikçiler kervanımızın son siması Stephen Hawking de kara deliklerdeki tekillikğin büyüüne kapılmış biriydi. Meslektaşı Roger Penrose’la birlikte, genel görelilik uyarınca kara deliklerin merkezlerinde yer aldığı düşünülen davetsiz sonsuzluklara odaklandı. İkiliyi bu “tekilliklere” kuşkuyla yaklaştırmaya yönelten şey, genel göreliliğin ve büyük patlama senaryosunun yön verdiği bir evrenin açığa çıkmış bir tekillikle başlaması gerektiğini saptamalarıydı. Talihsiz tekilliklerden kurtulmanın yollarından biri, genel göreliliği kuantum teorisıyla birleştiren bir yerçekimi teorisi oluşturmaktır. Bu bütünleşme henüz bulunabilmiş değil ama Hawking ve diğer kozmologlar her zamanki gibi iyimserliklerini koruyorlar.

Galaksi Ötesi Edwin Hubble



Missourili Adam

Edwin Hubble büyük özelemler besleyen biriydi ve hedeflerine önemli ölçüde ulaştı. Galaksimizin ötesindeki diyarlara yönelik gözlemlerin bir öncüsü olarak, kendi döneminin ve hatta 20. yüzyılın başta gelen astronomu oldu. Yaptığı astronomi gözlemleriyle, sürekli genişleyen uzay içindeki bir evrene dayalı modern kozmolojimizin ilk ipuçlarını sağladı. Varlıklı bir Güney California ailesinin kızıyla evlendi ve California entelektüel elit tabakasından birçok dost edindi.

Ama bu başarılarının bir bedeli vardı. Toplumsal ve ekonomik basamakları tırmanırken, kimi zaman kuşku verici payelerle kendini yeni baştan yarattı. Ortabatı taşrasının sıradan bir ailesinden yetişmiş adam ile Hollywood meşhurlarıyla haşır neşir olan varlıklı İngiliz hayranı arasında derin bir kopukluk vardı. Hubble bu yolda ilerlerken kısmen aile fertlerine sırt çevirdi, hatta karısıyla ya da karısının ailesiyle görüşmelerine izin vermedi. Hubble'ın en küçük kızkardeşi Betsy bir röportajda şunu belirtir: "Edwin'in [ailesi için] daha fazlasını yapmaktan dolayı suçluluk duygusu taşıyıp taşımadığını hep merak etmişimdir. Ama büyük adamların kendine göre tarzı oluyor işte. Yükselmek için birilerinin sırtına basmak gerekir. Biz hiç aldırmadık buna." Meslektaşlarından bazıları Hubble'ı "küstah ve çıkarıcı" biri olarak görüyorlardı. Gözünü en çok diktiği mevkilerden biri olan Palomar Dağı Gözlemevi direktörlüğüne geçmesinin yolunu kestiler nitekim.

Hubble tek bir kusur bile bulunamayacak kadar yakışıklıydı. Uzun boylu,

atletik yapılı, genellikle piposunu ağzından düşürmeyen ve hayran bir komşusunun ifadesiyle, “çok ama çok erkeksi” bir adamdı. Daha çok *Erkekler Sarışınları Sever* romanıyla ve aynı adlı Broadway yapımlarıyla tanınan yazar Anita Loos, ona ünlü bir astronom rolünü vermeye yanaşmamıştı: “O müthiş Clark Gable görünüşüyle nasıl uyabilir ki!”

Edwin Hubble 1889’da, zaferlere eriştiği sahnelerin çok uzağında, Missouri eyaletinin Marshfield kasabasında doğdu. Ailenin yaşayan yedi çocuğundan üçüncüsüydü. Kardeşlerinin ikisi oğlan, dördü kızdı. Babaları John, hukuk öğrenimi görmekle birlikte sigortacılık işini ve bunun gerektirdiği seyahatleri tercih etmişti. Karısı Virginia Lee (“Jennie”) James, onun sıkça evden uzak kalışına Marshfield’de anne babasının yakınında oturduğu için katlanabiliyordu. Edwin Hubble’ın biyografisini yazan Gale Christianson, babasının haşın kişiliğini keskin hatlarla şöyle çiziyor: “John Hubble, aşırı kuralcı yetiştirme tarzının ve katı eğitimin bir ürünüydü. Ahlakçı dayatmanın ve pervasız hırslı sert, pişkin bileşimi sonunda, belirsizliğe hiç yer vermeksizin ‘dediğim dedik tavırla hükmeden’ müşkülpesent bir angaryacı başı olup çıktı. ... [Babasını] örnek alan Edwin, alkolle hiç elini sürmezdi ve ağzından nadiren küfür çıkardı. Babasından miras aldığı tek kötü alışkanlık tütüne düşkünlüktü. John hem pipo hem de büyük purolar içiyordu.”

Buna karşılık Jennie her zaman çocuklarına kucak açan biriydi. Kızlarının onu “her bakımdan sevimli bir hanımefendi” olarak hatırladığını yazar Christianson. Kocasını gibi, o da koyu dindardı ama “düşünce tarzında günahahtan arınmaya inanç lanete uğrama tehdidinden daha ağırlıklı bir yer tutardı.”

Edwin anlaşıldığı kadarıyla dedelerine babasından daha yakındı. Dede Hubble, ona çoğu gerçek aile geçmişine dayanan hoş hikâyeler anlatırdı. Jesse James’la uzaktan akrabalığı olan büyükbabası James, gerekli malzemeleri bularak bir teleskop yapmıştı ona. Sekizinci yaş gününde Edwin’in bunu gece geç vakitlere kadar kullanmasına izin verildi.

Edwin on yaşına bastığında, John bir sigorta uzmanı olarak şöhrete ulaşmış ve Chicago’da iyi bir idari göreve gelmişti. Böylece aile Wheaton banliyösüne yerleşti ve yaklaşık on yıl orada kaldı. Bütün sınıfların yer aldığı Wheaton Merkez Okulu’na giden Edwin iyi bir öğrenciydi ama harika çocuk falan değildi. Karnesinin hal ve gidiş sütunundaki notlar pek de iyi sayılmazdı ama John’la yapılan birkaç sert görüşme bu sorunu çözmeye yetti. Sınıf arkadaşlarından daha uzun olan Edwin, cüssesini kullanarak spor dallarında öne çıktı. Nerdeyse tek kişilik bir atletizm takımı gibiydi. Ayrıca savunma oyuncusu olarak futbolda ve pivot oyuncu olarak basketbolde okulun yıldızıydı. Mezuniyet töreninde okulun müdürü, diplomasını verirken onun beklenti ve tahminini tartan bir giriş yaptı. “Edwin Hubble, seni dört yıldır izliyorum ve on dakikadan fazla ders çalıştığını hiç görmedim.” Daha sonra dramatik bir suskunluktan sonra gülümsedi ve şöyle dedi: “İşte sana bir Chicago Üniversitesi bursu.”

1906’da üniversiteye girdiğinde, Edwin’in kafasında iki hedef vardı: Astrofiziği öğrenimi görecekti ve bir Rhodes bursu kazanacaktı. Anlaşıldığına göre bu-

yükbabası James'in teleskopuyla geçirdiği geceden beri astronomi okumayı düşlüyordu. Kısa bir süre önce konmuş olan Rhodes ödülleri, Amerikalı öğrencilere Oxford okullarının birinde lisansüstü öğrenim için veriliyordu. Anne babası Edwin'in hedeflerinden yalnız birine onay verdi. Oğlunun Rhodes yarışmasında başarılı olması John için gurur vesilesiydi ama astronomide bir kariyer tartışma konusu bile olamazdı: Edwin hukuk mesleğine girmeye mecburdu.

John'un itirazları olsa bile, 1900'lerin başlarında Chicago Üniversitesi'nde astronomi okumak mükemmel bir seçenektir. Gerçi üniversite daha yeni sayılırdı ama ilk sıralarda yer alan bir fizik bölümü vardı. Işık hızının sabitliğini doğrulayıcı ince ölçümleri yapmış olan Albert Michelson oradaydı. Kısa bir süre sonra elektrik verilmiş alanlarda minik yağ damlalarının hareketini izleyerek elektron yükünü doğru biçimde ölçecek olan Robert Millikan da aynı bölümün öğretim üyesiydi. Her ikisi de Nobel Ödülü aldı. Michelson daha Edwin'in ikinci yılı olan 1907'de, Millikan ise 1923'te bu payeye kavuştu. Yine Chicago fizik bölümüyle bağlantılı ve hiç kuşkusuz Edwin'in düşüncesinde etkili olan bir başka husus, Wisconsin eyaletinin Williams Bay şehrindeki Yerkes Gözlemevi'ydı. Burayı 1890'ların başlarında kuran George Ellery Hale daha sonraları Edwin'in hayatında önemli bir yer edinecekti. Yerkes dönemin en büyük teleskoplarından birini barındırıyordu, ayrıca büyük bir fizik laboratuvarına destek veriyordu.

Edwin'in kızkardeşi Betsy, onun Chicago Üniversitesi'nde okuduğu dönemden söz ederken, "Kafasında tek düşünce vardı ve başkasının bunu bozmasına fırsat vermeye hiç niyeti yoktu" diye belirtir. Bu düşünce astronomiydi ama diğer kızkardeşi Helen'in hatırladığına göre, John engel çıkarmayı sürdürmüştü: "Peder böyle tuhaf ve yakışsız bir işe girecekse, okulu bitirmesine izin falan vermezdi." Böylece hevesli astronom adayı ikili bir yol izledi: Astronomide lisans öğrenimi için gerekli bilim derslerini alırken, bir yandan hukuk okuluna giriş için önkoşulları yerine getirdi.

Kızkardeşlerinin dikkatini çekmemiş olsa bile, Edwin diğer önemli hedefini, yani Rhodes bursunu gözden kaçırmış değildi. Diğer adaylardan daha uyanık olduğu için, eleme sınavlarında klasik çağla ilgili soruların çıkacağını kestirdi. "Çalışmak 'benim göbek adım' artık" diye yazdı dedesi Hubble'a. "Rhodes Bursu Sınavları'na hazırlanmak için bütün yaz Latince dışında bir şeyle uğraşmadım." Rhodes sınav yetkilileri, akademik başarının ötesinde şeyler bekliyorlardı. Adanın liderlik potansiyelini değerlendiriyor ve atletik performansa lehte bir unsur olarak bakıyorlardı. Edwin üniversitede spor açısından lisedeki gibi yıldız konumuna yükselememişti ama şampiyonluğa oynayan basketbol takımında çoğu kez yedek olarak tatmin edici bir başarı göstermişti.

Yine de Rhodes arenasından en üstün başarıyla çıkan o oldu. Illinois eyaletinde 1910 Rhodes bursuna uygun görüldü. Böylece yılda bin beş yüz dolarlık ödenekle Oxford okullarının birinde istediği dalda üç yıl öğrenim görme hakkını kazandı. Bir kampüs muhabiri Oxford'da nasıl bir öğrenim yolu seçeceğini sorduğunda, şu sağgörülü cevabı verdi: "Her ne kadar Chicago'da dikkatimi büyük ölçüde bilim, özellikle de fizik derslerine yöneltmiş olsam da, Oxford'da hukuk

ve uluslararası hukuk öğrenimi görmeyi umuyorum. Her iki daldaki en mükemmel dersler bu İngiliz kurumunda veriliyor.”

Rhodes Burslusu

Oxford'da bir zamanlar Edmund Halley'nin de okuduğu Queen's College'a giren Edwin, ömür boyu sürecek İngiliz hayranlığını derhal benimsedi. Mektupları çok geçmeden Oxford ağzına özgü kelimelerle dolup taşmaya başladı. Her zaman tutarlılık taşımasa bile, aksanına çekidüzen verdi. Birlikte gittiği Rhodes burslularından bazıları için alay konusu haline geldi bu. İşte birinin o günlere ilişkin izlenimi: “Çoğumuz memleketten getirdiği telaffuzunu korumaya çalışırken, onun aşırı bir İngiliz telaffuzu kapma gayretine gülerdik. Hep tutarlı olamayacağını ileri sürerdik. ‘Banyolukta banyo yapmak’ gibi ifade bozukluklarına düşmesini beklerdik.”

Edwin her zaman yeni bir spora merak duyan kişiliğiyle, kürekçiliğe soyundu ve geleneksel acemi çıraklığının zorluklarına katlandı. Hâlâ ölçülü ve artık daha kilolu cüssesiyle, Queen's College kürek takımı için umut verici bir elemandı. Ama yanlış zamandaki bir ayak bileği çıkığı, kürekçilik kariyerine son verdi.

Edwin sözüne bağlı kalarak hukuk müfredatı için başvurdu. Chicago'da gördüğü öğrenimin hukuk giriş sınavından başışık tutulmasına yeteceğini ummuştu. Ne var ki, Queen's dekanı baştan aşağı fizik dersleriyle dolu çıkış belgesini yeterli bulmadı ve başvurusunu reddetti. Bunun anlamı üç aylık yoğun, disiplinli hazırlık demektir. Edwin bir müşkülle karşılaştığında hep yaptığı gibi, bu işin altından kalkmasını bildi. Sınavı geçerek bölüme girmeye hak kazandı ama yaşadığı yorucu tecrübe ona asla unutmayacağı bir ders öğretti. Annesi Jennie'ye yazdığı bir mektupta bunu şöyle belirtir: “Sırf çalışmış olmak için çalışmak insanda iğrenti uyandırır. ... Yapılan işin insana zevk vermesi için büyük bir gayeye yönelik olması gerekir. Öyle büyük bir gaye ki, onu düşlemek, onu beklemek çalışmaya karşı duyulan bütün iğrentiyi aşabilsin. Bu nedenle insanın bütün hayatını özdeşleştireceği bir gaye olmadıkça, çalışmanın tatmin edici olması zordur.” Oğlunun motivasyonundaki anahtarın “büyük bir gaye” olacağını kestirebiliyordu Jennie.

Missourili adam bir dünya insanı olma yolundaydı. Fırsat buldukça Avrupa'yı dolaştı ve yolu Almanya'ya da düştü. Alman verimliliğine ve askeri gücüne hayran kaldı. Bir Avrupa savaşı çıktığında İngilizler için işlerin pek iyi gitmeyeceği korkusuna da kapıldı. Almanya'da yeni bir atletik uğraş buldu: Onur meselelerinin kılıç düellosuyla halledilmesi. Bu “spor”a ilişkin heyecanlı anlatımıyla anne babasını dehşete düşürdü: “İnsanın bütün dövüş boyunca başını kıl payı kadar bile oynatmaması, gözlerini bir an bile kırpırmaması gerekir, yoksa yanağının baştan sona yarılması, kulağının bir darbeyle kesilip kopması ya da burnunun ikiye ayrılması işten bile değil.” Seyrettiği düellolarda kan dökülmesinden pek rahatsız olmuyordu ama kimi zaman yara izlerinin uygunsuz olduğunu düşünüyordu.

John ve Jennie mektuplarda Edwin'in Savile Kürsüsü astronomi profesörü ve Oxford Gözlemevi'nin direktörü Herbert Turner'la dostluğuna dair bir şeyle karşılaşmadı. Turner ve karısı Daisy birkaç sefer onu sevimli evlerine davet etmişlerdi. Bir keresinde Missouri davranış biçimine dönen Edwin, sıcakkanlılığıyla onları büyüledi. "Bana böyle bir öğle yemeği yedirmekle, ah hanımcığım, ne büyük iyilik ettiniz" dedi Daisy'ye, evden ayrılırken. Edwin'in de dikkat çekici varlığıyla hazır bulunduğu bir akşam yemeği partisinden sonra, bir başka konuk Daisy'ye şu yorumda bulundu: "Bana bir Queen's öğrencisini yemeğe çağırdığını söylemiştin ama Adonis kadar yakışıklı olduğundan hiç söz etmemiştin."

Edwin İngiltere'de ve kara Avrupa'sında yeni bir kimlik kazanırken, babasının sağlığı hızla kötüye gidiyordu. John nefrit ya da Bright hastalığı denen bir böbrek rahatsızlığından muzdaripti. 1912 yazında hastalık ilerleyerek birkaç ay içinde tam böbrek yetmezliğine dönüştü. Edwin sonbaharda haberi alınca, eve dönmek için babasından izin istedi. İngiltere'de kalarak işini bitirmesini emredici bir mektupla cevap veren John Hubble Ocak 1913 ortalarında öldü.

Edwin için babasının ölümü, Gale Christianson'ın ifadesiyle, "bir darbe olduğu kadar bir kurtuluş da oldu." O zamana kadar hep babasının katı buyrukları altında yaşadığı için, ölüm haberine bu kısıtlayıcılığın kalkmasının uyandırdığı bir duyguyla tepki gösterdi. Artık "büyük bir amaç", daha önce annesine sözünü ettiği hedef üzerine özgürce düşünme zamanıydı. Oxford'daki yükümlülüklerini yerine getirip ayrılırken, geride Queen's dekanının şu değerlendirme notunu bıraktı: "Epcece kabiliyetli. Erkekçe. Burada hayli başarılı oldu. Görgüsüne [pek] fazla aldırmadım. Görgü düzeyinden daha iyiydi kendisi. Notu A olacak."

Binbaşı

Edwin evine, artık Kentucky eyaletinin Louisville şehrinde kalan ailesinin yanına döndüğünde, üstündeki golf pantolonuyla, (dönemin Ortabatı sakinleri için bir özentisi olan) kol saatiyle, serçe parmağındaki yüzüğüyle, cakalı Oxford peleriniyle, elinde salladığı bastonuyla, kimi zaman anlaşılmaz İngiliz aksanıyla küçük kızkardeşlerini büyük şaşkınlığa uğrattı. John geride kalan ailesine sınırlı bir para bırakmıştı. Edwin'in ve ağabeyi Henry'nin telkiniyle annelerinin yatırım yaptığı bir işletmenin iflas etmesi durumu daha da kötüleştirdi. Hubble sonraki yıllarda dostlarına Kentucky barosu sınavını verdiğini ve Louisville'de kısa bir süre avukatlık yaptığını anlatacaktı. Oysa kızkardeşlerinden Helen bir röportajda buna ilişkin bir soruyla karşılaştığında şüpheli bir tavır takınarak, "Böyle bir bilgiyi nereden edindiniz?" diye soracaktı. "Hukukçu olarak hiç çalışmadı ki."

Hubble ailenin geçimine lise öğretmeni ve basketbol koçu olarak bir katkıda bulundu gerçekten. Görev aldığı okul Indiana eyaletinin New Albany şehrindeydi. Burası Louisville'in hemen karşısında, Ohio Irmağı'nın öbür yakasındaydı. Verdiği dersler fen, matematik ve İspanyolca'ydı. Öğrencileri garip konuşma biçimine hayran kaldılar. Onları daha da etkileyen şey, çalıştırdığı basketbol takımının yenilgisiz bir sezonun ardından, Indiana şampiyonluk turnuvasında say-

gın bir üçüncülük elde etmesiydi. Öğrenciler sevgi dolu bir yaklaşımla 1914 yıl-lığını ona ithaf ettiler.

Gelgelelim, ne öğretmenlik ne de hukukçuluk (tabii yaptıysa) Hubble'ın hâlâ hararetili özlemlerini karşılayacak şeyler değildi: Henüz görünürde bir "bü-yük gaye" yoktu. Bunun üzerine bir kez daha umutlarını astronomiye bağladı ve eski astronomi profesörü Forest Ray Moulton'a bir mektup yazarak lisansüstü öğ-renim fırsatlarını sordu. Moulton onu Chicago'nun yüz yirmi kilometre kuzeyin-deki Chicago Üniversitesi Yerkes Gözlemevi direktörü Edwin Frost'a tavsiye et-ti. "Kişilik olarak en has türden bir adamdır" diye yazdı. "Fizik olarak enfes bir cinstir. Burada okurken genelde ve özellikle bilimde sıra dışı bir kabiliyet sergi-ledi." Frost elindeki yetenekli astronomları Güney California'da Pasadena yakı-nında yeni açılan Wilson Dağı Gözlemevi'ne kaptırmakta olduğu için, bu yeni adayı sevinçle karşıladı.

Hubble 1915 başlarında Yerkes teleskoplarının birinde "görüş süresi" hakkı-nı elde etti ve böylece kırk bir yıl sürecek gece keşiflerine başladı. İlk başta (ve aslına bakılırsa kariyerinin büyük bölümünde) "soluk bulutsular" diye adlandı-rdığı belirsiz cisimlere ilişkin fotoğraf incelemelerine yoğunlaştı. Modern kulla-nımda "bulutsu" genellikle uzayda sönüş sürecine girmiş bir yıldızda ortaya çıkan bir gaz bulutudur. Hubble'ın gözlemediği cisimlere ise günümüzde artık "galak-si" denmektedir; onlarca ve hatta yüzlerce milyar yıldız barındıran son derece uzak ve az çok bağımsız yıldız sistemleridir bunlar. Hubble kendi terminolojisini hiç değiştirmede. Bunun bir nedeni de baş düşmanı Harlow Shapley'nin "galak-si" terimini tercih etmesiydi.

Hubble bir yandan Yerkes Gözlemevi'ndeki tezi için veriler toplarken, Ca-lifornia'daki rakip Wilson Dağı Gözlemevi hakkında gittikçe daha fazla bilgi edi-niyordu. Daha önce Yerkes'te direktör olan George Ellery Hale'in yönetimi al-tındaki Wilson Dağı hızla dünyanın önde gelen gözlemevi haline gelme yolun-daydı. Kısa bir süre sonra yüz inçlik bir aynası olan devasa bir yansımali teleskop edinecekti. Aynanın büyüklüğü Yerkes'teki en yakın rakibinin neredeyse iki ka-tıydı. Yeni tesis için daha fazla astronoma gerek duyulacaktı. Hale, tezini tamamlaması koşuluyla Hubble'a da bir görev önerdi.

Şahane bir fırsattı bu. Normal bir dünyada Hubble öneriyi kabul eder ve ko-şa koşa Pasadena'ya giderdi. Ama yıl 1916'ydı ve normallik geçerli kural değildi. Genel savaş patlak vermiş ve yıkıcı bir gelişmeyle bütün Avrupa'yı sarmıştı. Hubble'ın Oxford dostlarından birçoğu cephe hatlarındaydı ve bazıları can ver-mişti. ABD kısa bir süre sonra savaşa girecekti. Hale'i Wilson'da görev önerisini gelecek için saklı tutmaya ikna eden Hubble alelacele tezini tamamladı, girdiği final sözlü sınavından üstün başarıyla geçti ve Mayıs 1917'de yedek subay eğiti-mi için başvurdu.

Hubble ve eğitim arkadaşları Avrupa'da kıyasa sürmekte olan ve binlerce askerin kıyımına yol açan siper savaşı konusunda ancak kabataslak bilgilere sa-hipti. Frost'a yazdığı bir mektupta büyük bir heyecanla şunları belirtiyordu Hubble: "Bu askerlik oyunu sanki benim için biçilmiş kaftan. Öğrenci yüzbaşı-

liğa getirilen dördüncü adam oldum ... ve şimdi süngüden sinyal vermeye kadar her şeyi öğreten bir talim hocasıyım. Önümüzdeki Pazar bazı model siperleri geçecek olan heyette bizim bölüğü temsil etmek üzere seçildim.” Eğitimin sonunda piyade yüzbaşı olarak görevlendirildi ve bir taburun komutanlığına getirildi.

Hubble binbaşılığa terfi etmesinden kısa bir süre sonra Eylül 1918’de komutası altındaki askerlerle bir nakliye gemisine binerek Avrupa’nın yolunu tuttu. Zorlu bir deniz yolculuğunun ardından Ekim ayında Fransa’ya ulaştı ve savaşın son aşamalarına tanık oldu. Daha sonraları karısına Alman ricatı sırasında muharebe görevi aldığını anlatacaktı. Söylediğine göre bir top mermisinin patlamasıyla yaralanmış ve baygın düşmüştü. Bir sahra hastanesinde gözünü açınca, hemen giyinmiş ve kimseye tek söz etmeden ayrılmıştı. Hikâye pekâlâ doğru olabilir: Bir savaş kaosunda her şey mümkündür. Ama Hubble’ın terhis belgelerindeki sicilinde bunu doğrulayıcı bir bilgi yoktur. Sicilin “muharebeler, çatışmalar, müsademeler” satırından sonra “Yok” kaydı vardır.

Hubble ateşkesten sonra oyalanarak ertesi yaza kadar İngiltere’de kaldı. Astronominin tekrar aklına gelmesiyle, Cambridge’de bir apartman dairesi kiralandı. Saygın astrofizikçi Arthur Eddington ve varlıklı astronom H. F. Newall’la tanıştı. Newall ona Kraliyet Astronomi Derneği’ne üye olmasını önerdi. Şehri ziyaret eden Wilson Dağı delegeleri onuruna verilen akşam yemeğinde, Amerikalı astronomlar otuz yaşındaki Hubble’ı, Britanya’nın en seçkin bilim adamlarından ikisinin, fizikçi Arthur Schuster ve astronom Frank Dyson arasından görünce hayretten küçük dillerini yuttular.

Bu arada Hale’in sabrı gittikçe taşıyordu. Genç astronomunu Cambridge’de değil, Pasadena’da görmek istiyordu. “Lütfen, olabildiğince çabuk gel” diye yazdı. “Çünkü 100 inçlik teleskopu çok yakında devreye geçireceğiz ve sen buraya vardığında yapılması gereken epeyce iş olacak.” Hubble’ın yıllık maaşı bin beş yüz dolar olacaktı. “Çalışmasının ve eldeki kaynakların elverdiği ölçüde çabucak” terfi etmeyi umabilirdi. Hubble çok geçmeden yola düştü. Pasadena’ya giderken (onu karşılamak üzere Madison eyaletindeki Wisconsin’da bulunan evlerinden gelmiş olan) annesini ve kızkardeşlerini görmek üzere bir günlüğüne Chicago’ya uğradı. Ayrıca California’nın San Jose şehri yakınındaki Lick Gözlemevi’ne bir nezaket ziyaretinde bulundu. Hâlâ üstünde olan üniformasıyla ve çalınmış asker havasıyla kendisini Binbaşı Hubble olarak tanıttı. Lick astronomları haliyle etkilendiler. O zamandan başlayarak onu hep “Binbaşı” diye andılar.

Dağ Başında

Hubble Eylül 1919’da Wilson Dağı Gözlemevi kadrosunda yer alan seçme astronomlar topluluğuna katıldı. Gözlemevinin idare binası Pasadena’da, teleskopları ise destek tesisleriyle birlikte San Gabriel Dağları’nda bulunan 1.885 metre yükseklikteki Wilson Dağı’ndaydı. Hubble dağdaki ilk “nöbet”lerinde on inçlik ve altmış inçlik teleskoplar kullandı. 1919 Noel arifesinde yüz inçlik yeni Hooker teleskopuyla çekilmiş ilk fotoğraf levhalarını banyo etmeye koyuldu.

Dağdaki astronomlar için hayat keşiflik gibiydi. Sarp, dar ve keskin döne-

meçli bir yoldan gözlemesine ulaşmak bir serüvendi. Bir teleskopun çevresinden daha sıcak olmaması gerektiği için, teleskop kubbesinde geceyi uykusuz geçirerek gözlem yapan astronom yalnızca yalnızlığa değil, kimi zaman keskin bir soğuga da mahkûm kalırdı. Ama kolaylıklar da vardı. Astronomların kaldığı ve yerinde bir yakıştırmayla “Manastır” denen lojmanın odaları sade ve basit olmakla birlikte rahattı. Bol kitaplı bir kütüphane ve şömineli bir oturma salonu vardı; içine gömülerek oturulabilen salıncaklı koltuklar görkemli bir vadi manzarasının görüldüğü pencerelere bakıyordu. Hale bir akşam yemeği töreni belirlemişti. Hepsı önlüklü ve kravatlı olan astronomlar, o gece üstlenecekleri gözlem görevlerinin önem sırasına göre oturdurlardı. Masanın başında yüz inçlik teleskopa verilen astronom ile gece asistanı yer alır, daha sonra altmış inçlik ve diğer teleskop gözlemcileri sıralanırdı.

Sınırlı bir okul eğitiminden geçmiş olan Milton Humason, sık sık Hubble’ın asistanı olarak görev alırdı. Daha sonraları kendi başına yürüttüğü çalışmalarla saygın bir astronom oldu. Hubble’ın ölümünden sonraki bir anı yazısında, genç astronomun işbaşındaki halini şöyle anlatır:

Altmış inçlikte fotoğraf çekerken, ayakta dikilmiş halde talimatlar veriyordu. Ağzında piposuyla uzun, dinç bedeninin silueti arkadaki gökyüzüne açık seçik vuruyordu. Tatlı bir rüzgâr vücudunu saran askeri siper pelerini hafifçe dalgalandırıyor ve ara sıra piposundan çıkan kıvılcımları kubbenin karanlığına saçıyordu. Bizim Wilson Dağı ölçeğimize göre o gece “görüş” son derece zayıftı ama Hubble levhasını banyo ettiği karanlık odadan dönüşünde sevinçten sanki uçuyordu. “Eğer zayıf görüş koşullarının bir örneği buysa” dedi, “Wilson Dağı aletlerinden her zaman işe yarar fotoğraflar elde edebileceğim demek ki.” Kendinden emindi. Ne yapmak istediğini ve bunu nasıl yapacağını biliyordu.

Daha önce olduğu gibi, Hubble gözlemlerinde soluk “bulutsu”lara yöneldi. Yapmak istediği şey, bu cisimlerin Dünya’ya uzaklığını ölçmekti. Bunu başarma yolunun da, iki hedefinin çalışmalarından yararlanmaktan geçtiğini biliyordu. Bu kişiler Harvard Gözlemevi’nde araştırma asistanı olan Henrietta Leavitt ile birkaç yıl Wilson Dağı’ndaki meslektaşları arasında yer alan ve daha sonra Harvard Gözlemevi direktörü olan Harlow Shapley’ydi.

Leavitt 1900’lerin başlarında parlaklıkları öngörülebilir çevrimlerle değişen “Sefeit değişken yıldızlar” üzerine bir dizi çalışma yürütmüştü. Vardığı başlıca buluş, Sefeit’in değişen parlaklık periyodunun kesinlikle yıldızın ortalama içkin parlaklığıyla ilişkili olduğuydu: Yıldız ne kadar parlaksa, maksimum parlaklıktan minimum parlaklığa doğru değişim periyodu o ölçüde uzundu. Bir Sefeit gözlemlendiğinde, görünürdeki parlaklığı, yani teleskopun kaydettiği görüntü içkin parlaklığı ve ayrıca basit bir bağıntıyla yıldızın uzaklığına bağlıdır.

Shapley bu ilişkileri geliştirip bir kozmik ölçüt haline getirmişti. İzlediği yöntem, bir Sefeit’in görünürdeki parlaklığını gözlemlemek, yıldızın içkin parlaklığını hesaplamada Leavitt’in sonuçlarını kullanmak ve ardından gözlemlen-

miş olan görünürdeki parlaklıktan yola çıkarak yıldız uzaklığı hesaplamaktı. Shapley 1910'ların sonlarında kendi ölçütünü Samanyolu galaksisinin yıldızlarına uyguladı ve galaksinin ekvator çapının yaklaşık üç yüz bin ışık yılı olduğunu saptadı. (Işık yılı astronomların yaygın olarak kullandığı bir mesafe ölçüsüdür. Bir ışık demetinin boş uzayda bir yılda aldığı mesafedir ve 5,88 trilyon mile eşittir.) Bulduğu rakam önceki tahminin on katından daha fazlaydı. Shapley'nin gözlemleri ayrıca Güneş'in galaksi merkezine yaklaşık altmış bin ışık yılı mesafede olduğunu ortaya koydu. Güneş'in galaksi merkezine yakın olduğuna dair önceki saptamalarda bir başka köklü düzeltmeyi getirdi bu.

Shapley gözlemlerinde galaksinin ucuna kadar varmıştı. Hubble ilk büyük buluşunda galaksinin ötesine baktı. 1923 sonbaharında dikkatini astronomların M31 adını verdiği Andromeda takımyıldızındaki büyük bir sarmal bulutsu üzerinde topladı. M31'deki yıldızların görüntülerini elde etti ve bazılarının yararlı Sefeit değişkenleri olduğunu belirledi. Leavitt-Shapley metodolojisine başvurarak, yıldızlara ve bulutsulara uzaklığın yaklaşık bir milyon ışık yılı, yani kesinlikle galaksimizin ötesinde olduğunu hesapladı.

Hubble'ın 1924'te yayımlanan "Sarmal Bulutsulardaki Sefeitler" başlıklı makalesi, bazı astronomların bir süredir kafa yorduğu bir kestirime ilişkin ilk sağlam kanıtları sundu: Teleskoplarla görüntülenen en uzak cisimler "ada evrenler", bazıları Samanyolu yıldız sistemimiz kadar ve hatta daha büyük olan bağımsız galaksilerdi. Hubble bu dışsal cisimlerden birine odaklanmıştı. "Galaksi ötesi sarmal bulutsu" adını verdiği cisim, aslında bizimkine benzer (ve biraz daha büyük) tam bir galaksiden başka bir şey değildi.

Üst Perdeden Atışmalar

Hubble'ın makalesi astronomi camiasından coşkulu övgüler aldı. Princeton'ın saygın profesörlerinden Henry Norris Russell, onun buluşunu "enfes bir çalışma" olarak nitelendirdi ve makalenin Amerika Bilimi İlerletme Derneği'nin ödülllerinden birini almasını sağladı. Ancak Hubble'ı kızdıracak kadar aykırı sesler de vardı. Özellikle Wilson Dağı'ndan meslektaş Hollandalı astronom Adrian van Maanen'in işe karışması sorun çıkardı. Sarmal galaksileri (Hubble'a göre bulutsuları) yıllardan beri gözlemleyen van Maanen, kendi gözlemlerinin galaksilere özgü bir tür dönüş hareketini gösterdiğini ileri sürmekteydi. Gözlemlediği dönüş hızlarını Hubble'ın hesapladığı mesafelerle bir araya getirince, hesaplamadan sarmal galaksilerin sınırları dışındaki bazı yıldızların inanılmaz hızlarla, ışık hızından daha yüksek hızlarla hareket etmesi gerektiği gibi bir durum ortaya çıktı. Vardığı sonuç Hubble'ın ölçümlerinin yanlış olduğuydu: Hubble'ın gözlemlediği bulutsular galaksimizin dışında değil, içinde olmalıydı. Hubble eleştirilere karşı hiç nazik olmayan tutumuyla van Maanen'i aşağılar bir tutum takındı. Van Maanen de karşılık verirken ondan aşağı kalmadı. Bu tartışmada Shapley iyi bir arkadaşı olan van Maanen'in tarafını tuttu ve aynı biçimde Hubble'ın nefretini kazandı.

Hubble ile van Maanen arasındaki kavga sürüp gitti. Bir adım bile gerile-

meyen van Maanen karşısında, Hubble da inatla onun analizinde hatalar aramaya girişti. Wilson Dağı Gözlemevi direktörü Walter Adams, ikisini aralarındaki görüş ayrılıklarını bilim edebiyatı ve efendice gidermeye ikna etmek için boşuna uğraştı. Ona göre bu olay “gözlemevinin üstesinden gelmek zorunda olduğu en zorlu problemlerden biriydi. ... İki koca adamın tutumları ve taşkın mizaçları yüzünden bu konuda işbirliği yoktu, daha çok duygular karışmıştı içine.” Anlatılanlara göre, dağdaki akşamların birinde Hubble görgü kurallarını bir tarafa bırakmış ve o gecenin yüz inç gözlemcisi van Maanen’in yemek masasındaki yerine kurulmuştu. Sonunda Hubble’ın ortaya koyduğu güçlü bir sav, van Maanen’in çok ince sistematik hataların kurbanı olduğunu gösterdi. Adams artık on yılı doldurmuş olan tartışmaya son vermek üzere ikisinin ortak bir makale yayımlamasını önerdi. Van Maanen’in razı olursa da, Hubble karşı çıktı. Öfkeden çılgına dönen Adams, gözlemevinin başlıca mali kaynaklarından biri olan Carnegie Kurumu’nun başkanına yazdığı bir raporda, “Bu meselede Hubble’ın tavrının haklı bir gerekçeye dayandığı kanısında değilim” diye yazdı.

Hubble ve Shapley geri kalan ömürleri boyunca amansız düşmanlar olarak kaldılar. Ego lar arasındaki bir savaştı bu. Her ikisi de son derece muhteristi ve bağışlama bilmeyecek kadar birbirine rakipti. Shapley her fırsatta Hubble için şu küçük düşürücü ifadeyi kullanırdı: “Bir Rhodes burslusu ya, bir türlü sıyrılmadı bundan.” Hubble’ın meslektaşları da Shapley hakkında tırtıllar dinlerdi. Princeton astronomu Martin Schwarzschild bir röportajda şöyle demişti: “Hubble daha çirkefti. Shapley’ye karşı hiç durmadan atıp tuttuğu iki vaazını dinleme eziyetini çektiğim için bilirim.” Hemen ardından, “Shapley de bir melek sayılmazdı” diye eklemişti.

Kırmızıya Kaymalar

Hubble’ın dehasının yönlerinden biri, başkalarının eksik çalışmalarını bulunduğu noktadan alarak, kapsamlı ve titizlikle planlanmış gözlemlerle daha ileriye götürme becerisiydi. Shapley (onun ölümünün üzerinden on yılı aşkın bir süre geçtikten sonra) dile getirdiği ender iltifatlarından birinde şunu belirtmişti: “Yeri gelmişken söyleyeyim, Hubble dört dürtlük bir gözlemciydi, benden daha iyiydi. Sabırlıydı.” Hubble’ın kozmik mesafeleri ölçmek için Leavitt-Shapley metodunu nasıl ustalıkla kullandığına yukarıda değinmiştik. En büyük başarısının, belki de 20. yüzyılda bir astronomun en önemli katkısı sayılabilecek başarısının esin kaynağı, büyük ölçüde kendi kendini yetiştirmiş bir astronom olan Vesto Slipher’in 1910’larda Arizona’nın Flagstaff kasabasındaki Lowell Gözlemevi’nde yaptığı bir dizi gözlem idi.

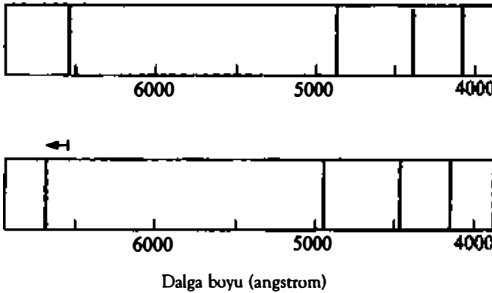
Slipher ışığı tayf bileşenlerine yayarak analiz etmeyi sağlayan bir spektroskopla donatılmış büyük bir kırılmalı teleskopla çalıştı. Galaksilerden gelen ışıktaki karakteristik tayf çizgilerinin, dünyadaki bir laboratuvar da aynı çizgileri inceleyen gözlemlenen düzene göre hafif bir kayma gösterdiğini belirledi. Örneğin, M31 galaksisini gözlemlediğinde kayma kısa dalga boylarına doğruyd u. Görünür tayfın kısa dalga boyu ucunda mavinin yer alması nedeniyle “maviye kayma” söz

konusuydu burada. Ancak Slipher'in gözlemlediği galaksilerin çoğu "kırmızıya kaymalar", yani daha uzun dalga boylarına doğru kaymalar sergilemekteydi. Kullanılan "kırmızı" ve "mavi" terimleri gerçek renkleri belirtmez, yalnızca kaymanın uzun ya da kısa dalga boylarından hangisine doğru olduğunu belirtir. Çizim 27.1'de bu etkinin çizimini görebilirsiniz.

Slipher bu dalga boyu kaymalarını ilk kez Johann Doppler'in 1842'de tanımladığı bir etkiye dayanarak yorumladı. Doppler etkisinin birkaç önemli dışavurumu vardır. Bunların hepsi dalga kaynağının ve gözlemcisinin birbirlerine göre hareket etmeleri sırasında dalga davranışında ortaya çıkan değişikliklerle bağlantılıdır. Modern uygulamalarda ışığın kırmızıya kayması şu denklemle tanımlanır:

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda_s}{\lambda_s} \quad (1)$$

Burada λ_s kaynaktan salındığı sırada ışığın dalga boyu, λ_0 ise gözlemci tarafından görülen ışığın daha uzun dalga boyudur. Dalga boyundaki gerçek değişiklik $\lambda_0 - \lambda_s$ 'dir, z kesirli değişikliği hesaplamaya yarar. Kırmızıya kaymalarda, λ_0 dalga boyu λ_s dalga boyundan daha büyük ve böylece denklem (1)'de z pozitif olur. Denklem (1) tersine bir durumun söz konusu olduğu maviye kaymalar için de geçerlidir. Bu durumda λ_0 değer olarak λ_s 'den küçük ve z de negatif olur.



Çizim 27.1. Hidrojenin saldıgı ışık tayfından gelen dalga boyları. Üstte dalga boylarının normal hali, alta ise $z = 0,02$ olmak üzere % 2 oranında kaymış hali görülüyor. Angstrom 10-8 santimetreye eşit olan çok küçük bir uzunluk ölçüsüdür. Çizimlerin izinine uyarlanarak alındığı kaynak: John Hawley ve Katherine Holcomb, *Foundations of Modern Cosmology* (New York: Oxford University Press, 1998), 263.

Gözlemci ile ışık kaynağı arasındaki v göreli hızı büyük değilse, z kırmızıya kayması (ya da maviye kayması) ile v göreli hızı arasındaki Doppler bağlantısı şöyle olur:

$$z = \frac{v}{c} \quad (2)$$

Burada c ışık hızıdır. Bir kırmızıya kayma için bu denkleme göre hesaplanan v 'nin pozitif bir değer taşıması ışık kaynağının, sözelimi bir galaksinin Dünya'da gözlem yapan astronomdan uzaklaşmakta olduğuna işaret eder. Slipher'in 1914'te ve daha sonra bildirdiği veriler, galaksilerin Dünya'dan uzaklaşma hızlarının sa-

niyede 1.100 kilometre gibi şaşırtıcı düzeylere vardığını ortaya koydu. Maviye kaymalar, yani z 'nin negatif değerler taşıması galaksiler için alışılmamış bir durumdur. Böyle bir durumda negatif görelî hızların hesaplanması galaksinin Dünya'ya yaklaştığı anlamına gelir.

Hubble 1920'lerin sonlarında kırmızıya kayma meselesine el attı. Önce Slipher'in verilerini kullanarak, kendi mesafe ölçümleri temelinde denklem (2)'ye göre hesaplanan Doppler uzaklaşma hızlarının dökümünü çıkardı. Döküm galaksi uzaklaşma hızlarının mesafeyle birlikte arttığını gösterdi: Galaksi ne kadar uzakta, Dünya'dan öteye gidişi de o ölçüde daha hızlı gibiydi. Hubble 1929'da kesin bir sonuca varmaksızın yayımlanan verilerden, bir galaksinin hesaplanan v uzaklaşma hızı Dünya'nın galaksiye l mesafesi arasında bir bağlantı olduğunu tahmin etti. Bu tahminin matematiksel ifadesi günümüzdeki yazılış biçimiyle şöyledir:

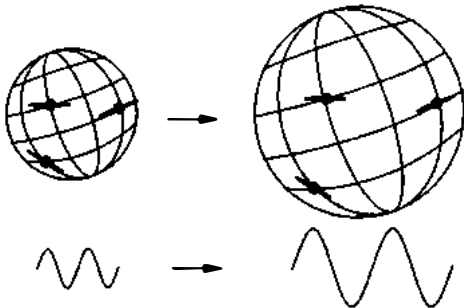
$$v = Hl \quad (3)$$

Buradaki H günümüzde "Hubble sabiti" olarak bilinen bir sabittir. Denklem z kırmızıya kayması açısından yazıldığında şu hale gelir:

$$z = \frac{Hl}{c} \quad (4)$$

Hubble 1931'de artık denklem (3)'le ifade edilen doğrusal ilişki açısından daha iyi verilere ve daha yüksek güvene sahipti. Ama uzaklaşma hızlarının gerçekliğini kabul etme konusunda ihtiyatlı davrandı. Bunlara "görünürdeki" hızlar demeyi tercih etti ve doğrusal yasayı "gözlemlenen veriler arasındaki ampirik bir ilişki" saydı. Başkaları ise kırmızıya kaymaları ve bununla bağlantılı uzaklaşma hızlarını genişlemekte olan evren fikrine dayalı bir kozmolojinin kanıtı olarak gördüler. Bu anlayışa göre, evren mesafeyle orantılı olarak artan bir hızda sürekli genişlemektedir.

Genişleme, galaksileri de beraberinde taşımaktadır ve bunun sonucu (belki de hiç sonu gelmeyecek biçimde) galaksiler arasındaki mesafelerin artmasıdır. Çizim 27.2 üç boyutlu uzayımızdan çok iki boyutlu eğri bir uzayda meydana gel-



Çizim 27.2. Üstte iki boyutlu eğri uzayda görülebileceği biçimde genişleyen bir evren görüntüsü yer alıyor. İki boyutlu genişleme, yüzeyine galaksiler yapııştırılmış bir balonun şişmesine benzer. Altta ise ışığın dalga boyunda buna denk düşen artış görüldüğü. Çizimlerin izinin uyarlanarak alındığı kaynak: John Hawley ve Katherine Holcomb, *Foundations of Modern Cosmology* (New York: Oxford University Press, 1998), 282.

mesi halinde böyle bir genişlemenin yaratacağı görüntüyü vermektedir. Bütün noktaların birbirinden uzaklaştığına ve bir genişleme merkezinin bulunmadığına dikkat edin. Çizimin alt tarafındaki dalgalı çizgiler, bir ışık dalgasının şematik hale getirilmiş kesitini ve evrenin genişlemesiyle birlikte uzay-zaman içindeki gerilmesini (kırmızıya kaymasını) göstermektedir.

Genişlemeyi bir kuvvetin yönlendirdiğini söylemek yakışık kaçarsa, bu kuvvet güneş sisteminin ya da bir galaksinin sınırları içindeki kütleçekimi kuvvetine oranla zayıftır. Dolayısıyla, çizimden de anlaşılacağı üzere, galaksiler kendi yerçekimi kuvvetlerinin kontrolü altındaki biçimlerini korurlar. Onların da mutlaka genişlemesi gerekmez.

Denklem (2)'nin bir yetersizliği vardır. Diğer bütün hızlar gibi v uzaklaşma hızı da c ışık hızını geçemez. Bu da görünüşte bize z kırmızıya kaymasının birden büyük olamayacağını anlatır bize. Oysa günümüzde sekize yaklaşan kırmızıya kaymalar bildirilmektedir. Asıl sorun denklem (2)'nin özel göreliliğin gereklerini göz önünde tutmamasıdır. Doppler denklemi göreliliğe uygun hale getirildiğinde, eğrililiğin hiç olmadığı bir evren için şu biçimi alır:

$$1 + z = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} \quad (5)$$

Bu denklem z 'nin sonsuza kadar artmasına olanak verir. (Çünkü v değeri c 'ye yaklaştıkça, denklem [5]'teki $1 - v/c$ çok küçük hale gelir ve bu küçük sayıya bölünme z için çok büyük bir değer verir.)

Astronomlar uzayda dışarıya, zamanda ise geriye doğru bakarlar. Işığın sonlu bir hızla hareket etmesi nedeniyle, bir yıldızdan ya da galaksiden Dünya'ya yolculuk belki çok uzun olsa bile sonlu bir zamanı alır. Bir galaksiye uzaklığın sekiz milyar ışık yılı (en büyük modern teleskopların erişebileceği mesafe) olması halinde, astronomun kaydettiği galaksi görüntüsü o galaksinin şimdiki değil, sekiz milyar yıl önceki halini gösterir. Ayrıca bir ışık ışınının sekiz milyar ışık yılını bulan yolculuğunu yaptığı süre içinde evrende genişlemiştir. Gözlemlenen kırmızıya kayma, bu genişlemenin boyutuna ilişkin basit bir ölçü verir. Denklem (1)'i yeniden düzenleyip

$$z = \frac{\lambda_o}{\lambda_s} - 1$$

ya da

$$z + 1 = \frac{\lambda_o}{\lambda_s} \quad (6)$$

haline getirebiliriz. Diyelim ki söz konusu ışık için z kırmızıya kaymanın 1 olduğunu bulduk. Bu durumda son denklem $\frac{\lambda_o}{\lambda_s} = 2$ sonucunu verir. Yani ışığın dalga

boyu galaksiden Dünya'ya yolculuğu sırasında iki katına çıkmıştır; bu durum söz konusu süre içinde evren iki kat genişlediğini yansıtır. Galaksi sonuç itibariyle Dünya'da bulunan bizlerden saniyede 180 bin kilometrelik bir hızla uzaklaşmaktadır.

Hubble ve yetenekli asistanı Milton Humason, Slipher'in verilerine dayalı ilk analizin ardından birçok kırmızıya kayma gözlemi yaptılar. Doğrusal denklem (3)'ü yüz milyon ışık yılını aşan bir mesafeye kadar genişlettiler ve doğanın en temel fizik yasaları listesinde kalıcı ve seçkin bir yer edinmesini sağladılar.

Necip Adam

Şubat 1924'de Edwin Hubble ve Grace Burke Leib sade ve aile içi bir ni-kâhla evlendi. Törene Hubble ailesinden kimse katılmamıştı. Gelin varlıklı ve nüfuzlu Los Angeles bankacılarından John Burke'nın kızıydı. İlk evliliğini on iki yıl önce yine varlıklı ve toplumsal bakımdan tanınmış bir aileden gelme Earl Leib'le yapmıştı. Leib kömür yataklarını saptamada uzman bir jeologdu. Haziran 1921'de bir kömür madenine indiğinde zehirli gazla yenik düşerek yaşamını yitirdi. Bir yıl sonra Hubble ve Grace Leib düzenli olarak görüşmeye başladılar.

Balayı için önce İngiltere'ye giden karı koca, Oxford ve Cambridge'de görkemli bir karşılaşma gördü. Yıl 1924'ti ve Hubble M31 galaksisine uzaklığa ilişkin ölçümünü duyurarak, astronomların galaksimiz ötesindeki harika âleme dair ilk berrak görüşe varmalarını sağlamıştı. Cambridge'de çift H. F. Newall'un muhteşem konağında kaldı ve Britanya'nın en ünlü astrofizikçisi Arthur Eddington'la öğle yemeği yedi. Hubble daha sonra Londra'da Kraliyet Astronomi Derneği'nin verdiği akşam yemeğinde onur konuğu oldu. Kozmik mesafe ölçümleri ve galaksiler biçimlerine göre sınıflandırmaya dönük şeması üzerine bir konferans verdi. İngiltere'nin ardından çifte kumrular Paris, İsviçre ve İtalya'yı dolaştılar. Floransa'da Vecchio Sarayı'nın odalarını görünce, kuracakları rüya evlerinde burayı örnek almak için sözleştiler.

Grace'in para ve ayrıcalık dünyasına girmenin etkisiyle, bir astronom olarak zaten önüne serilmiş sağlam ve parlak geleceğin yeterince çarpıcı olmadığı kararına vardığı anlaşılan Hubble, hayat hikâyesini bazısı büyük, bazısı küçük uydurmalar ekleyerek anlatma gereğini duydu. Savaş sicili, avukatlık kariyeri, spor kabiliyeti, kuzey ormanlarındaki avları ve Avrupa'daki marifetleri gerçekte olduğundan daha görkemli hale büründü. Gale Christianson şöyle yazar: "Ailesinin üç bin kilometre uzakta olmasının verdiği rahatlıkla, Hubble kendini yeni baştan yaratma sürecini sonuna kadar götürdü. Grace onun Wisconsin ormanlarındaki yiğitliklerine, meşhur adamlarla boks yamasına, genç kadınları suda boğulmaktan kurtarmasına, hukukçuluk yapmasına ve korkak askerleri peşine düşman mevzilerine saldırmalarına dair hikâyelerini vazifeşinas bir tavırla, anlaşıldığına göre bunların geçerliliği konusunda en ufak şüpheye kapılmaksızın [güncesine] kaydetti. Onun ve aynı zamanda anne babasının gönlünü kazanmada Hubble'a yardımcı olan çarpıcı bir gösteriydi bu."

Hollywood yıldızları, Hubble'ın gözünde neredeyse bulutsular kadar çekici-

lik kazanmaya başladı. Hubble çiftinin dostları, tanıdıkları ve komşuları arasında Hollywood kaymak tabakasından, ayrıca California entelektüel çevresinden çok sayıda kişi vardı. Hubble nadir kitaplar ile 18. yüzyıl tablolarından oluşmuş zengin bir koleksiyonu barındıran ve incelikle düzenlenmiş 250 dönümlük bahçeleri kapsayan Huntington Kütüphanesi ve Sanat Galerisi'nin mütevelli heyetine girdi. Bu mertebeden önce de birçok paye ve nişana mahzar olmuştu. Bir *Los Angeles Times* muhabiri onun Huntington mütevelli heyetine seçilişini haber konusu yaparken, daha bekleyeceği paye ve nişan kalıp kalmadığını merak etmekten kendini alamadı. "Belki birkaç ufak madalya dışında" verilecek bir şey kalmamıştı çünkü.

Muhtemelen kendi uydurmalarının ağına düştüğü için, Hubble kendisini ailesinden ve gerçek geçmişinden koparma zorunluluğunu hissetti. Kızkardeşi Betsy'nin Christianson'a anlattığına göre, Hubble annesi Jennie'ye çok sınırlı maddi destekte bulundu ve ömrünün son on yılında onu görmeye hiç gitmedi. Grace asla Jennie'yle ya da Hubble'ın erkek ve kızkardeşleriyle karşılaşmadı. "İleri yaştaki evliliğinden sonra Lucy'nin yaptığı gibi, içlerinden biri Batı bölgesine geldiğinde" diye yazar Christianson, "Edwin kendi makam odasında ya da Pasadena'nın başka bir yerinde görüşme ayarlar, asla konuşunu eve götürme teklifinde bulunmazdı. [Kızkardeşleri] özel yaşamı koruma yönündeki bu yoğun arzunun Hubble kadar Grace'ten de kaynaklandığı görüşündeydi."

Hubble'ın yokluğunda, mandıracılık yapan küçük kardeşi Bill, ailenin reisi oldu. "Bill gerçekten bizim 'gizli kalmış kahramanımız' oldu" diye belirtir kızkardeşlerden Helen, bir mektubunda. "Betsy ve ben Bill'in gerçekten dolaylı olarak Edwin'in başarılarında pay sahibi olduğu kanısındaydık. Bill zaruretten gelen dünyevi işler uğruna düşlerinden vazgeçti."

O Sabit

Hubble'ın geride bıraktığı en önemli iz denklem (3)'le ifade edilen yasada, yani "Hubble yasası"nda somutlaşır. Bu denklemin alameti farikası, Hubble sabiti denen H faktörüdür. Kozmolojide temel önem taşır, çünkü evrenin genişleme hızını ifade eder. Bunu görebilmek için, kütleçekimi etkilerini ihmal edilebilir düzeye indirmek açısından sözgelimi on milyon ışık yılıyla birbirinden ayrılan iki galaksi arasındaki değişken l mesafesiyle ifade edilecek biçimde şöyle bir genişleme denklemi yazalım:

$$l = l_0 R \quad (7)$$

Burada l_0 galaksiler arasında şu andaki ayrılıktır; R ise bir kozmik "ölçek faktörü" rolünü oynar. Varsayıma göre şu anda $R = 1$ ve $l = l_0$ durumu söz konusudur. Geçmişteki bir anda, genişlemenin şimdiki düzeyin yarısı kadar olduğu bir anda, $R = 1/2$ ve $l = l_0/2$ olur. Gelecekteki bir anda, genişleme iki katına çıkacağı bir anda, $R = 2$ ve $l = 2l_0$ olacaktır.

Genişleme hızı $\frac{dl}{dt}$ zaman türevi olarak hesaplanır. H Hubble sabiti bu hız-

la doğrudan ilişkilidir ve bizi genişleme probleminin özüne götürür. Bağlantı şöyledir:

$$H = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \quad (8)$$

(Bu denklemin kanıtlanması zor değildir. Denklem [7]'nin her iki tarafındaki zaman türevlerini alırız. Böylece $\frac{dR}{dt}$ değerinin Hubble yasasındaki, yani denklem [3]'teki v hızıyla aynı olduğunu görürüz. Daha sonra Hubble yasasından v 'nin karşılığını ve denklem [7]'den I_0 'nın karşılığını alıp yerine koyarız.)

Günümüz kozmologlarının kurgusuna göre, kozmik genişleme bütün evrenin son derece küçük bir hacmin içine göçmesiyle başladı. O sırada R ölçek faktörü sıfıra eşit ya da buna yakın düzeydeydi. Büyük patlama gibi bir şey ilk göçükten doğan genişlemeyi harekete geçirdi ve bugün gördüğümüz haliyle, uzak galaksiler Hubble yasası uyarınca birbirlerinden uçarcasına uzaklaşıyor. Bu senaryo, evrenin şimdiki genişleme haline ulaşmasının ne kadar zaman aldığını hesaplamak için Hubble yasasını kullanmayı öngörür. Eğer zaman bir büyük patlamayla başladıysa, bu hesaplama bize evrenin yaşını verir.

Birbirinden l mesafesiyle ayrılan ve yine birbirinden v hızıyla uzaklaşan iki galaksi düşünelim. Eğer hız sabitse, bu ayrılığa varmak için gerekli zaman dosdoğru $\frac{l}{v}$ olur. (Somut bir örnek olarak, sabit $v = 50$ mil/saatlik göreceli hızla aksi yönlerde ilerleyen iki araba varsayalım. Eğer aynı noktada çıkış almışlarsa, birbirlerinden $l = 100$ mil uzaklaştıklarında, $\frac{l}{v} = \frac{100}{50} = 2$ saat geçmiş olur.) Hubble yasasına, yani $v = Hl$ denklemine baktığımızda, kozmik alanda $\frac{l}{v}$ oranının Hubble sabitinin evrik değerine eşit olduğunu görürüz.

$$\frac{l}{v} = \frac{1}{H}$$

Böylece hesaplanan zaman "Hubble zamanı" olarak anılır ve t_H sembolüyle gösterilir:

$$t_H = \frac{1}{H} \quad (9)$$

Bu, tahmini bir evren yaşıdır. Kesin bir hesaplama değildir, çünkü ne uzaklaşma hızı, ne de Hubble sabiti aslında varsaydığımız gibi sabittir. Eğer genişleme ivme kazanıyorsa, yani hız aradan geçen zamanla birlikte artıyorsa, t_H evrenin yaşını

gerçekte olduğundan küçük gösterir. Eğer genişleme ivme kaybediyorsa, yani hızı aradan geçen zamanla birlikte azalıyorsa, t_H evrenin yaşını gerçekte olduğundan büyük gösterir.

Astronomlar altmış yılı aşkın bir süreden beri Hubble sabitinin güvenilir bir değerini ölçme işiyle boğuşuyorlar. Kozmik mesafeleri ölçmenin özündeki birçok güçlükten dolayı, şimdiye kadar yalnızca kısmi bir başarı elde etmiş bulunuyorlar. Hubble'ın kendi sabitine ilişkin ilk ölçümü neredeyse büyüklük kat sayısı ile hatalıydı, çünkü birden fazla türde Sefeit değişken yıldızı olduğunun farkına varamamıştı. Son zamanlardaki bağımsız H ölçümleri arasındaki ayrılıklar yüzde 15 düzeyindedir.

Astronomların yeğ tuttuğu kendine has birimler harmanı içinde, H için güvenilir bir ortalama değer 65 gibi görünmektedir. Bu sayı, mesafe için iki farklı birimi gerekli kılar: Hubble yasasındaki v faktörü (saniye başına) kilometreyle, l faktörü ise 3,26 milyon ışık yılına eşit bir başka özel astronomik mesafe birimiyle ifade edilir. Giriş fiziğinde birimleri belirlemek için öğrenilen bu kurallara aykırılık düzeltildiğinde, H değerine göre

$$t_H = \frac{1}{H} = 15 \text{ milyar yıl}$$

olarak hesaplanan yaklaşık (besbelli ki biraz yüksek) sonuç evrenin yaşını verir.

○ Teleskop

Hubble'a son paye ölümünden sonra geldi: Büyük bir teleskopa onun adı verildi. Emsali görülmemiş bir berraklıkla ve dalga boyu aralığıyla gözlem yapmaya olanak veren bir uzay teleskopudur bu. Uzaydaki bakış noktası Dünya atmosferinin çarpıtıcı etkilerinden kaçınmasını sağlar. Uzaya 1990'da fırlatılan Hubble Uzay Teleskopu, yaklaşık iki milyar dolara mal olan 94,5 inçlik bir birincil ayna barındırır ve yıllık bakım giderleri iki yüz milyon dolar kadardır.

İlk üç yılında Hubble teleskobu büyük bir fiyaskoya dönüşme tehlikesini yaşadı. Aynanın yapımında yer alan ve sorumsuzca bir tutumla teleskopun fırlatılışından önce gözden kaçan bir hata yüzünden, elde edilen ilk görüntüler beklendiğinden daha bulanık çıktı. 1993'teki özel bir mekik seferiyle teleskopa düzeltici optik özellikler ve başlangıçta arzu edilen görüş gücü kazandırıldı. O tarihten beri Hubble teleskopu, tıpkı adaşının elli yıl önce yaptığı gibi, parlak bir performans göstermiştir.

Hubble teleskopunun başarılar katalogunda şunlar sayılabilir: Bir kuyruklu yıldızın Jüpiter gezegenine çarpışını gösteren yakın gözlem, dev kara deliklerin çoğu kez galaksi çekirdeklerinde yer aldığına işaret eden gözlemler, uzay içlerinde 12 milyar ışık yılının ötesine sızan ve gözlemlenebilir evrende çıkarsama yoluyla her biri milyarlarca yıldız barındıran 120 milyar galaksinin sayılmasını sağlayan "derin saha" görüntüleri, galaksiler arası çarpışmalara ilişkin gözlemler, bü-

yük patlama olayının üzerinden bir milyar yıl geçmeden önce doğmuş olan galaksilerin görüntüleri, Hubble sabiti için bir değer hesaplamada kullanılan standart mesafelerin kalibre edilmesi, evrendeki genişlemenin ivme kazandığına işaret eden uzak süpernovalara (patlayan yıldızlara) ilişkin gözlemler.

Hiçbir bilimciye bundan daha güzel bir anıt nasip olmamıştır.

İdeal Bilgin

Subrahmanyam Chandrasekhar



Doğum ve Ölüm

Subrahmanyam Chandrasekhar (meslektaşlarının, dostlarının ve yakınlarının sıcak hitabıyla “Chandra”) karısı Lalitha’dan sıkça bir şarkıyı söylemesini rica ederdi. Bestecinin hayatı boyunca peşini bırakmayan doğum ve ölüm çevrimlerine ağıt yaktığı bir şarkıydı bu. Britanya’nın 1910’lu ve 1920’li yıllardaki önde gelen astrofizikçisi Arthur Eddington’ın kıskırttığı garip bir olayla başlayarak, düşünsel doğum ve ölüm çevrimleri Chandra’nın bilimdeki yaratıcı hayatının kalıbı haline geldi. Lalitha bir anısında bu benzersiz yaklaşımı şöyle açıklar: “Her alan ya da çevrim ... on ile on beş yılı alırdı. Bu süreçte araştırma konusunu seçer, konuya ilişkin eldeki bilimsel literatürü inceler, ardından kendi araştırmasını yürütür, konu üzerine bilimsel makaleler yazar ve nihayet önündeki bütün malzemeyi ahenkli bir bütün haline getirerek konuya ilişkin kitapta sunar.”

Kitap tamamlandığında, Chandra için gerçek bir ölüm olurdu bu. Konu üzerine söyleyecek daha fazla sözü kalmazdı, geri kalan ufak tefek meselelere zaman harcamaktan kaçınırdı. “Geriye bakıp yazıklanmak onun mayasında yoktu” diye yazar Lalitha. İzleyen “nadas dönemi”nde yeni bir alan aramaya koyulurdu Chandra. Onun için bazen sinir bozucu ve bunalıtıcı bir dönem olurdu bu. Böyle durumlarda Lalitha’ya “Hani şu arkadaşın [besteci] var ya, onun şarkısını söylese” derdi.

Hayatının ve kariyerinin gerekleri Chandra’yı birkaç köklü kültürel değişimce zorladı. Bunların her biri de ona birer ölüm ve sancılı doğum gibi görünmüş olmalıdır herhalde. Bir Güney Hindistan yerlisiydi ve hayatı boyunca yalnızca

Hindistan'da kendisini evinde gibi hissettiğini söyleyip durdu. Ne var ki, 19 yaşında Hindistan'ı terk etti ve bazı ziyaretler dışında bir daha yerleşmek üzere dönmedi. Hindistan astrofizik alanında gerek duyduğu lisansüstü öğrenimi ve daha sonra uygun mesleki fırsatları sağlamaktan uzaktı. Lisansüstü diploma almak ve ardından öğretim üyesi olmak için Cambridge'deki Trinity College'a gitti. Soğuk İngiliz iklimi, tatsız İngiliz sofrası ve İngilizler'in ara sıra sergilediği tuhaflıklar önüne irili ufaklı engeller çıkardı. Ama İngiltere'de çok sayıda kalıcı dostluk kurdu ve uygun iş olanakları bulsaydı orada kalacaktı. Böyle bir şansın olmadığı'nın belirtilmesi üzerine Amerika'ya, üçüncü bir kültüre doğru yol aldı. Geçtiği konaklar önce Harvard, ardından Lalitha'yla birlikte kaldığı Yerkes Gözlemevi ve son olarak da Chicago oldu. Amerika'da bir teorisyen, matematikçi, öğretmen, araştırma danışmanı, yayın yönetmeni, bilim tarihçisi ve hikâye anlatıcısı olarak eşsiz bir şöret kazandı.

Chandra kendisini merdivindeki bir adam gibi görüyordu. Çalışma odasının duvarında sanatçı Fiero Borello'nun çektiği bir fotoğraf bu metaforun bir hatırası olarak duruyordu. Fotoğrafta parlak, neredeyse dümdüz ama nefis konturlu bir duvara yaslanmış merdiveni yarısına kadar çıkmış bir adam yer alır. Adam ve merdiven arkaya yansıyan gölgeleriyle ilginç bir biçimde duvarı tırmanma işine denk düşmüyormuş gibi görünür. Chandra sanatçıdan fotoğrafın bir kopyasını edinmek isterken, kendisi için taşıdığı anlamı şöyle açıklamıştı: "Resminizde beni etkileyen şey, kişinin iç duygu dünyasını başarıya dönük çabalarına yansıttığını görsel olarak sunmanızdaki son derece çarpıcı tarz oldu. Kişi merdivenin ortasına varmış durumda ama yapının görülebilen ve özlem duyulan birkaç titrek parıltısı tamamen erişilmez gibi görünüyor, hatta kişi merdivenin tepesine tırmanacak olsa bile. Kişinin hedeflerine ulaşmasının mutlak olanaksızlığını kavrayışı, kişinin konumuna ilişkin daha mütevazı bir duygu uyandıran gölgeyle güçlendiriliyor."

Chandra'nın biyografi yazarı Kameshwar Wali'nin aktardığı bu kasvetli sözler, ona yön veren itici güç hakkında hiçbir ipucu sağlamaz. O yalın bir ifadeyle, kelimenin en derin anlamıyla bir bilgin, "ideal bir fizik bilgini"ydi. Wali'ye şunu söylemişti Victor Weisskopf: "Onda girginlik yok, iş arayışı, şöret arayışı, hatta itibar arayışı bile yok. ... Onun derin eğitimi, insancıl yaklaşımı, ... dünya edebiyatı ve özel olarak İngiliz edebiyatı bilgisi olağanüstü. Demem o ki, bu kadar uygar bir [başka] fizikçiye ya da astronomu bulmak çok güç." Bir öğrencisinin belirttiği gibi, bir bilgin olarak "sürekli öğrenme" peşindeydi. "Chandra kurulu düzene zerre kadar aldırmazdı. Yaptığı her şey üretken bir yaklaşımla merak duymasının sonucuydu."

Bilgin kişinin uğraşı, Nobel konuşmasında Chandra'nın söylediği gibi, seçilmiş her alanda "perspektiflerin kovalandığı bir serüven"dir. Bununla basitçe kastettiği şey "bana özgü bakış açısı"ydı. Onun itici gücü "düzen, biçim ve yapıya sahip tutarlı bir anlatımla kendi bakış açımı *ab initio* [başından itibaren] kendi bakış açımı sunmak"tı. Bu işi altmış yıllık bir süreç boyunca defalarca yaptı.

Astrofizik çok büyük şeyleri, (evrenin tarihini atom kökenlerine doğru izle-

me girişimlerinde) çok küçük şeyleri ve çok karmaşık şeyleri kapsar. Chandra astrofizikğin karmaşıklıkları konusunda çağdaşlarından hiçbirinin erişemediği bir kavrayışa sahipti. Bir konu üzerine çalışma çevrimlerinin birine girdiği zaman, bir alandaki esasları özümseyebilir, bunların önemini değerlendirebilir, kendi perspektifini oluşturabilir ve bunu bir monografide ifade edebilirdi. Astrofizik ya da daha geniş fizik camiasında Chandra'nın meslektaşlarından hiçbiri bu kadarını yapamazdı.

Madras'tan Çıkış

"Hayatınızda babanızın baskın bir etkisi oldu mu?" sorusunu yönelten gazeteci Vatsala Vedantam'a, "Bütün Hintli babalar baskındır" diye gülerken cevap vermişti Chandra. Wali bize baba C. S. Ayyar'ın kabataslak bir portresini şöyle çizer: "Çok iyi yetişmiş, çok okumuş ve çok dolaşmış olmakla birlikte, belli görenek ve âdetler benimsemişti. Aile meseleleri söz konusu olduğunda da, herkes-ten sorgusuz itaat talep eden gelenekçi ve otoriter biriydi. Tam kuşağına özgü bir babaydı. İçine kapanık ve duygularını pek belli etmeyen biri olarak, çocuklarına mesafeli dururdu."

Ayyar, İngiliz sömürge idaresinde çalışan ve sonunda başmüfettiş unvanına ulaşan bir muhasebeciydi. Görevinin gereği olarak Hindistan'daki önemli İngiliz demiryolu şirketlerinin çoğunun bürolarında bulundu. Chandra'nın doğduğu 1910'da aile, Ayyar'ın Kuzeybatı Demiryolları için genel müfettiş yardımcısı olarak çalıştığı Lahor'da yaşıyordu. Lahor coğrafi ve kültürel bakımdan Ayyar'ın güneydoğu Hindistan'daki Tamil geçmişinden çok uzaktı. Fırsatını bulur bulmaz, gittikçe genişleyen ailesini güneydoğu kıyılarındaki Madras'a yerleştirerek, çeşitli görev yerlerinde dolaşmayı sürdürdü. Ayyar ailesinin "Chandra Konağı" olarak bilinen evi, Chandra lisedeyken inşa edilmişti. Çok odalı, konforluymuş ve de Madras'ta üst-orta sınıfın yaşadığı bir banliyöde yer alıyordu.

Chandra babasına olduğu kadar annesine de minnet borçluymuş. Sitalakshmi on çocuk doğurmuş, iradesi güçlü bir kadındı. Kocasının geniş ailesinde kendi başına ayakta kalmasını bilmişti. Chandra, ailenin en büyük oğluydu. İki ablası, kendisinden küçük üç erkek ve dört kızkardeşi vardı. Sitalakshmi sınırlı bir okul eğitimi görmesine karşın, İngilizce öğrenmeyi ve İhsen'in *Bir Bebek Evi* adlı eserini (oyundaki ana karakter Nora, Helmer'in kocasından boşanması açısından ilginç bir seçim) İngilizce'den Tamil diline çevirmeyi başarabilirdi. Kızlarının ileri eğitim yönündeki arzularını destekledi ve Chandra'nın meslek seçimi meselesinde kocasına karşı durdu. "Ne istiyorsan onu yapmalısın" dedi Chandra'ya. "Onu dinleme, boyun eğme."

Chandra'nın ilk baştaki tercihi matematikti. Srinivasa Ramanujan'ın kariyerine hayrandı. Neredeyse sefalet ortamında yetişen ve matematikte sınırlı bir ileri eğitimle yola koyulan Ramanujan, sayılar teorisi üzerine yayımladığı birkaç makaleyle Oxford'un ileri gelen matematikçilerinden G. H. Hardy'yi büyülemişti. Hardy ve Cambridge'den meslektaşı J. E. Littlewood onu Cambridge Trinity College'ın bir bursuyla İngiltere'ye getirtti. Üç yıl boyunca Hardy ve Ramanu-

can bir dizi önemli makaleyi birlikte yazdılar. Ancak, Chandra'nın da sonradan öğreneceği üzere, İngiltere'nin havası sonradan yerleşen Hintliler'e yaramıyordu. Ramanujan muhtemelen tüberküloza yakalanıp hasta düştü, Madras'a döndü ve orada otuz üç yaşında öldü. Chandra on yaşındayken, annesinin ona Ramanujan'ın parlak kariyeri ve trajik ölümü üzerine anlattıklarını hiç unutmadı.

Ramanujan'ın çekici büyüğü C. S. Ayyar'ı matematiğin oğlu için uygun meslek olduğuna ikna etmek için yeterli değildi: Fizik okuması konusunda ısrarcıydı. Belki de aklında kardeşi ve Chandra'nın amcası C. V. Raman'ın harikula-de başarısı vardı. Raman 1928'de, şimdilerde fizikçiler ve fizikokimyasıclar tarafından Raman etkisi diye bilinen fiziksel etkiyi bulmuştu. Bu, tek renkli ışığın (belli bir dalga boyunda) saydam bir madde tarafından saçılmasıdır. Saçılma verileri ve iletilen ışıktan elde edilmiş veriler birlikte ele alındığında, ışıkla etkileşime giren moleküllerin şekillerini çoğu kez ortaya çıkarır. Raman bu çalışmasıyla "sir" unvanı aldı ve 1930'da Nobel Ödülü kazandı.

Ayyar'ın Chandra için öngördüğü plan, fizikte üstün dereceyle lisans diploması alması ve daha sonra İngiltere'ye gidip Hindistan memurluk sınavına girmesiydi. Sınavdaki başarısı sömürge idaresinde güvenli bir işi sağlayacaktı. Chandra fizik öğrenimini kabullendi ama memurluk yapmaya kesinlikle karşı çıktı. "Adlarını bildiğim iki bilim adamı Ramanujan ve Raman'dı. Bir dereceye kadar benim rol modelim oldular" diye anlatacaaktı daha sonraları Wali'ye. Her ikisi de saf araştırma yolunu seçmişlerdi ve Chandra da annesinin desteğiyle aynı yolu tutacaktı.

Chandra'nın yeteneği hiç kuşkusuz dâhiyaneydi. Daha on sekiz yaşında Madras'taki Presidency College'da lisans öğrencisiyken yazdığı bir makale, Rutherford'un damadı ve Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda baş teorisyeni Ralph Fowler'ın dikkatini çekti. Makale, Alman hoca ve teorisyen Arnold Sommerfeld'in 1928'de Madras'a yaptığı bir ziyarette ortaya çıktı. Chandra, *Atom Yapısı ve Tayı Çizgileri* kitabına ilişkin kapsamlı bilgisiyle etkilemeyi umduğu Sommerfeld'i otelinde görmeye gitti. Ancak Sommerfeld'in cesaret kırıcı bir haberi vardı. "Kitabın yazılmasından sonra bütün fiziğin dönüşüme uğradığını söyledi bana yekten" diye anlatacaaktı Chandra, daha sonraları bu görüşmeyi. "Schrödinger'in bulduğu dalga mekaniğine, Heisenberg, Dirac, Pauli ve diğerleri sayesinde sağlanan gelişmelere değindi. Biraz süngüsü düşük bir görüntü sergilemiş olmalıyım herhalde. Bunun üzerine bana başka ne bildiğimi sordu. Ona istatistiksel mekanik üzerine biraz çalıştığımı söyledim. 'Bak şu işe, istatistiksel mekanikte de değişiklikler oldu' dedi. Ardından metallerin elektron teorisi üzerine henüz yayımlanmamış olan makalesinin prova baskısını verdi bana."

Sommerfeld'in makalesi Fermi'nin ortaya attığı ve Dirac'ın genelleştirdiği istatistiksel metodu uyguluyordu. Chandra yeni istatistiğin anlamını ve önemini çabucak kavradı. Hocalarından hiçbir öğüt ya da yardım almaksızın, kendi başına bir uygulama buldu ve bunu bir makale haline getirdi. Bazen bir kariyere yön veren kısmetli bir gelişmeyle, *Monthly Notices of Royal Astronomy Society* dergisinde çalışmalarını daha önce görmüş olduğu Fowler'a makaleyi gönderdi. Fow-

ler “beyaz cüce” denen, nükleer yakıtını tüketmiş ve yaklaşık Dünya boyutuna çökelmiş yaşlı yıldızların bir modelini geliştirerek, Fermi-Dirac istatistiğini astrofizik alanına taşımıştı. Fowler ve Nevill Mott adlı meslektaşı Chandra’nın makalesini okudular, üslup bakımından Chandra’nın kolaylıkla yerine getirdiği birkaç değişiklik tavsiye ettiler ve makalenin saygın *Proceedings of The Royal Society*’de yayımlanmasını sağladılar. On sekiz yaşında ve hiç yardım görmemiş bir lisans öğrencisi için en abartısız ifadeyle çarpıcı bir başarıydı bu. Önemli insanlar bunu fark ettiler ve Chandra’ya mezuniyetten sonra İngiltere’de öğrenim görmesini ve araştırmalarını sürdürmesini sağlayacak özel bir burs önerildi. Ama Chandra’nın Hindistan’dan ayrılması açısından kederli bir dönemdi. Annesinin sağlığı bozulduğu için, İngiltere’ye gitmesi halinde onu bir daha görememekten korkuyordu. Sitalakshmi buruk tercihi bizzat yaptı. “Gitmelisin. Sonuna kadar idealle rinin peşinde koşmalısın” dedi oğluna. “Onu kendim için değil, dünya için doğurdum” diye açıkladı kararını başkalarına.

Cambridge’e Gidiş

Chandra Temmuz 1930’un boğucu bir sıcak gününde Bombay’da gemiye binerek Hindistan’dan ayrıldı. Birkaç gün gemi kötü hava koşulları yüzünden yavaşladı ve Chandra deniz tutmasına yenik düştü. Havanın sakinleşmesiyle ve mide bulantısının geçmesiyle birlikte, düşünceleri tekrar fiziğe, özellikle de Fowler’ın incelemiş olduğu ve “beyaz cüce” denen garip yıldız cisimlerine döndü. Bunlar Güneş gibi olağan bir yıldızınkinden çok *kütleye* sahiptir ama çökmüş olan boyutları daha çok Dünya’ninkinden kadardır. Ortaya çıkan sonuç yıldız içindeki maddenin olağanüstü, Dünya’daki her türlü maddeye göre çok daha büyük bir özgül ağırlığa (birim hacim başına kütle) sahip olmasıdır. Chandra’nın aklına bu durumun beyaz cüce fiziğine bir kısıtlama getirdiği düşüncesini getirdi: Yıldız görelilikçi olmalıydı, yani içerdiği madde Einstein’ın özel görelilik teorisinin gereklerine uymalıydı.

Chandra ayrıca beyaz cücelerin küçük boyutlarını korumalarına ve kütleçekimi kuvveti altında çökmelerine olanak veren fiziksel duruma da kafa yordu. Fowler’ın analizine göre, Fermi ve Dirac tarafından geliştirilmiş haliyle Pauli dışlama ilkesi hayati öneme sahipti. İki elektronun aynı durumu kaplamalarına elverecek kadar bir yakınlığa doğru sıkıştırılamayacağını öngören bu ilkenin getirdiği sonuç, kütleçekimi kuvvetine karşı koyan özel bir elektron basıncıdır. Basıncı aşılamayacak bu nihai sıkıştırmaya “yozlaşma” durumu denir.

Gemideki eşyaları arasında yalnızca üç kitap bulunan Chandra, Fowler’ın teorisinin görelilikçi bir versiyonunu oluşturmaya girişti ve beklenmedik bir sonuca vardı: Bir yıldızın kütlesinin beyaz cüceye doğru evrim gösterebilmesinin bir sınırı, daha sonra verilen adla “Chandrasekhar sınırı” vardır. Güneş kütlesinin yaklaşık 1,4 katından fazla kütleyle sahip bir yıldızda, elektron basıncı kütleçekimi kuvvetine karşı koymak için yeterli değildir. Bu durum yıldızın çökmesine yol açar ve yıldızın sönmeden önce beyaz cüce evresinden geçmesini sağlayacak bir mekanizma yoktur. Chandra daha sonraki bir makalesinde bunu şöyle ifa-

de eder: “Küçük kütleli bir yıldızın yaşam çizgisi, büyük kütleli bir yıldızın yaşam çizgisinden temelde farklı olmalıdır. Küçük kütleli bir yıldız için beyaz cüce evresi tam sonuş yönünde bir ilk adımdır. Büyük kütleli bir yıldız beyaz cüce evresinden geçemez ve önümüzde kalan tek yol başka olabilirlikler üzerine kestirimlerde bulunmaktır.”

“Başka olabilirlikler” sahiden kestirimleri, hem de en çılgınca kestirimleri getirdi. Sönme sürecine giren büyük kütleli bir yıldız besbelli ki beyaz cüceden daha küçük ve olağanüstü denecek kadar daha yoğun bir cisme doğru çökmekteydi. Chandra bütün olabilirliklerin en tuhafına kapılabilirdi: Böyle bir yıldızın çöküşü çevresindeki hiçbir şeyin, hatta ışığın bile kaçmasına izin vermeyen sonsuz özgül ağırlığa sahip bir nihai duruma varabilirdi. Böyle bir durum söz konusuysa, Chandra’nın bu konuda bir şey söylememesi akıllıca olurdu. Beyaz cüce oluşumu için bir kütle sınırı kavramı, sıkıntı verici bir tartışmanın içine sürüklenmesi için yeter de artardı.

Londra’ya varan Chandra etrafı dolaşma isteğini pek duymadı ve katı bürokratik kuralların karmaşasıyla derhal karşı karşıya kaldı. Bir araştırma öğrencisi olarak Cambridge’e kaydolarak Fowler’ın yanında çalışmak istiyordu ama durumunu ele alıp bir karara varmaktan sorumlu Hindistan Yüksek Komiserliği kavrayışsız, işbirliğinden uzak ve hatta aşağılayıcı bir tutum içindeydi. Chandra babasına gönderdiği mektupta, “Keşke buraya hiç gelmeseydim, bursu geri çevirseydim” diye yazdı. Ama her zamanki gibi sebat etti ve sonunda talihi döndü: Fowler’ın yazdığı bir kişisel tavsiye mektubu Trinity College’a kabul edilmesini sağladı. Babasına yazdığına bir başka mektupta şansının yaver gitmesini şu hayret dolu sözlerle anlattı: “Kabul edilmemi tamamen son iki yıldır Fowler’ı tanımış olmam gibi bir tesadüfe borçluyum. O sırada ne diye Fowler’a bir mektup yazmaya kalktım, bunu Tanrı bilir ancak. Sanırım, bunun nedeni, Fowler’ın iki yıl sonra bana yardım etmesi içindi!”

Chandra, Cambridge’i yakından tanımayı hem heyecan verici hem de can sıkıcı buldu. Daha sonraları anlatacağı üzere, “birdenbire Dirac, Fowler ve Eddington gibi insanların arasına girmek ve büsbütün kopuk bir toplum içinde yaşamak ... sarsıcı bir deneyimdi.” Her zaman sıkı bir vejetaryen olarak kalan Chandra, “İngiltere’de üç yıllık bir dönem boyunca vejetaryen olmanın yalnızca mümkün olduğunu değil, bunu *sahiden* başarabildiğini ileride cüretkâr ve dürüst bir tavırla anlatmaya” ant içti. Esas olarak memleketten gelen baharat karışımlarıyla tatlandırılmış patates, ekmek, tereyağı ve mısır gevreğinden oluşan bir diyet izledi.

Chandra’nın düşünsel diyeti daha zengin ve daha uyarıcıydı. Aldığı ders mönüsünde Dirac’ın kuantum mekaniği, Fowler’ın istatistiksel mekanik, Littlewood’un fonksiyon teorisi ve Eddington’un görelilik teorisi dersleri vardı. Dirac önceleri Chandra’da iyi bir izlenim bırakmamıştı: “Sokaklardan sinsice süzülüveren sıska, yumuşak ve utangaç bir genç ‘öğretim üyesi’ işte. Duvarlara iyice yaklaşarak (tıpkı bir hırsız gibi!) yürüyor ve hiç de sağlıklı görünmüyor. (Orta yaşlı, güçlü, ‘kerli felli’, sağlıklı, oldukça mutlu, yaşama sevinciyle dolu bir adam olan

Bay Fowler'la tezat oluşturuyor)." Oysa Fowler yaklaşılmaması zor bir insandı. Buna karşılık Dirac zamanla Chandra'nın akıl hocası ve iyi bir dostu oldu. "Çok insancıldı, kişisel düzeyde bana karşı son derece sıcaktı" diye anlatacaktı Chandra daha sonraları Wali'ye. "Üzerine çalıştığım konuya pek fazla ilgi duymamasına rağmen, ayda bir sefer beni St. Johns'taki lojmanında çay içmeye çağırırdı. Ayrıca lojmanıma gelip çay içerdi ve bazı Pazar günleri arabasıyla beni Cambridge dışındaki kırlara götürürdü. Eski Roma yolunda uzun [çoğunlukla sessiz] yürüyüşler yapardık." İki üstün zekâlı, sıkı ağızlı adamın zihinleri arasındaki bir buluşmaydı bu.

Chandra bir ara astrofizikten saf teorik fiziğe geçmeyi düşündü. Çağdaş teorik çalışmaların sularında şöyle bir dolaşmak için, 1931 yazını Max Born'un Gottingen'deki enstitüsünde ve 1932-33 kışını Bohr'un Kopenhag'daki enstitüsünde geçirdi. Gerek Born gerek Bohr o sırada son derece meşguldü ve Chandra ikisiyle de pek az görüşebildi. Ama kuantum mekaniğinin harika yapısını kurmakta olan genç ve başına buyruk teorisyenler arasında birçok dost edindi. Daha sonraları bu dostluklardan epeyce yararlanacaktı. Kopenhag'da bulunduğu sırada, Dirac'ın ona vermiş olduğu bir problem üzerinde çalıştı ve iyimser tavrıyla "öyle eften püften sayılmayacak" bir çözüme vardığını sandı. Bir makale yazarak, Bohr ve Dirac'tan görüşlerini istedi. Bohr onayladığı makaleyi *Proceedings of The Royal Society* dergisine iletti. Ancak Chandra'nın neşesi Dirac'ın temel bir hataya işaret bir not göndermesiyle dağılıverdi. Chandra makalesini geri çekti ve gönlüsüzce (ama talihli sayılacak bir gelişmeyle) astrofiziğe döndü.

Cambridge'e dönüşünde Chandra doktora sözlü sınavına girdi. Sıkı kurallara bağlı olmayan bir işti bu. Sınav görevlileri (tezi okuma zahmetine bile girmeyen) Fowler ile Eddington'dı. Fowler'ın soruları ve Eddington'ın buna itirazları, ardından Eddington'ın soruları ve Fowler'ın itirazları birbirini izlerken, saatine bakan Fowler'ın "Eyyvah, geç kaldım!" deyip dışarıya fırlamasıyla sınav bir anda sona erdi. Eddington bunun üzerine Chandra'ya sınavı geçip geçmediğini bile söylemeksizin, "Hepsi bu kadar" deyiverdi. (Verilen not geçerliydi.)

Doktora diploması elinde olan ve burs parası tükenmeye yüz tutan Chandra, geleceği düşünmeye başladı. Pek başarı umudu olmamakla birlikte, Trinity College'da öğretim üyeliği için sınavlara girdi. Böyle bir görev ona dört yıl daha İngiltere'de kalma, okulda bedava lojman, yemek ayrıcalıkları ve üç yüz sterlin tutarında yıllık harcırah olanağı sağlayacaktı. Fowler şansının çok zayıf olduğu kanısındaydı. Ramanujan o zamana kadar Trinity öğretim üyeliğine alınan tek Hintli olmuştu ve onun da özel bir durumu söz konusuydu. Daha gerçekçi bir tavra yönelen Chandra kısa bir süre Oxford'da kalmayı ve yakın dostluk kurmuş olduğu genç astrofizikçi Edward Milne'in yanında çalışmayı tasarladı. Oxford'da bir oda tuttu, eşyalarını topladı ve bir taksiyle tren istasyonuna giderken, birden okula şöyle bir uğramaya ve öğretim üyeliğine seçilmiş adayların listesine bakmaya karar verdi. Büyük bir hayretle adının listede olduğunu gördü. "İşte oldu" dedi kendi kendine. "Hayatımı değiştirecek bu."

Yıldız Soytarılığı

Chandra'nın hayatı başka bakımlardan değişmek üzereydi. Cambridge'de kaldığı süre boyunca, yıldızların evrimi ve bu konuda vardığı garip sonuç üzerine düşünüp durmuştu. Büyük kütleli yıldızların, o dönemde herkesçe standart bir akıbet olduğuna inanılan beyaz cüceler olarak ömürlерinin sonuna varamayacakları görüşündeydi. Bu teorisi üzerine yazdığı kısa bir makale (daha sonra yayın yönetmenliğini yapacağı) *Astrophysical Journal*'de yayımlandı. Milne makaledeki bazı kilit yaklaşık hesaplara itiraz etti ve bu tutum Chandra'yı beyaz cücelere ilişkin eksiksiz bir teori geliştirmeye yöneltti. Bu çalışma 1934'te, Chandra'nın öğretim üyeliği görevine getirilmesinden sonra başladı. Eddington çalışmaya merakla yaklaştı. "Çalışmamın günü gününe ilerleyişine epeyce ilgi gösterir hale geldi" diye anlatacaktı Chandra daha sonraları. "Elden ele dolaşan tek hesap makinesinin ... bana verilmesini bile sağladı. ... Ekim'den Aralık'a kadar üç ay boyunca, Eddington oldukça sık, haftada en az bir sefer, bazen iki ya da üç sefer lojmanıma geldi."

Chandra 1934 yılının sonunda eksiksiz teoriyi tamamlamıştı ve bunu bir özet olarak Londra'daki Kraliyet Astronomi Derneği'nin bir toplantısına sunma yolunu buldu. Toplantıya ilişkin programa bakınca, kendi bildirisinin hemen ardından Eddington'un "Görelilikçi Yozlaşma" adlı bir konferans vereceğini fark etti. (Görelilikçi yozlaşma Chandra'nın teorisinde beyaz cüce kütle sınırı kavramına varmayı getiren duruma ilişkin teknik terimdir.) "Gerçekten çok kızdım" diye aktaracaktı duygularını Chandra, çok daha sonraları. "Çünkü Eddington neredeyse her gün beni görmeye gelmişti ve bir bildiri sunacağından hiç söz etmemişti bana." Toplantıdan önceki çay partisinde Chandra arkadaşlarından William McCrea'yle sohbet ederkem, Eddington yanlarına geldi. "Şey, Profesör Eddington, şu 'Görelilikçi Yozlaşma' konuşmasında neyi öğreneceğiz acaba?" diye sordu McCrea. Chandra'ya şöyle bir bakan Eddington "Senin için bir sürpriz bu" dedi ve çekip gitti.

Chandra konuşmasını yaptı ve Milne kısa bir yorumda bulundu. Ardından Eddington tanıtıldı ve alışılmış alaycı nüktedanlığıyla çarçabuk meselenin özüne geldi: "Şimdi söyleyeceklerimle bu toplantıdan canlı olarak çıkabilir miyim, pek bilemiyorum ama bildirimin konusu görelilikçi yozlaşma diye bir şeyin olmadığıdır!" Chandra'nın görüşünü kendince şöyle özetledi: "M gibi belli bir sınırdan daha büyük kütleyle sahip bir yıldız kusursuz gaz olarak kalır ve asla soğuyamaz. Böyle bir yıldızın sürekli ısın saçması ve büzüşmesi gerekir. Öyle sanıyorum ki, yarıçap birkaç [kilometreye] ininceye, böylece yerçekimi ısın saçmayı durduracak güce varıncaya ve yıldız da sonunda huzura erinceye kadar böyle sürüp gider."

"Dr. Chandrasekhar daha önce vardığı bu sonucu" diye devam etti Eddington, "son bildirisinde sakız gibi çiğneyerek tekrarlayıp durdu. Onunla yaptığım görüşmelerde, bunun görelilikçi yozlaşma formülünün neredeyse bir *reductio ad absurdum* [saçmalık derekesine inmiş] hali olduğu sonucuna vardım ister istemez. Çeşitli tesadüfler işin içine girip zavallı yıldız kurtarabilir ama bundan daha faz-

la koruma istiyorum ben. Kanımca, bir yıldızın böyle saçma bir tarzda davranmasını önleyecek bir Doğa yasası olmalı herhalde!" Eddington konuşmasını bitirince, toplantıyı yöneten kişi telaşlı bir tavırla, "Üzerinde tartışmadan önce söz konusu bildirideki savları çok dikkatli biçimde tartmamız gerekecek" açıklamasını yaptı. Chandra suskunluğa gömüldü, utançtan kıpkırmızı kesildi ve tam anlamıyla şaşkınlığa uğradı.

İlk şoku atlattıktan sonra, Chandra bir karşı saldırıya geçti. Kopenhag'daki dostlarından biri ve Bohr'un asistanı olan Leon Rosenfeld'e bir mektup yazarak, Eddington olayını aktardı. Rosenfeld cevabında Eddington'un görüşlerine ne kendisinin ne de Bohr'un anlam verebildiğini belirtti. Chandra'ya savının doğru olduğunu bildirerek, "neşesine bakma" ve "yüce rahip"leri pek fazla dert etme öğüdünde bulundu. Ama Chandra bu işi olurlarına bırakmaya niyetli değildi. Eddington'la yaptığı birkaç konuşmadan çıkarabildiği tek şey, onun dışlama ilkesi konusunda kendisine özgü aykırı bir görüşü esas aldığıydı.

Chandra hepsi de Eddington'ın savlarını şaşkınlıkla karşılayan Bohr, Fowler, Dirac ve Pauli'den gayri resmi destek aldı. Eddington ise Chandra'yla sıcak kişisel ilişkilerini korurken, onun teorisine saldırmayı sürdürdü. Çok tuhaf bir tavırdı bu. Eddington son açıklamalarının birinde Chandra'nın yıldız evrimine ilişkin versiyonunu "yıldız soytarılığı" olarak nitelendirmeye kadar götürdü işi.

Her ne kadar haklı olduğundan hiç kuşku duymasa da, Chandra asıl istediği şeyi, fizik camiasında Bohr, Dirac ya da Pauli gibi bir otoritenin açık destek ifadesini elde edemedi. Şahsen Chandra'yı rahatlatıcı şeyler söylemekten geri kalmamakla birlikte, Eddington'la resmen tartışmaya girmekten kaçınıyorlardı. "Eddington gibi birisinin herkesçe kabul edilen böylesine inanılmaz bir otoriteye sahip olması" diye anlatacağı Chandra daha sonraları Wali'ye, "epeyce irkiltici bir olgu. Astronomi çevresinde ortaya çıkıp Eddington'ın hatalı olduğu söylemeye yetecek cesarete ve anlayışa sahip insanların olmaması inanılmaz bir olgu. Bütün astronomi literatürünü karıştırırsanız, Eddington'ın hatalı olduğunu belirten tek bir cümleye rastlayacağınızı sanmıyorum. Yalnızca bu kadar da değil, şimdiye kadar aldığım astronomi madalyalarının hiçbirinde beyaz cüceler üzerindeki çalışmama değinilmemesi bir tesadüf değil." Bilim sosyolojisinin zorlu bir dersi idi bu ya da Chandra'nın ifadesiyle "Protokol öyleydi" demekten başka çare yoktu.

Beyaz cüce teorisinden bu biçimde kopan Chandra'nın bunu tamamen bir yana bırakma ve başka bir alana yönelme dışında bir seçeneği yoktu. Chandrasekhar kütle sınırı, astronomlar arasında ancak otuz yıl sonra genel kabul gördü. Ancak olay Chandra üzerinde şaşırtıcı denecek kadar yararlı bir etki yarattı. Zorunlu olarak yeni bir konuya, yıldızların yapısına el atınca, çalışma alanlarında periyodik değişiklikler yapmaya düşünsel bakımdan yatkın olduğunun farkına vardı. Eddington ve onun beyaz cüce kütle sınırını inatla inkâr etmesi sayesinde, Chandra bilimsel araştırmaya özgün "doğum ve ölüm" yaklaşımını buldu.

Williams Bay

Chandra hayat hikâyesini iki cümleyle anlatmaktan hoşlanırdı: "1930'da Hindistan'dan ayrılıp İngiltere'ye gittim. 1936'da Hindistan'a döndüm ve beni altı yıldır beklemekte olan kızla evlendikten sonra, Chicago'ya gelip birlikte hep mutlu yaşadık." Bizim anlatımımızda sıra şimdi "kız"a, yani Lalitha'ya geliyor ve Chandra'nın hikâyesindeki uzun Amerikan faslı başlıyor.

Lalitha ve Chandra, Madras'taki Presidency College'in fizik bölümünde sınıf arkadaşlarıydı. "O benden bir yıl öneydi" diye anlatır Lalitha. "Bazı derslerimiz ortaktı. Ben ön sırada otururdum, Chandra da hemen arkamda. Ben onun varlığından haberdardım, o benim varlığımdan haberdardı. Böylece aramızda bir arkadaşlık doğdu." Chandra'nın İngiltere'de kaldığı sırada, Lalitha fizik yüksek lisans diploması aldı ve Karaikkudi'deki bir okulun müdiresi oldu. Birbirleriyle mektuplaşan Chandra ve Lalitha 1934 güzünde bir "karşılıklı anlayış"a vardılar. Chandra'nın babası bu işe sevindi. Lalitha'yı akşam yemeği için Chandra Konağı'na davet etti ve "mütevazı, oldukça çekingen bir genç hanım" olduğu kanısına vardı. Ayyar'ın hararetle umduğu şey, bu evlilikle oğlunun kalıcı olarak Hindistan'a dönmesiydi. Tasarı boşa çıktı ve bir süre nişan da askıda kaldı. Chandra yüksekokul yıllarından beri Lalitha'yı görmemişti. Kendi kariyerinin muhtemelen uzun bir süre yurtdışında kalmayı da içeren icaplarını kabul etmesini istemenin ne kadar akıllıca olacağından kuşku duymaya başladı. Bunun üzerine "yeni bir karşılıklı anlayış"a vardılar, buluşup geleceği görüşme şansını bulana kadar, aralarında kestikleri söz öylece kalabilirdi.

Chandra için Hindistan'da tek ciddi iş fırsatı, Bangalor'daki Hint Bilim Enstitüsü'nde amcası C. V. Raman'ın önerdiği yardımcı profesörlüktü. Ancak Chandra sakıngan davrandı. Raman'ın bilim adamlığındaki şatafatlı üslubunu beğenmiyordu. "Her ne kadar onun fizikteki parlak zekâsına saygı duysa da" diye yazar Wali, "Chandra için Raman artık bir rol modeli değildi. Raman sansasyona düşkünlüğüyle, tartışmalardaki gürültücülüğüyle ve çelişkili ifadelerle konuşmaya yatkınlığıyla Chandra'yı rahatsız ediyordu." Baba ve oğul aynı görüşteydi. Chandra'ya çektiği telgrafta, "SANA TAVSIYEM ONUN YÖRÜNGESİNE GİRME" diye belirtti Ayyar.

Chandra 1935'te Amerikan Cambridge'i Harvard'da "kozmetik fizik" konferansları vermesi için Harlow Shapley'den aldığı daveti kabul etti. Konferanslar büyük ilgi gördü ve Shapley ona çekici bir öğretim üyeliği önerdi. Aynı sıralarda Chicago Üniversitesi Yerkes Gözlemevi direktörü Otto Struve de araştırma uzmanlığı teklif etti. Gerek Eddington'ın gerek Milne'in tavsiyesi, Chandra'nın zaten varmış olduğu karar yönündeydi: Dünyanın önde gelen gözlemevleri arasında yer alan Yerkes'teki görevi kabul etmek.

Geleceğinin bu kısmının yerli yerine oturması üzerine, Chandra artık Hindistan'a dönüp ailesini ve sabırlı Lalitha'yı görme zamanının geldiğine karar verdi. Temmuz 1936'da, Hindistan'dan ayrılışından tam altı yıl sonra, Bombay'a doğru yola çıktı. Lalitha onunla Madras'ta buluştu ve aralarındaki aşkın eskisinden daha güçlü olduğunu çarçabuk anladılar. "Chandra'nın evliliğini belirsiz bir

süreyle erteleme yönündeki kararı, altı yıl sonra Lalitha'yı görmesiyle birlikte oldukça ani bir biçimde geçerliliğini yitirdi" diye anlatır bize Wali. "Lalitha bir rüya olmanın ötesindeydi, basbayağı elle tutulurdu. Karşılıklı duyguları konusunda en ufak belirsizlik yoktu. Eğer evleneceklerse, başka biriyle değil, birbirleriyle olacaktı bu. Chandra'nın bilime adanmışlığını paylaşan biriydi Lalitha. Böylece Chandra tek hedefe kilitlenmiş uğraşında, onun bir köstekten çok bir destek olacağına inandı."

Chandra ve Lalitha Eylül 1936'da evlendiler. O sırada ve şimdi de Hindistan'da seyrek görülen bir örnek olarak, ailelerin ayarlamadığı bir "aşk evliliği"ydi bu. Yeni çift Ekim ayında Bombay'da gemiye bindi, İngiltere'de kısa bir süre kaldıktan sonra ABD'nin Wisconsin eyaletindeki Williams Bay şehrinin yolunu tuttu. Chandra ve Lalitha izleyen yirmi yedi yıl boyunca Williams Bay'i ve Yerkes Gözlemevi'ni yurt edindiler.

Chandra'nın Yerkes'teki varlığı benzersiz bir durumdu. O öncelikle bir astrofizik teorisyeniydi, buna karşılık Yerkes kadrosu esas olarak gözlem işiyle uğraşan astronomlardan oluşmuştu. Araştırmaya ek olarak, Chandra'nın asıl görevi astronomi ve astrofizik alanında bir lisansüstü program geliştirmektir. Chandra ve aynı biçimde Yerkes kadrosuna yeni katılmış Gerard Kuiper, yıldız atmosferlerini ve iç yapılarını, yıldız dinamiğini, güneş ve yıldız spektroskopisini, güneş sistemlerini ve atom fizikini kapsayan on sekiz derslik bir tasarı hazırladılar. Chandra yılın her çeyreğinde bir ya da iki ders olmak üzere, bu derslerden on ikisine ya da on üçüne giriyordu. Yerkes'i ziyaret eden bir başka astrofizikçi Martin Schwarzschild, gördüğü ortamı şöyle anlatıyordu: "Yerkes her bakımdan öncü bir kurum haline geldi. Ülkede astronomi ve astrofizik alanında lisansüstü okulların en seçkinlerinden birini, hatta belki tek seçkin örneği de bu unsurlardan biriydi. ... Chandra grubun epeyce öne çıkan en aktif üyesiydi. Hocalığa düpedüz âşık olan ve birçoğunun son derece bağlılığını kazandığı öğrencilerine aşırı yüklenen biriydi."

Chandra'nın enerjisi ve uğraştığı işler sınırsız gibiydi. Ders vermenin yanı sıra, dünyanın her tarafından araştırma öğrencilerini çeken haftalık kolokyumları yürütüyor ve alameti farıkası olan yetkin monografileri düzenli aralıklarla yayımlıyordu. Yerkes'teki ilk yılında altı araştırma makalesi ve ilk kitabı *An Introduction to the Study of Star Structure*'ın (Yıldız Yapısını İncelemeye Giriş) metnini yazdı.

Yıldız yapısından yıldız dinamiğine geçti ve ardından astrofizikçilerin yıldız içinde fotonlarla enerji taşıma olarak anladığı ışıma aktarımı konusuna yöneldi. Onun gözde konusuydu bu. "En büyük tatmini ışıma aktarımı üzerine araştırmalarımdaydım" diye anlatacaktı Wali'ye. "Üzerinde beş yıl çalıştım ve sezgime göre diyebilirim ki, konu kendi inisiyatifi ve momentiyiyle gelişti. Her biri öncekinden daha karmaşık ve zorlu problemler art arda ortaya çıktı ve çözüme bağlandı. Bütün konu diğer çalışmalarımın hiçbirinde görmediğim bir inceliğe ve güzelliğe ulaştı."

Avrupa'da 1930'ların sonlarında, Chandra'nın babasına bir mektubunda

yazdığı ifadeyle “bütün değerleri darmadağın eden” savaş patlak verdi. Hintliler arasında İngiliz savaş çabalarına destek verme konusunda bir tartışma başladı. Japonlar’ın Aralık 1941’de Pearl Harbor baskınıyla çatışmaya dahil olması bu meseleye daha da ivedilik kazandırdı. Hint Ulusal Kongre Partisi verilecek destek için bir bedel talep etti: Savaştan sonra Hindistan’ın tam bağımsızlığının tanınacağı garantisi. Ancak pazarlıklarda böyle bir anlaşmaya varılamadı; Kongre Partisi İngilizler’in derhal “Hindistan’dan çıkması”nı öngören bir karar aldı ve aksi halde sivil direniş hareketinin başlatılacağı tehdidinde bulundu. İngiliz yönetimi aralarında Mohandas Gandhi ve Cavaharlal Nehru’nun da bulunduğu Kongre Partisi liderlerini tutuklayıp hapse atarak tepkisini gösterdi. Bu tutum Hindistan genelinde ayaklanmaları tetikledi. Chandra sırf alternatifin daha rahat olması nedeniyle Hindistan’ın İngiltere safında yer alması gerektiği kanısındaydı ama “çağımızın en büyük insanı” Gandhi’ye reva görülen muameleyi nefretle karşıladı.

Pearl Harbor baskını Chandra ve Lalitha’nın Princeton’da İleri Araştırmalar Enstitüsü’nü ziyaret ettiği sırada gerçekleşti. Princeton bilimcilerinden bazıları savaş çabalarına katkıda bulunuyordu ve Chandra da Maryland’deki Aberdeen Talim Sahası’nda balistik teorisi üzerine çalışan bir gruba katılarak aynı yolu izledi. Çalışma onun için ilginçti. Bir topun patlama haznesindeki yoğun ve sıcak gazlar fiziksel açıdan bir yıldızın içindeki gazlara benzer. Ama Aberdeen köylülüğün ve ırkçılığın kırsal ağırlıklı Wisconsin’i bile geride bırakacak kadar güçlü olduğu bir yerdi. Chandra karısından Güney tarzi ayrımcı tutumlara katlanmasını istemeye kalkışmadı. 1943 başlarından savaşın bittiği 1945’e kadar üç hafta Aberdeen’de, üç hafta Yerkes’te kalmak üzere sürekli mekik dokudu. “Epeyce zahmetliydi” diye anlatacaktı daha sonraları. “Ama bütün bilim camiası savaş çabalarının arkasındaydı. Vietnam örneğindeki gibi iki ayrı görüş yoktu. Ağır yüke hiç aldırış etmedim.”

Chandra 1940’larda metaforik merdivenin akademik basamaklarını tırmandı. 1942’de yardımcı profesör, 1943’te profesör oldu. Hâlâ Hint yurttaşydı ve 1944’te Kraliyet Bilim Derneği üyeliğine seçilerek bilim dünyasının elit tabakasına girdi. Daha önce yaşanan bütün olaylara rağmen, Chandra’nın Eddington’la dostluğu ciddi biçimde bozulmamıştı ve Milne’in belirttiğine göre, Eddington “büyük ölçüde Amerika’da teorik astrofiziği özendirip canlandırmadaki tavrından dolayı” Chandra’nın Kraliyet Bilim Derneği’ne seçilmesine destek vermişti.

Chandra’nın şöhreti artık Yerkes ve Chicago akademik camialarının ötesine yayılıyordu. Önde gelen Amerikalı astronom Henry Norris Russell’in Princeton’dan emekliye ayrılması üzerine, Chandra’ya onun yerine geçmek üzere araştırma profesörlüğü önerildi. Chandra önce bunu kabul etti ama her zaman yanında yer almış olan ve ikna ediciliğiyle tanınan Chicago Üniversitesi rektörü Robert Hutchins’in ona kariyerini geliştirmede Chicago’nun önünü tıkayıp tıkamadığını sormasından sonra fikrini değiştirdi. “Eğer eksik bir şey yoksa” dedi rektör, “o zaman burada kalmalısın.” Princeton’a giderek Russell’in yerine geçme onu-

runun hayal kırıklığı yaratabileceğini şöyle anlattı: “Onurlu bir mevkie geçmek-tense, insanların geçmekten onur duyacağı bir profesörlüğü geride bırakmak çok daha onurludur.” Hutchins elli yılı aşkın bir süre Glasgow Üniversitesi’nde ders verdikten sonra ayrıldığında Kelvin’in yerine geçen kişiyi hatırlayıp hatırlama-dığını Chandra’ya sorarak son noktayı koydu.

1952’de yaşanan bir dizi talihsiz olay Chandra’yı önce düşünsel, ardından coğrafi düzeyde Yerkes Gözlemevi’nden ayırdı. Sorunlar Chandra’nın Yerkes di-rektörü Bengt Stromgren’in idari yeteneklerini eleştirmesiyle başladı. Stromg-ren’le uzun yıllardan beri dost olduğu için, Chandra tavsiyelerinin kırıngılığa yol açmayacağını sanmıştı. Oysa aksi oldu ve kısa bir süre sonra Stromgren’in atadı-ğı bir komite, Chandra’nın on beş yıl uğraşarak geliştirdiği lisansüstü müfredatı-nın çizgisini değiştirdi. Bir öğretim üyeleri toplantısında, Chandra bölüm üyele-rine müfredatta değişiklikler yapmaya haklarının olduğunu belirtti ama şunun da bilinmesini istedi: “Müfredatın gözden geçirilmesinde bana bir rol verilmediği gibi, görüşüme de hiç başvurulmadığına, üniversitede astronomi bölümü dışında bir yeri seçme hakkını kendimde görüyorum.”

Chandra üniversitenin fizik bölümüne geçti ve ideal bilgin kariyer doğrultu-sundaki zorunlu bir değişiklikte gümüş astarı bir kez daha buldu. “Bir bütün ola-rak bakıldığında, 1950’lerin başlarındaki bu tecrübenin bilim hayatım açısından daha önce Eddington’la yaşadığım olay kadar ve belki de daha fazla yararlı oldu-ğu kanısındayım” diye anlatacağı Wali’ye. “Zira Yerkes’te kalmam halinde yakın temas kuramayacağım Fermi ve Gregor Wentzel gibi insanlarla bir araya gelmemi sağladı. Sam Allison’la birlikte hidromanyetizma alanına dönük bir deneysel la-boratuvar kurdum. Fizikte kuantum mekaniği, elektrodinamik gibi standart dersle-rin hepsine girdim. Chicago Üniversitesi’nde görelilik dersi veren ilk hoca oldum, ki bu da hiç kuşkusuz beni görelilik alanındaki araştırmalara yöneltti.”

Chandra’nın Yerkes’teki araştırma öğrencilerine dönük yükümlülükleri hâ-lâ vardı. Bu nedenle 1964’e kadar Lalitha’yla birlikte Williams Bay’de kalmaya devam etti ve ardından kalıcı olarak Chicago’ya taşındı. Bu taşınmadan önce fi-zik derslerinin olduğu günlerde şehre gidip geliyordu. Yerkes’teki meslektaşlarıyla ilişkileri gergindi ve daha az mesleki itibara sahip kişilere tercihi davranılma-sının yol açtığı acı düşüncelerle incindi. “İnanılmaz olgu şu ki, önceki yıllarda bana karşı kaba bir şey, yakışıksız bir şey yapıldığının farkında bile değildim” di-ye anlatacağı Wali’ye. “Ama ne yazık ki, bir noktaya kadar bu durumdan büyük ölçüde ben sorumluyum, çünkü insanlar beni olduğum gibi kabul etmeye, bana diledikleri gibi davranmaya başladılar ve ben de buna fırsat verdim.”

Genel Yayın Yönetmeni

Yerkes’te bulunduğu yıllarda Chandra çok sayıda yükün altına girdi. Bunla-rın en ağırı ve en uzun süreli Chicago Üniversitesi tarafından yayımlanan *Astrophysical Journal* dergisinin genel yayın yönetmenliği göreviydi. Önceki genel yayın yönetmeni William Morgan’la giriştiği bir münakaşadan sonra, bu iş bek-lenmedik biçimde ona düştü. Morgan istifa etti ve sekiz yıldan beri yayın kuru-

lunda yer almış olan Chandra, idari sorumlulukları üstlenecek tek kişi olarak kaldı. Gönülsüz de olsa işi kabul etti ve 1952'den 1971'e kadar on dokuz yıl boyunca sürdürdü.

Chandra dergiyi, dediğim dedik ama vicdanen hak yemeyen bir tarzda yönetti. "Adil olmak ve belirli kişilerin lehinde ya da aleyhinde önyargısız kalmak için kendisini astronomi camiasından kopardı" diye anlatır Wali. "Bu nedenle konferans ve sempozyum davetlerini -gezmesine ve insanlar arasına karışmasına vesile olacak fırsatları- geri çevirme yoluna gitti." Fermi ona, "Niçin? Ne diye böyle yapıyorsun ki?" diye sorduğunda, verecek iyi bir cevap bulamamıştı. Daha sonraları şu itirafta bulunacaktı: "Bir hataydı, şahsi hayatımı çarpıtan bir şeydi bu. Bu işi üstlendiğimde, o kadar uzun süreceğini sanmıyordum. O anda başka şansım yoktu."

Chandra'nın ehilliği ve nesnelliği her zaman takdir edilmiyordu. Kimi zaman olumsuz ama dayanaksız görüşlere itibar etmediği için hakemleri küstürüyordu. Ve de yazarların hakemler hakkında keskin kanaatleri vardı. İşte bazıları:

Bütün hakemlerin yorumlarını değersiz ya da güdümlü buluyorum.

Konuyla ilgisiz olduğu besbelli bir hakemi bilirkişi seçmişsiniz.

Hakemler alandaki gelişmeler için temel nitelikteki literatür konusunda inanılmaz bir cehalet sergilemekle kalmayarak, ehil olmaktan uzak bir değerlendirmeyi bizzat yazarlarca geliştirildiği çok iyi bilinen malzemelerle, alakasız yorumlarla ve aptalca şahsi saldırılarla şişirmeye çalışmış bulunuyorlar.

Chandra bütün bunları dikkate değer bir itidalle karşıladı ve dergi onun liderliğinde canlı bir gelişme içine girdi. Chicago Üniversitesi'nin dergilerden sorumlu genel yayın yönetmeni, Chandra'ya minnettarlığını bir mektupta şöyle ifade etmişti:

Siz entelektüel varlıkların harika bir vekilharcısınız ve bu görevi sorumlu bir biçimde yerine getirirsiniz her bakımdan, daha yüksek gelirden, daha yüksek tirajda, daha dolu sayfalarda ve bunların hepsinde beklenen düzeyin üstüne çıkmanızda görülebiliyor.

Emekliliğinizde, diğer yayın yönetmenlerine yönelik bir okulun başına geçmelisiniz!

Mucizelere Karşı Soğukluk

Chandra bir *matematiksel* fizikçiydi; Newton'u dışarıda tutmak kaydıyla, belki de bu kitapta yer alan diğer fizikçilerin hepsinden daha fazla öyleydi. Bütün fizikçiler matematikten yararlanır, ancak çok azı Chandra (ve Newton) gibi hem matematikçi hem fizikçi payesini alır. Kütleçekimi alan denklemlerine ulaşmada diferansiyel geometri matematiğini en yüksek mertebede kullanan Einstein

bile denklemlere bazı önemli çözümler getirmek için gerekli matematiksel becerilerden yoksundu. Chandra aynı işi Newton'un daha iyi yapacağına emindi.

Chandra'ya göre, matematik doğanın diliydi. "Kendisine sırlarını teslim edene kadar şahsi ve içten bir biçimde bu denklemlerle konuşurdu" diye ifade eder bunu meslektaşlarından biri. Diğer pek çok büyük fizikçiden farklı olarak, Chandra'nın fiziksel sezgiye oranla matematiksel mesaja daha fazla itimadı vardı. Eğer bir biçimde mümkünse, matematiksel dökümün berrak, eksiksiz ve kesin olması gerekirdi. Yaklaşık hesaplara yer yoktu (son çare olmadığı sürece). Sihre yer yoktu. "Mucizelere karşı soğuktu, yalnızca duruluğa ve kusursuzluğa sıcak bakardı" diye belirtir dostu Rafael Sorkin bir anısında. Başka bir meslektaşı da bunu söyle ifade eder: "Doğa'nın yeni yasalarına meraklı olmaktan çok, Chandra özgül problemlere kesin (ve genelde analitik) çözümler bulmaya çalışırdı."

Chandra bir araştırma problemine başladığında, en iyi çözümü bulmadıkça peşini bırakmazdı. Bazen ilerleme durduğunda, sempatik bir meslektaşının ilhamına ihtiyaç duyardı. En sevdiği ilham perisi Oxford teorisyenlerinden Roger Penrose'du. "Ne zaman bir engelle karşılaşsam" diye anlatmıştı bir arkadaşına, "Gider ve Roger Penrose'la buluşurum." Chandra, Chicago'da ve Penrose Oxford'da olduğu, bu buluşmalar Chandra'nın okyanus aşırı uçak yolculukları yapmasını gerektirirdi ve ziyaretler kısa sürerdi. Chandra şöyle demişti: "Problemi mi ona sunduğumda, sabahleyin bir saati birlikte geçiririz. Öğle yemeğinden sonra dört-beş saat tartışmaya vaktimiz vardır. Sonrasında, akşam yemeğinde başka şeyleri konuşuruz ve ben uçakla geriye dönerim." Penrose'un ifadesiyle bu "aydınlatıcı ziyaretler" Chandra için her zaman faydalıydı: "Onun [Penrose] fizikte ya da matematikte kuşkularımı dağıtmadığı bir örnek yoktur. Acayip bir adamdır."

Chandra yeni bir alana geçmeden önce, çalışmasında açık uçlar bırakmaktan hoşlanmazdı ama kaçınmadığı bir tane olmuştu. Eddington'un karşı çıkması ve Chandra'nın fizik topluluğunda gerek duyduğu türden bir desteği bulamaması yüzünden, Chandra beyaz cüceler teorisinin gündeme getirdiği merak uyandırıcı bir meseleye sırtını dönmek zorunda kaldı: Eğer bir yıldız son demlerini beyaz cüce olarak yaşayamayacak kadar yoğun küteleliyse, akıbeti ne olur?

Robert Oppenheimer ve öğrencisi George Volkoff, 1939'da California Teknoloji Enstitüsü teorisyenlerinden Richard Tolman'dan da biraz yardım alarak bir cevap buldular. Kütleçekimi çöküşünün elektron basınç yerine nötron basınçıyla dengelenmesi dışında beyaz cücelere benzeyen "nötron yıldızları"nın matematiksel teorisini oluşturdular. Beyaz cüceler yaklaşık olarak Dünya'nın boyutlarındayken, nötron yıldızları birkaç yüz kilometreden daha küçük çaplarıyla daha ufak ve yoğundur. Oppenheimer ve Volkoff hesaplamalarını Chandra'nın modeline göre yaptılar. Tek fark Chandra'nın baş vurabildiği Newton kütleçekimini teorisine Einstein kütleçekimi teorisini kullanmak zorunda kalmalarıydı. Chandra'nın beyaz cücelere ilişkin sonucunda olduğu gibi, sönen bir yıldızın beyaz cüceye ya da nötron yıldızına dönüşmesinde bir kütle sınırının bulunduğunu belirlediler.

Peki sonra? Oppenheimer 1939'de bu sefer öğrencisi Hartland Snyder'le birlikte yazdığı bir başka makalede, matematik dışında açık bir dille ortaya koymasa bile, iri bir yıldızın kütleçekimi açısından inanılmaz bir çöküş sonucunda, inanılmaz özgül ağırlığıyla yakınındaki her şeyi, ışığı dahi yutabilecek bir cisme dönüşebilme olasılığını örtük olarak ifade etti. Önceleri bu obur yıldız cisimlerin çoğu astrofizikçiye kafa yormaya değmeyecek kadar tuhaf geldi ama iki yılmaz teorisyen John Wheeler ve Yakov Zel'dovich 1950'lerde, Chandra ve Oppenheimer'in bırakmış olduğu yerden araştırma izlerini takibe başladılar. Wheeler'in katkılarının biri aşırı kütleçekimi çöküşü durumundaki bu uzay-zaman bölgeleri için merak uyandırıcı "kara delik" adını ortaya atması oldu.

Chandra'nın inceleme, araştırma ve yazma çevrimi 1960'lar boyunca genel görelilikle ve görelilikçi astrofizikle ilgiliydi. 1970'lerde kara delik araştırmasına geri döndü. Bu çalışmayı yaparken altmışlı yaşlarında, kariyerinin sonlarındaydı. Bir astrofizikçi olarak kariyerine başladığı temaya dönmesi, yani tam bir çevrim izlemesi hiç şüphesiz onda büyük haz uyandırdı. Oxford University Press 1983'te anıtsal kitabı *The Mathematical Theory of Black Holes*'u (Kara Deliklerin Matematiksel Teorisi) yayımladı. Aynı yıl İsveç Akademisi tarihsel hatasını anladı ve Chandra'yı en azından kısmen elli yıl önce yaptığı beyaz cüce araştırmaları için bir Nobel Ödülü'yle onurlandırdı. Çalışmanın yapıldığı zaman ile ödülün verildiği zaman arasında geçen süre bakımından bir rekor olmalı bu herhalde.

Chandra son çalışması olarak dikkate değer bir konuyu, yani Isaac Newton'u seçti. Chandra bir bilim tarihi ve biyografisi öğrencisiydi. Fizik ile astrofizik alanındaki çağdaşları arasında tanıdığı çok kişi vardı. Ama onun için bir bilimci, şimdikilerin ve öncekilerin üstünde bir yere sahipti ve o kişi Newton'du. Newton'a olan saygısını göstermek ve dehasını derinlemesine anlamaya çalışmak için, "sıradan okur için" Newton'un kütleçekimi yasasının formüle etmesinin önünü açan *Principia*'sından parçalar çevirmeye koyuldu.

Newton günümüz okurları için tamamen anlaşılmasız geometrik savları esas almıştı. Chandra bunları daha anlaşılır kılmak için, Newton'un kanıtlarını şimdinin geleneksel matematiksel dilleri olan cebir ve kalkülüsle yeniden ifade etti. İzlediği yöntem, bir önerme için önce kendi kanıtını oluşturmak ve daha sonra bunu Newton'unki ile karşılaştırmaktı. "İnsanın durulmasını sağlayan bir deneyimdi bu" diye yazar Chandra. "Her defasında Newton'un kanıtlarının zarafetine, titiz düzenlenişine, şahane üslubuna, inanılmaz özgünlüğüne ve hepsinin ötesinde şaşırtıcı aydınlığına hayran kalıyor ve her defasında kendimi hocası tarafından azarlanan bir öğrenci gibi hissediyordum."

Chandra'nın karmaşık kişiliğinin karanlık bir yönü vardı. Merdivendeki adam resmine kötümser bir tutkunlukla bağlanışından bahsetmiştim. Kendisini "bilimin yan yollarında dolanan yalnız bir gezgin" olarak nitelendirirdi. Bu loş bakış açısı birkaç etkinin sonucuydu: Doğal kültüründen ayrı yaşaması, yoğun çalışma alışkanlığı (düzenli olarak günde on üç saat çalışırdı) ve yaşamının sonlarına doğru, bypass ameliyatını gerektiren bir kalp krizinin giydirdiği ateşten gömlek. Ama "yalnız gezgin" yaptığı şeylerin karşılığını gördü. Kendi münzevi yolu-

na devam etti, çünkü karşısına nedes kesici manzaraların çıkacağını biliyordu. “Bilim Uğraşı” adlı bir denemede şöyle yazmıştı:

Bilim uğraşı çoğu kez kimi yüksek, kimi daha alçak dağlara tırmanmayla karşılaş-tırılmıştır. Ancak aramızda Everest’e tırmanmayı, gökyüzü masmavi, hava sakin-ken zirvesine erişmeyi ve havanın sükûneti içinde sonsuzluğa uzanan göz kamaştı-rıcı kar beyazlığıyla kaplı bütün Himalaya dağ sırasına göz gezdirmeyi hayalinde bi-le olsa kim umabilir? Hiçbirimiz çevremizdeki doğaya ve evrene ilişkin benzer bir görüye ulaşmayı ummamayız ama aşağıdaki vadide durup güneşin Kançencunga üzerinden doğmasını beklemenin hiçbir alçaltıcı ya da küçük düşürücü tarafı yok-tur.

Dert, Şöhret ve Servet Stephen Hawking



Oyuncak Trenler ve Kozmoloji

Doğru bir tanımla “çağımızın en dikkate değer bilim adamı”, yanlış bir tanımla ikinci Einstein (*Time* dergisine göre “belki de Einstein’ın eşiti”) olarak nitelendirilen Stephen Hawking 8 Ocak 1942’de Oxford’da doğdu. Bu tarihten tam üç yüz yıl önce 8 Ocak 1642’de Galileo Galilei ölmüş ve Aralık 1642’de Newton doğmuştu.

Hawking’lerin ilk çocuğu Stephen dünyaya geldiğinde savaş zamanıydı. Annesi Isobel, üniversite kentinin bombardımanlara karşı güvende olması nedeniyle, doğum için bir Oxford hastanesini seçmişti. (Alman Hava Kuvvetleri ve Kraliyet Hava Kuvvetleri arasında Heidelberg ve Göttingen’e karşılık Oxford ve Cambridge’in bombardıman dışında tutulması yönünde bir anlaşma vardı.) Fakat Oxford kalıcı bir sığınak değildi. Isobel ve kocası Frank, gerçekten bombardıman tehlikesi altında olan Londra’nın kuzeyindeki Highgate banliyösünde yaşıyorlardı. Yakına düşen bir Alman V-2 roketi, içindekilere olmasa bile eve zarar verdi.

Karı koca Hawking’lerin ikisi de kuzeyden, Frank Yorkshire’dan, Isobel ise Glasgow’dan gelmeydi. İkisi de Oxford’da okumakla birlikte, orada tanışmamışlardı. Frank tıp eğitimi gördü ve tropikal tıp araştırmacısı oldu. Hawking’in biyografıları Micheal White ve John Gribbin’in betimlemesiyle “hayat dolu ve dost canlısı Isobel” daha sonra aynı yerde işe başlayacak olan gelecekteki kocasıyla tıp araştırma enstitüsünde tanıştı. Buraya “gölünç denecek kadar vasıflarının gerisinde kalan” sekreterlik görevini yapmak üzere girmişti.

Stephen sekiz yaşındayken, aile Highgate'in otuz beş kilometre kadar kuzeyindeki St. Albans katedral şehrine taşındı. Hawking'ler orada, Stephen'in "biraz zarif ve kişilikli" olarak hatırladığı Victoria tarzında büyük bir ev satın aldılar. Stephen şöyle devam eder: "Annem babam burayı satın aldıklarında pek varlıklı sayılmazlardı ve taşınmamızdan önce evi oturulur hale getirmek için epeyce iş yapmaları gerekmişti. Daha sonra babam, tipik bir Yorkshire'lıdan bekleneceği gibi, tamirat için daha fazla para ödemekten kaçındı. Bunun yerine sağlam ve boyalı vaziyette kalması için elinden gelenin en iyisini yaptı ama ev büyüktü ve bu gibi konularda becerikli değildi. Neyse ki ev sağlam biçimde inşa edilmişti, bu sayede ihmali kaldırılabildi."

St. Albans ölçülerine göre Hawking'ler tuhaf bir aileydi. Frank "para tasarrufunu sağlıyorsa, görünüşe falan hiç aldırmazdı" diye yazar Stephen. Isobel savaştan önce Genç Komünist Birliği'nin üyesiydi. Frank'ın Afrika'ya uzatmalı yolcularından birinde, sürgündeki İngiliz şair ve romancı Robert Graves'in eşi olan arkadaşı Beryl Pritchard'ın yanında kalmak üzere üç küçük çocuğuyla birlikte Akdeniz adası Mayorka'ya gitti. Yıllar boyunca Hawking'ler, elli sterline mal olan külüstür bir Londra taksisini araba olarak kullandılar. Sonunda yeni bir Ford aldılar ve öğrenimini yarıda kesemeyen Stephen dışında bütün aile gidiş geliş bir yıl sürecek olan bir Hindistan gezisine çıktı.

Stephen on yaşına geldiği 1952'de, katedralle bağlantılı ve akademik düzeyi yüksek St. Albans Okulu'nda ortaöğrenime başladı. Birçok büyük fizikçinin aksine, derslerinde olağanüstü bir performans göstermedi. Kendi anlatımına göre, "sınıfta orta seviyenin üzerine hiç çıkamadı" ve "genelde sınıf içi çalışmaya ... oranla testlerde ve sınavlarda çok daha başarılıydı." Yaratıcı enerjisini tren, gemi ve uçak modelleri inşa etmeye ve gayet ayrıntılı oyunlar icat etmeye yöneltti. (Savaş oyunlarından biri, dört bin kareden oluşan bir tahta üstünde oynanıyordu.) Hawking bu oyunların ve yaptığı modellerin bir bilim adamı olarak gelişmesinin habercisi olduğu kanısındadır. "Sanırım, bu oyunların yanı sıra trenler, gemiler ve uçaklar etrafımızdaki şeylerin nasıl çalıştığını ve nasıl kontrol edilebileceğini öğrenme dürtüsünden geliyordu" diye yazar bir otobiyografik notunda. "Doktora tezime başlamamla birlikte, bu ihtiyacı kozmolojiye dönük araştırmalarım karşılar hale geldi. Eğer evrenin nasıl çalıştığını anlarsanız, bir biçimde onu kontrol edersiniz."

Hawking'in hayatında babası Frank'ın da önemli bir etkisi vardı. Bir röportajda, "Kendime onu model almıştım" diye belirtir. "Onun bilimsel bir araştırmacı olması nedeniyle, büyüdüğümde bilimsel çalışmalar yapmamın doğal bir şey olduğuna inanıyordum." Stephen'in tercihi matematik ve fizikti ama Frank yalnızca öğretmenliğe yarayacağını düşündüğü matematiği onaylamadı. Matematiğin yerini kimya aldı ve Hawking'in sınırlı matematik eğitimi, genel göreciliğin zorlu matematiğine dayanan sonraki araştırmalarında bir handicap oluşturdu. Ama daha sonraları hastalığın sıkıntılarıyla karşılaşınca ve formel matematik diliyle (yani denklemlerle) yazamaz hale gelince, her şeye yeniden başlamak ve fiziksel mesajı iletmede kendisi için en uygun yolu aramak zorunda kaldı. "Kendi

hesabıma artık denklemleri fazla önemsemiyorum” diyor şimdilerde. “Bu kısmen yazmanın benim için zor olmasından ama aslında denklemlere yönelik bir sezgisel hissimin olmamasından kaynaklanıyor. Bunun yerine resimsel terimlerle düşünüyorum.”

Düşüş

Hawking on yedi yaşına geldiği 1959’da, babasının da okuduğu University College’in bir bursuyla Oxford’a girdi. Oxford’daki fizik dersleri çok ama çok kolaydı. “O sırada Oxford’da ağır basan tutum çalışma karşıtlığıydı” diye yazar. “Zahmet girmeyecek kadar zeki olmanız ya da sınırlarınızı kabul edip dördüncü sınıf bir dereceyle yetinmeniz bekleniyordu. Daha iyi bir derece elde etmek için sıkı çalışmak Oxford sözlüğünün en kötü yaftası olan “kırçıl”lığın işareti olarak kabul ediliyordu.” Zorunlu sınavlar yalnızca finallerdi. Hawking günde ortalama bir saat çalıştığını tahmin etmektedir. Hawking’in ve diğer öğrenci arkadaşlarının karşılaştığı tahmin edilebilir sonuç can sıkıntısı ve “hiçbir şey çaba göstermeye değmez duygusuydu.”

Can sıkıntısından kurtulmanın bir yolu, Oxford’da uzun ve ciddi bir geleceğe dayanan kürek sporuydu. Hawking’in kürek çekecek kadar sağlam fiziki yoktu ama gür sesiyle ve olayları kontrol etmeye düşkünlüğüyle, sandalın kıcında oturup emirler veren ve istikameti belirleyen serdümenliğe uygundu. Koçu onun serdümenlik için yeterli olduğu ama pervasız ve olabileceği kadar kazanma azmi taşımadığı görüşündeydi.

Hawking günde bir saatlik çalışmayla Oxford’daki üç yılın sonunda kendisini birinci ve ikinci sınıf derece arasındaki sınır çizgisinde buldu. Son kararı verecek olan sınav gözlemcileriyle yaptığı bir görüşmede, araştırma yapmak istediğini söyledi. Eğer birinci sınıf derece verirlerse Cambridge’e gidecek, ikinci sınıf derece verirlerse Oxford’da kalacaktı. Derecesi birinci sınıf oldu.

Hawking Cambridge’de kariyerine teorik astrofizikçi ve kozmolog olarak başladı. Niyeti o sırada Britanya’nın en tanınmış kozmologu Fred Hoyle’un yanında doktora çalışmasını yapmaktı. Onun yerine daha önce adını hiç duymadığı Dennis Sciama’nın yanına verildi. Önceleri meşhur Hoyle’dan ders alamamaktan dolayı güceniklik duydu ama zamanla Sciama’nın öğrencileri için yarattığı arkadaşça ve özendirici ortamı takdir etmeye başladı. California Teknoloji Enstitüsü astrofizikçilerinden ve Hawking’in çağdaşı Kip Thorne, Sciama’nın araştırma öğrencileriyle bencillikten uzak ilişkisini şöyle anlatır: “Sciama’ya yön veren şey, evrenin nasıl oluştuğunu bilmek gibi umarsız bir arzuydu. Kendisi bu itkiyi bir tür metafiziksel hiddet diye tanımlıyordu. Evren o kadar çılgın, acayip ve fantastik görünüyordu ki, onunla başa çıkmanın tek yolu onu anlamaya çalışmaktı ve onu anlamının en iyi yolu da öğrencilerden geçiyordu. Öğrencilerine en çetin problemleri çözdürerek, bunlarla uğraşmanın getireceği zaman kaybı olmaksızın, konudan konuya daha çabuk geçebiliyordu.”

Sciama’ya ve onun yetenekli öğrenci topluluğuna katılmasından kısa bir süre sonra, Hawking, amyotrofik lateral skleroz (ALS), Lou Gehrig hastalığı (ABD’de) ya da motor nöron hastalığı (Britanya’da) adlarıyla bilinen tedavi edilmez bir be-

densel bozukluğa yakalandığını öğrenerek sarsıldı. Bu hastalık istemli kas çalışmasını kontrol eden sinir hücrelerini tahrip eder. Düşünce ve bellek süreçlerinin etkilenmemesine karşın, vücut genelinde kasların erimesi sonunda genel felce yol açar. Teşhisi koyan doktor acımasız bir tahminle Hawking'e iki yıllık ömrünün kaldığını bildirdi ve "işin içinden sıyrılıp çıkma" yolunu tuttu. "Aslında babam doktorum oldu ve tavsiye için ona başvurdum" diye belirtir Hawking.

Hawking'in hastalığa ilk tepkisi en doğal olanıydı: Derin depresyon. Çok şükür, alkolün ve uyuşturucunun pençesine düşmedi. Sığınağı yalnızlık ve Wagner'in gök gürültüsünü andıran opera müziği oldu. Bitirecek zamanı bulamayacağı için, doktora programını sürdürmesinin bir anlamı kalmadığını düşündü. Ama haline yanıp kendini koyuvermeye de hiç niyeti yoktu. Testler için hastanede bulunduğu sırada, bir oğlanın lösemiden ölüşüne tanık oldu. "Hiç de hoş bir görüntü değildi" diye anlatacaktı daha sonraları. "Benden daha berbat durumda insanların bulunduğu apaçık ortadaydı. ... Ne zaman kendime acıyıp üzülmeye eğilimine girsem, o çocuğu hatırlarım."

Diriliş

Hawking kısmen kendi irade gücüyle ve azmiyle, kısmen de başkalarının yardımıyla depresyondan kurtuldu. Bu desteği verenlerin başında yine St. Albans'ta yaşayan ve daha sonra Hawking'le nişanlanan Jane Wilde adlı olağanüstü genç kadın geliyordu. İkili Hawking'de ALS semptomlarının belirmesinden kısa bir süre sonra 1963'te bir partide tanışmışlardı. Jane onun kimi zaman takındığı küstah tavırdan hoşlanmadı ama "dünyadan bir kopmuşluk vardı onda, başına kendi iradesi dışında bir şeylerin geldiğinin farkındaydı." Arkadaşlıkları gelişti ve nişanlandılar. Beraberlikleri aşka ve Stephen'in durumundan dolayı ciddi bir amaç duygusuna dayanıyordu. "Hayattaki varlığım için bir amaç bulma peşindeydim" diye açıklar Jane. "Sanırım bunu onun bakımını üstlenme düşüncesinde buldum. Ama birbirimize de âşıktık."

Hawking ise kendi açısından, hayatına Jane'in girmemesi halinde hastalığın onu kısa sürede yok etmiş olacağını teslim eder. İşte bir röportajda söyledikleri: "Onsuz kesinlikle hastalığın üstesinden gelemedim. Onunla nişanlanmak beni içinde bulunduğum umutsuzluk batağından çekip çıkardı. Evleneceğimize göre, bir iş bulmalı ve doktora tezimi bitirmeliydim. Sıkı çalışmaya ve bundan keyif almaya başladım. Durumum gittikçe kötüleşirken, Jane tek başına bana baktı. O aşamada hiç kimse bize yardım eli uzatmadı."

Hawking 1965 yazında doktora tezini tamamladı ve Cambridge'e bağlı Gonville-Caius College'da (yaygın kısaltılmış adıyla Caius'ta) teorik fizik dalında bir araştırma bursu kazandı. İkili nişanlı Temmuz 1965'te evlendi. White ve Gribbin nikâh fotoğrafını şöyle betimler: "Hawking kameraya gururlu bir ifadeyle, köklü azmini ve hırslını yansıtan dimdik gözlerle bakar. 'Bu daha işin başlangıcı' der gibi bir duruştur bu. Jane kendine özgü daha yumuşak tavrıyla, aynı ölçüde kendinden emin ve mutlu bir biçimde objektife gülümser. Bu işi başaracaklarını ve her türlü aksiliği aşacaklarını anlatır bir hali vardır."

Hawking'e Cambridge Uygulamalı Matematik ve Teorik Fizik Bölümü'nde bir oda verilmişti. Gittikçe takatten düşen Hawking'in kendi başına üniversiteye gidip gelebilmesi için, çiftin yakınlarda oturacak bir yer bulması şarttı. Bu durum bir müşkül çıkardı. Özellikle Hawking'in burs için ödenen parayı sorarak okul muhasebecisini gücendirmesi işleri daha da bozdu. Sonunda sıkıntılı durumlarını fark eden bir kadının yardımıyla, güzel manzaraya sahip Little St. Mary's Lane adlı sokakta küçük, eski, ama ideal konumlu bir ev buldular. Hawking'in meslektaşlarından Brandon Carter, burayı yakın dostların yemek pişirme ve temizlik işlerinde yardıma hazır olduğu şirin ve sevimli bir yer olarak betimler. Mahler ve Wagner müziği ortama eşlik eden unsurdu. Böylece Hawking'ler bu son derece normal çerçevede evlilik hayatına başladılar. İlk çocukları Robert 1967'de doğdu.

En Kusursuz Cisimler

Hawking'in ilk araştırma projesi kara deliklere, Chandrasekhar'ın "evrendeki en kusursuz makroskobik cisimler" olarak nitelendirdiği şu şaşırtıcı yıldız cisimlere dönüktü. Büyüklükleri ne olursa olsun, "bunların yapısındaki unsurlar yalnızca uzay ve zaman kavramlarımızdır." Tipik bir kara delik, on güneş kütesine eşdeğer bir kütle ve yalnızca on-on beş kilometrelik yarıçapa sahip olabilir. Şimdi astrofizikçiler galaksimizde bu türden milyonlarca kara delik bulunduğunu tahmin ediyorlar. Galaksimizin ve başka galaksilerin çekirdeğinde besbelli ki devasa kara delikler var; bunlardan bazılarının çapı güneş sistemimizin çapı kadar, kütlesi de güneş kütlelerinin birkaç milyar katına eşdeğer düzeyde. Teorisyenler ayrıca kozmosun bir atom büyüklüğüne ve bir dağ kütesine sahip çok sayıda minyatür kara delikle dolu olduğunu tahmin ediyorlar.

Bu çeşitliliğe rağmen, kara delikler evrendeki en basit cisimler arasındadır. Bir kara delik, güneş sistemi kadar büyük, atom kadar küçük veya ikisinin arasında bir boyutta olabilir. Davranışı yalnızca kütesine ve spin hızına bağlıdır (ayrıca elektrik yükü de eklenebilir ama bu genellikle görece küçüktür). Çoğunlukla makroskobik boyutta olsalar da, kara delikler fiziksel açıdan aynı biçimde kütle, spin ve yüke göre ayırt edilen temel parçacıklar gibi standart yapı taşırlar. Gezegenler kayalardan ya da yıldızlar gibi sıcak gazlardan oluşmamıştır. Hawking'in çağdaşlarından ve Sciama'nın eski öğrencilerinden Martin Rees'in belirttiği gibi, "bizzat uzayın dokusundan oluşmuşlardır." Chandrasekhar'ı büyüleyen şey işte bu temel yalınlıktı.

Bir noktaya kadar kara delik teorisi, delik içindeki kütleçekimi aşırılığını açıklaması açısından Einstein'ın genel görelilik teorisini esas alır. Buna göre, delikteki kütleçekimi alanı öylesine güçlüdür ki, ışık dahil her türlü şey "olay ufku" denen belli bir kritik yarıçapı geçtiğinde deliğin içine düşer ve sonsuza kadar kaybolur. Bir uzay gemisi gerekli dikkat gösterilirse olay ufkunun hemen dışında güvenle yörüngeye girebilir ama kara deliğin iç kısmı keşfe uygun değildir. Olay ufkunun altına geçmeye kalkışan gözü kara bir astronot asla kurtulamaz ve gözlemlerini dışarıya iletme olanağını bile bulamaz, çünkü ışık ve başka türde her sinyal deliğin içinde hapis kalır.

Genel görelilik, deliğin merkezindeki fiziksel durum dışında kara deliklerle ilgili öğrenmek istediğimiz her şeyi anlatır bize. Görelilik teorisi orada özgül ağırlığın ve uzay-zaman eğrisinin sonsuz olduğu “tekillik” diye bir noktanın varolduğunu öngörür. Ama sonsuzluklar geçerli sayılar olmadıkları ve teorinin işleyişinde bir kusura işaret etme olasılıkları yüksek olduğu için, teorik fizikçiler arasında rağbet görmez.

Hawking ve Roger Penrose (Chandrasekhar’ın ilham perisi) 1965’ten 1970’e kadar uzanan dönemde kimi zaman birlikte çalışarak, kara delik tekillikleri problemini tanımladılar. İkisinin çalışması iyi bir ekip sayılabilir. Hawking’in derin bir fiziksel sezgisi, Penrose’un ise genel görelilik matematiği açısından Hawking’de bulunmayan bir ustalığı vardır. Penrose probleme dönük bir çözüm olarak, “koz-mik sansür” ilkesini önerdi. Buna göre kara delik tekilliği “sansür edilmiştir”, çünkü olay ufku tarafından dışarıdaki gözlemcilere karşı, Hawking’in ifadesiyle “edebince örtülmüştür.” Sansürsüz, “çıplak” tekilliklere bakmak yasaktır.

Kara delikler teorisi 1960’larda, daha varlıklarına ilişkin herhangi bir gözlem bildirilmeden önce, Hawking, Penrose ve başkaları tarafından sağlam temele oturtuldu. Derken 1970’lerin başlarında Kuğu takımyıldızında yer alan ve x ışını salan Kuğu X-1 adlı cismin iri bir yıldızla eşleşmiş bir kara delik olduğu görüşü görüşü ortaya atıldı. Kara deliğin yıldızdan gaz çektiği ve yıldızı ısıtarak x ışınları salacak noktaya getirdiği varsayıldı. (Kara deliğin yoğun kütleçekimi alanına düşen gaz, kütleçekimi enerjisini kaybediyor ve aynı zamanda ısı enerjisi kazandığı için daha sıcak hale geliyordu.)

Hawking ve diğer astrofizikçiler 1974’te, Kuğu X-1’in aslında bir kara delikle bağlantılı olduğuna yüzde 80 emindi. Hawking bir “sigorta poliçesi” niyetine, California Teknoloji Enstitüsü’ndeki meslektaşı Kip Thorne’la, Kuğu X-1’in bir kara delik barındırmadığı üzerine bahse girdi. Bahsi kaybetmesi halinde, Hawking’in “sigortası” *Private Eye* adlı İngiliz dergisine dört yıllık bir abonelikti. Thorne ise bahsi kazandığında *Penthouse* dergisinin bir yıllık aboneliğini elde edecekti. 1990’a gelindiğinde, Kuğu X-1 kara deliğine güven yaklaşık yüzde 95 oranına yükselmışti ve Hawking sevinçle bahis bedelini ödedi.

Hawking’in astrofiziğe en çok bilinen katkısı, kara deliklerin karalığıyla birazcık çelişen bir teoridir. “Kara delikler o kadar kara değildir” diye belirtir bunu Hawking. Kara deliklerin etrafa karalıklarını yaymalarını sağlayan mekanizma, Dirac’la birlikte ortaya çıkan ve elektronların pozitron adlı anti-elektron karşılıklarının bulunduğunu öngören anlayışa dayanır. Bir elektron bir pozitronla buluştuğunda, bunlar birbirlerini yok eder ve gamma ışınları fotonlar üretilir. Bunun tersi bir süreç, yani uygun bir enerji kaynağından elde edilmiş gamma ışınları fotonun bir elektron-pozitron çifti üretmesi de mümkündür.

Kuantum teorisi ikinci sürecin bir başka versiyonuna, fizikçilerin tuhaf anlamında “sezgiye aykırı” diye nitelendirmekten hoşlandığı duruma olanak verir. Elektron-pozitron çifti üretmeye yönelik enerji bir vakumun boş uzayından “ödünc” alınabilir. Yeter ki bunu enerji “borcunu” ödeyecek bir elektron-pozitron yığaltımı izlesin. Bir e^- elektronu ile bir e^+ pozitronunun bu gelişim çizgisi önce

$$\text{enerji} \rightarrow e^- + e^+$$

biçimindeki çift üretimi ve hemen ardından şu çift yoğaltımıdır:

$$e^- + e^+ \rightarrow \text{enerji}$$

Heisenberg'in belirsizlik ilkesi bunun nasıl olabileceğini ayrıntılı olarak gösterir ve elektron ile pozitronun bir yoğaltımda ortadan kalkmadan önce ne kadar süreyle var olduğunu hesaplamaya olanak verir. Her türlü parçacık ve anti-parçacık çifti için benzer bir hikâye anlatılabilir. Bu çift üretimi ve çift yoğaltımı eşleşmesinde yer alan parçacıklar ve anti-parçacıklar “sanal” olarak nitelendirilir, çünkü bir parçacık detektörüyle doğrudan gözlemlenemezler.

Hawking'in fikri, bir kara delik civarında üretilmeleri halinde, bir sanal çift mensuplarının gerçek haline gelebileceği ve birisinin gözlemlenebileceği yönündeydi. Çiftten biri deliğe yakalanarak gerçek bir parçacık ya da anti-parçacık haline gelirken, yine gerçek olan diğeri kaçabilir ve salınmış radyasyon olarak görülebilirdi. Bu salımlar medya geldiği ölçüde, kutup kelimesinin gerçek anlamında kara değildir. Parçacık ve anti-parçacık çiftini yaratmak için enerjiye gerek vardır, bu enerji de kara deliğin kütleçekimi alanından gelir. Alanın enerjisi azaldıkça, delik boyut olarak küçülür ve sonunda muhtemelen milyonlarca hidrojen bombası gücünde devasa bir patlamayla yok olup gider.

Ama kara delikler yine de neredeyse karardır. “Hawking radyasyonu” denen kara delik radyasyonu salımı çok etkisiz, yavaş bir süreçtir. Güneş kütleline sahip bir kara deliğin bütün kütlelerinin uçup gitmesi için gereken süre Hawking'in teorisine göre 10^{65} yıldır. Gözlemlediğimiz haliyle evrenin yaşı ise bunun hayli gerisinde kalan bir düzeyle, kabaca 10^{10} yıldır.

Başlangıç ve Son

Eğer gerçekten bir başlangıcı varsa, dünya nasıl başlamıştı? Eğer gerçekten bir sonu varsa, dünya nasıl sona erecek? İlahiyatçıların, filozofların ve diğer düşünürlerin binlerce yıldır üzerinde durduğu sorulardır bunlar. Ama uygulayıcılarının kozmik tarih teorileri geliştirmelerine elverecek saygın bir bilimsel araştırma alanı ancak 20. yüzyılda ortaya çıktı. Bu kişilere kozmolog denir, uğraştıkları alan kozmoloji, araçları ise genel görelilik, kuantum teorisi ve astronomların sağladığı gözlem verileridir.

Çağımızın ilk ve en tanınmış kozmologlarından biri, Cambridge'de Eddington'un yerine geçen Fred Hoyle'dur. Hoyle 1940'ların sonlarında, İngiltere'de yaşayan Avusturyalı iki kozmolog Hermann Bondi ve Thomas Gold'la birlikte, başlangıcı ve sonu olmayan bir “kararlı durum” evreni görüşünü savundu. Hoyle'un versiyonuna göre, sonsuz bir “yaratım alanı”nın çoğunlukla hidrojen olmak üzere kendiliğinden ürettiği madde, evrenin genişlemesini dengeliyor ve sabit bir özgül ağırlığı koruyordu. Ancak bu sürekli yaratım süreci teoriye özel gerekler yüklüyor-

du. Kararlı durum teorisyenlerinin asla doyurucu karşılıklar bulamadığı gereklerdi bunlar.

Kararlı durum kozmolojisi, günümüzde başlıca rakibi büyük patlama (*big bang*) teorisinin karşısında sönük konuma inmiştir. Büyük patlama teorisyenlerine göre, evrenin son derece küçük ve yoğun bir ilk durumdan oluşan bir başlangıcı vardır. Evren bu mikroskobik başlangıçtaki bir patlamaya genişlemiştir ve sonraki gelişim çizgisi patlamaya eşlik eden fiziksel olaylarla anlatılabilir. ("Büyük patlama" terimini önce Hoyle, muarızlarına yönelik bir eleştiride alaycı bir tavırla kullanmıştı.)

Büyük patlama teorisinin esaslarından bazıları Hoyle'un çalışmalarından çok önce, 1922'de Aleksandr Friedmann adlı parlak bir genç Rus teorisyen tarafından ortaya kondu. Friedmann ortalama olarak tekdüze olduğunu varsaydığı evrene, Einstein'ın kütleçekimi alan denklemlerini uygulayarak dinamik evren modelleri oluşturdu. Bu modellerin birinde, kendi ifadesiyle "dünyanın yaratılışı" bir noktada meydana geliyor ve sonraki genişleme şimdiki yaşına ve büyüklüğüne varmasını sağlıyordu.

Friedmann'ı modelleri matematik üzerine kuruluydu ve genişleme senaryosu ortalıkta dolaşanlardan yalnızca biriydi. Belçikalı fizikçi, astronom ve rahip Georges Lemaître de genişleme modelini açık seçik savunan kişiler arasındaydı. Geliştirdiği "havai fişek teorisi"ni 1930'larda ortaya attı. "İlk başta evrenin kütleli" diye yazdı, "herhalde benzersiz bir atom biçimindeydi. Evrenin yarıçapı tam tamına sıfır olmasa bile görece küçüktü. Bütün evren bu ilk atomun dağılıp atom yıldızlarına dönüşmesiyle ortaya çıktı." Daha sonra bu yıldızlar olağan maddeye ve kozmik radyasyona dönüştü. Günümüzde gördüğümüz şey "parlak ama çok hızlı havai fişeklerin külleri ve dumanlarıdır."

Aşağı yukarı Hoyle'un kararlı durum teorisini geliştirdiği sıralarda, bir başka kozmolog sahneye çıktı. Bir Rus göçmeni olan (ve kısa bir süre Friedmann'ın öğrencileri arasında yer alan) George Gamow adlı bu kişi, Göttingen, Kopenhag ve Cambridge duraklarından sonra ABD'ye yerleşti. Çok sayıdaki uzmanlık alanlarından biri de nükleer fizikti. Kendi kozmolojisini daha önce Friedmann ve Lemaître tarafından geliştirilmiş modellere nükleer süreçler ekleyerek kurdu. Büyük patlamanın nötronlardan, protonlardan, elektronlardan ve yüksek enerjili bir radyasyon denizinden oluşan ve "ylem" adını verdiği bir ezeli durumda ortaya çıktığı kanısındaydı. Gamow ve çalışma arkadaşı Ralph Alpher, *Physical Review* dergisine gönderdikleri ünlü bir mektupta, evrenin genişlemesiyle birlikte bu nükleer bileşenlerin olağan madde atomlarının yapısını oluşturduğunu ileri sürdüler. (Gamow, *Physical Review* makalesine bu işte pek katkısı olmayan Hans Bethe'nin adını ekleme, böylece yazar adlarının Alpher, Bethe ve Gamow halini almasını sağlama gibi ilginç bir dürtüye kapılmaktan kendini alamadı. Birlikte çalıştığı bir başka kişi olan Robert Herman'ın soyadını Delter olarak değiştirme girişimlerinden ise sonuç alamadı.)

Gamow modelinin kronolojisi erken bir aşamada evrendeki maddenin radyasyonla etkileşiminin kesildiğini ve ondan sonra radyasyonun bir kozmik arka-

plan radyasyon alanı olarak kaldığını öngörmektedir. Gamow'a göre bu alanın mutlak ölçekte yaklaşık 5 (Celsius ölçeğine göre -268) derecelik çok düşük sıcaklığa eşdeğer kara cisim ya da ısı radyasyonunun karakteristik özelliklerini taşıması gerekirdi. Onun bu öngörüsünden on dört yıl sonra, New Jersey'nin Holmdel şehrindeki Bell Laboratuvarları için çalışan Arno Penzias ve Robert Wilson kozmik arka-plan radyasyonunu gözlemlədiler. Eşdeğer sıcaklığın 3,5 derece, yani Gamow'un tahminine kayda değer yakınlıkta olduğunu saptadılar. Bell bilimcileri bu gözlemlerinin kozmolojik anlamını geliştirmeye girişmediler, bu işi Princeton'da aynı gözlemleri yapmaya hazırlanan ve aralarında Robert Dicke ile James Peebles'in da yer aldığı bir grup yaptı. Daha yakın dönemdeki bir çalışmada, bir uydunun taşıdığı aletlerle kozmik arka-plan radyasyonu dikkatli bir biçimde gözlemlenmiştir. Kara cisim özellikleri büyük bir kesinlikle doğrulanmış ve 2,735 derecelik bir eşdeğer sıcaklık ölçülmüştür.

Modern kozmoloji tarihçilerinden Helge Kragh, "1960'ların ortaları kozmolojide bir eşik oldu" diye yazar. "Bunu sağlayan şey yalnızca yeni gözlem sonuçları değil, aynı zamanda genel görelilik alanındaki teorik yeniliklerdi." Bu teorik gelişmelerin merkezinde tekillik problemi yer almaktaydı. 1965'te Roger Penrose genel görelilik ilkeleri uyarınca bir iri yıldızdaki kütleçekimi çöküşünün kaçınılmaz olarak kara deliğe özgü tekil uzay-zaman noktasıyla son bulduğunu kanıtlamak için yeni matematiksel metotları kullandı. İzleyen beş yıl içinde Penrose, Hawking ve başkalarının yürüttüğü çalışmalar görkemli bir kozmoloji teoremini doğurdu. Buna göre genel göreliliğin yön verdiği bir evren uzay-zaman tekillliği, içinde bir kara deliğin sona erdiği yerde başlar.

Bu vargı kozmologları bir başka çetin problemle karşı karşıya getirdi. Daha önce kara delik teorisinde olduğu gibi, açığa çıkmış bir tekillik sindirilecek gibi değildi. Bu nedenle genel göreliliğin anlattığı haliyle evrenin hikâyesi eksikti. Bir tekillüğün etrafına sarılmış olan başlangıçtaki olaylara ilişkin kabul edilebilir bir açıklama getiremiyordu. Bir bakıma teorisyenler, evrenin doğduğu mikroskobik dünyaya ilişkin resimde bazı değişiklikler yapmak zorundaydı. Bu dünyada atomunkinden bile çok daha küçük bir ölçek söz konusu olduğu için, kuantum teorisinin metotlarına başvurmak ve bunları genel görelilik tarafından zaten sunulmuş olan kütleçekimi teorisıyla birleştirmek gerektiği açıktı. Kısacası, "kuantum yerçekimi"ne ilişkin birleşik bir teoriye ihtiyaç vardı. Fizikçiler uzun yıllardan beri bu birleşik teoriyi oluşturmaya çalışıyorlar ve şimdiye kadar tam başarıya ulaşılabilmiş değil.

Hawking kuantum-yerçekimi bütünleşmesine dönük arayışın liderlerinden biri oldu ve hâlâ da öyledir. Richard Feynman'ın geliştirdiği ve bir olayın gerçekte izlediği yolu hesaplamak için, her biri farklı bir evreyle belirlenen bütün olası yolları toplamaya dayanan kuantum mekaniği versiyonunun kullanılmasını savunmaktadır. Ayrıca teknik olarak "hayali" denen bir soyut matematiksel özdeşlik vererek zaman boyutunu özel bir yaklaşımla ele almaya yer vermektedir. Görünürde henüz verilebilecek bir muştı yok ama kendisini "doğuştan iyimser" olarak nitelendiren Hawking, başarılı bir birleşik teoriyi "21. yüzyılın sonuna doğru ve büyük olasılıkla çok daha erken" göreceğimize inanıyor. Bu işin "şimdiden

[1998'den] başlayarak yirmi yıl içinde olacağına yarı yarıya şans vermeye" hazır olduğunu belirtiyor.

Popüler Bir Kitap

Tıbbi masrafların ve çocukların okul harçlarının göz korkutucu boyutlara varması üzerine, Hawking 1982'de "evren üzerine" kısa bir kitap yazmaya karar verdi. Bunu popüler okur kitlesi için yazacaktı. Umudu başka bakımlardan da popüler olmasıydı. Öyle de oldu, daha önce hiçbir bilim kitabının erişemediği bir satış düzeyine varıldı.

Hawking kitabı önce Cambridge University Press'in başındaki Simon Mitton'a önerdi ve telif hakkı olarak yüklü bir avans beklediğini açık seçik belirtti. Daha önce Hawking'le birlikte çalışmış ve ona kozmoloji üzerine popüler bir kitap yazmasını telkin etmiş olan Mitton cömert davrandı: Başka yazarlarla pazarlıkları geride bırakan bir meblağla on bin sterlin avans teklif etti.

Ne var ki, Hawking'in aklından geçen tutar bu değildi. Dennis Sciama ona kitabı Cambridge University Press'e verme niyetinde olup olmadığını sorduğunda, verdiği cevap şu oldu: "A, yok. Bundan biraz para kazanmak istiyorum." Düşündüğü parayı New Yorklu bir edebiyat ajanı olan Al Zuckerman aracılığıyla buldu. Hawking'in konusu kozmolojinin potansiyelini gören Zuckerman, onun ALS hastalığıyla yirmi yıllık mücadelesinin insanlar için ilginç bir hikâye olarak da tutacağını farkındaydı. Hawking kitaba ilişkin bir taslak hazırladı ve Zuckerman teklifler almak üzere bunu ilgili yayımcılara gönderdi. Pey sürmede iki yayınevi, Bantam Books ve W. W. Norton öne çıktı. (Norton o sırada Feynman'ın, *Surely You're Joking, Mr. Feynman* kitabını yayımlamak üzereydi) Bantam 250 bin dolar avansı ve elverişli telif hakkı hükümlerini içeren emsali görülmemiş bir teklifle çekişmeyi kazandı.

Hawking'le birlikte kitap üzerine çalışacak Bantam editörü Peter Guzzardi'ydi. Gerek Guzzardi gerek Hawking işin içine gölge yazarlığın girmemesi konusunda kararlıydı. Ancak Hawking'in konudan habersiz okurlarla nasıl iletişim kurulacağına dair alması gereken bazı dersler vardı. Bunu öğretmeyi de Guzzardi üstlendi. Metnin ilerlemesiyle birlikte, editör okuduğu şeyleri anlamadığını defalarca bildirmek zorunda kaldı: Acaba Hawking bunu genişletip açıklığa kavuşturabilir miydi? Hawking için yorucu bir dönem oldu bu. Zuckerman'ın tahminine göre, Hawking yazdığı her sayfa için editör görüşlerini içeren iki ya da üç sayfa almıştı. Hawking kitabın teşekkür bölümünde, "[Guzzardi'nin] düzgün açıklamadığım kanısına vardığı hususlara dair yorumlarının ve sorularının sayfalarca sürmesi"nden söz eder. "Şunu itiraf etmeliyim ki" diye devam eder, "değiştirilmesi şeylere ilişkin kısa listesini aldığımdaya hayli rahatsız oldum ama tamamen haklıydı o. Beni böylesine çalışmaya koşturması sayesinde daha iyi bir kitabın ortaya çıktığına eminim."

Hawking'in kırılğan hayatı ve kitap projesi 1985 yazında son bulmanın eşğinden döndü. Hawking araştırmalar yapmak ve kitap yazma işini bitirmek üzere bir süre Cenevre'deki Avrupa nükleer araştırma merkezinde (CERN) kalırken, Jane de Almanya'da bir geziye çıkmıştı. Bir geze ansızın Hawking'in hemşiresi

onu bir zatürree atağının yol açtığı nefes borusu tıkanması yüzünden boğulmak üzereyken buldu. Bir televizyon programından dolayı tesadüfen Hawking'in durumundan haberdar olan Cenevreli bir doktorun çabuk müdahalesi fizikçinin hayatını kurtardı. Jane alelacele çağrıldı ve Hawking'in uzun süre hayatta kalması için tek umudun trakeotomi olduğunu belirten doktorlara rıza verdi. Nefes borusunun kesilmesine ve bir soluklanma cihazının takılmasına dayanan bu radikal ameliyat, Hawking'in tekrar nefes almasını sağladı ama ses tellerini kullanmada zaten sınırlı düzeye inmiş yeteneğinden de yoksun kalmasını getirdi.

Ameliyattan birkaç hafta sonra, Hawking yeniden Cambridge'deki evindeydi. Tıbbi bakım giderleri artık güçlerini aşacak düzeye vardığı için, Jane vakıflara ve hayır kurumlarına başvurmak zorunda kaldı. Girişken ve direşken çabalarıyla sonunda gerekli parayı toplamayı başardı. Aynı sıralarda bir California bilgisayar programları şirketinin sağladığı bir programla Hawking'in ses problemi çözüldü. Bu program Hawking'in hafif el hareketleriyle kelimeleri seçerek cümleler kurmasını sağlıyor. Ortaya çıkan cümle daha sonra bir elektronik klavyeyle (garip bir aksan taşıyan) seslere dönüştürülüyor.

Maddi ve tıbbi problemlerinin tekrar kontrol altına alınmasından sonra, Hawking araştırmalarına ve bitmek üzere olan kitabına döndü. Kitap için belirlenen ad *A Brief History of Time (Zamanın Kısa Tarihi)*, açıklayıcı alt başlık ise *From the Big Bang to Black Holes*'tu (Büyük Patlamadan Kara Deliklere). Daha önce söz verildiği gibi, kitapta modern kozmolojinin bir dökümü sunuluyor, gerekli yerlerde kuantum teorisine, görelilik teorisine ve parçacık fiziğine ilişkin arka-plan bilgileri veriliyordu. Kitap hiç de hak etmediği halde, okunamaz olduğu yolunda bir şöhret kazanmış durumda. Kitabı alan birçok insanın birkaç sayfadan daha fazla okumaması pek şaşırtıcı değildir. Konu gelişigüzel okumaya elverişli değildir. Bununla birlikte derin uzayın ve zamanın olaylarına kafa yoracak sabra ve düşünsel meraka sahip okurlar için anlaşılır bir kitaptır bu. Kozmoloji üzerine popüler kitaplar yazan bir düzine kadar başka seçkin fizikçi de vardır. Hawking'in kitabı en iyiler arasındadır.

Zamanın Kısa Tarihi, okunur olsun ya da olmasın, en iyimser beklentilerin ötesine varan bir satışa ulaştı. Kısa sürede *New York Times*'in en çok satan kitaplar listesine girdi ve bir yıl boyunca orada kaldı. Britanya'daki satışlar *London Times*'in en çok satan kitaplar listesinde neredeyse dört yıl kalmasını sağladı. Bu şaşırtıcı başarı uzmanları hayrete düşürdü. Bir "kült kitabı" yakıştırmalarını ortaya attılar ve yayımcıyı Hawking'in özüllü oluşunu sömürmekle suçladılar. Bir köşe yazarı "[kitabın maddi açıdan başarısı konusunda] tam inandırıcı bir açıklama sunabilen her okura" vermek üzere 14,99 sterlin (kitabın fiyatı) tutarında bir ödül ortaya koydu. Hawking'in annesi Isobel herhalde ödülü kazanmasını gerektirecek şöyle bir cevap yazdı:

Kitap iyi yazılmış, bu da okunmasını keyif verici hale getiriyor. Zor olan şey dil değil, fikirler. Tımturaklı olmaktan tamamen uzak, yazar hiçbir yerde okura yüksek perdeden seslenmiyor. Fikirlerinin konuya ilgi duyan herkes için anlaşılır olduğu-

na inanıyor. Kitap tartışmaya açık, birçok insan yazarın vardığı sonuçlara şu ya da bu düzeyde karşı ama kitap düşünmeyi kamçılıyor.

Yazarın hastalıkla mücadelesi kitabın popülaritesine elbette katkıda bulunmuştur ama Stephen daha kitap düşüncesi ortada yokken bile epey mesafe almış olan biri. Akademik payelerini ve diğer nişanlarını motor nöron hastalığı yüzünden almadı o.

Köşe yazarına gönderilen bir başka mektupta, bir ebeveyn kitabın özüne inemeyen okurların (köşe yazarı da dahil olmak üzere) eğitimlerindeki bazı temel eksiklikleri onarması gerektiği görüşünü dile getiriyordu: “*Zamanın Kısa Tarihi*’nin satın alanlardan yalnızca birkaçının bu eseri anlayabildiği düşüncenizde hatalısınız. Böyle bir problemi olanlar ... yalnızca sınırlı bir eğitim görmüş olanlardır. A seviyesinde fizik okuyan 17 yaşındaki oğlum, kitabı kolay anlaşılır buldu ve Stephen Hawking’in daha kapsamlı bir derinlikte yazmış olmasını dilemekten de geri kalmadı.”

Ruhen Normal

Hawking’in biyografıları onun “bilim süper starlığına” ulaştığını belirtirken hiç de abartmıyorlar. Şu anda yaşayan bilimcilerin en meşhuru o herhalde. Aldığı nişan ve ödüllerin listesi sayfaları doldurur. Cambridge’de bir zamanlar Newton’un bulunduğu is Lucas Kürsüsü’nün profesörü. İlki 1981’de, ikincisi 1989’de olmak üzere iki kez soyluluk unvanı almış olan biri. Londra’daki Ulusal Portre Galerisi’nde portresi asılı duruyor ve çeşitli televizyon belgesellerine konu olmuş durumda. Konferanslarında dinleyiciler salonlardan taşıyor; California Teknoloji Enstitüsü’ndeki resepsiyonunda 1930’lardaki Einstein’a benzetilmişti. Beyaz Saray’ı ziyaret etti ve Başkan Clinton’la sohbet etti. Kısacası, oldukça kuşkucu bir gözlemcinin ifadesiyle bir “olay” haline gelmiş bulunuyor.

Ama bütün bu şöhrete ve servete rağmen, belki de bunun yüzünden, Hawking serüveninin önemli bir açıdan başarısızlığa uğradığını görmekteyiz. Bu serüvende baş rolde bulunan karı ve koca yirmi beş yıllık evlilikten sonra ayrıldılar. Stephen 1990’da Jane’i terk ederek, hemşirelerinden Elaine Mason’la birlikte yaşamaya başladı. Eliane de, Stephen’in tekerlekli sandalyesindeki bilgisayar donanımının tasarımcısı olan kocası David’i bıraktı. Hawking’lerin üç, Mason’ların iki çocuğu vardı.

Daha ayrılma öncesinde evlilikte gerginlik belirtileri baş göstermişti. Jane 1980’lerin sonlarında bir Cambridge muhabirine, Stephen’le birlikte girişmiş oldukları cılgınca yolculuğun canlı bir kesitini şöyle aktarıyordu: “Bu evde yaşadığımız sarkaç salınımlarını günün birinde zihnimde bağdaştıracığımı hiç sanmıyorum. Sahiden bir kara deliğin derinliğinden bütün o ısıtılı ödüllere doğru bir savruluş sayılır.”

Jane Ortaçağ dillerinde doktora çalışması yaparak İspanyol ve Portekiz şirinde uzmanlaşmayı, ardından Cambridge’de bir öğretim görevi bulmayı başardı. Ama can sıkıcı bir deneyim oldu bu: “Çalıştığımda çocuklarla oynuyor olmam gerektiğini düşünürdüm” diye anlatacağı daha sonraları. “Çocuklarla oy-

nadığımda ise çalışıyor olmam gerektiğini düşünürdüm.” Hem bir anne, hem bir baba olma hakkında söyledikleri ise şöyle: “İki oğluna kriket oynamayı öğretmek durumunda kalan ben oldum. Hatta onlara dışarıda gezip tozmayı da öğretebilirim!” Hawking serüveninde Jane temel öneme sahipti ama kimi zaman kendi statüsü konusunda tereddüde düştüğü de oluyordu. “Ben bir eklenti değilim” demişti bir televizyon belgeselinde. “Üstelik Stephen’in şu resmi toplantıların birine gittiğimizde böyle bir hisse kapıldığımı bilmesine rağmen. Kimi zaman insanlara tanıtılmıyorum bile. Ben geriden usulca izliyorum ve kimlerle konuştuğumu gerçekten bilmiyorum.”

Din de bu evlilikte bir çekişme konusuydu. Jane koyu dindar bir kişiye, Stephen ise tıpkı Einstein gibi, evreninde kişisel bir Tanrı’ya yer olmaması anlamında bir ateisttir. Stephen’in bir televizyon belgeselinde anlattığı yaklaşımı şöyle: “Bir milyar galaksiden birinin kıyısındaki çok vasat bir yıldızla bağlı ufaklık bir gezegende öylesine önemsiz yaratıklarız işte. Bu bakımdan bizi umursayacak ve hatta varlığımızın farkına varacak bir Tanrı’ya inanmak güç.”

Einstein’da olduğu gibi, Hawking için de evrenin anlaşılabilir olması hayranlık vesilesidir. “Eksiksiz teori”ye inancı vardır. *Zamanın Kısa Tarihi*’nin sonuca bağlarken, böyle bir teorenin bulunması halinde şu güvenceyi verir bize: “[Bu teori] günün birinde yalnız birkaç bilimci için değil, herkes için geniş çerçevede anlaşılır olacaktır herhalde. O zaman filozoflar, bilimciler ve sıradan insanlar, yani hepimiz kendi varlığımızın ve evrenin varlığının sebebi üzerine tartışmaya katılabileceğiz. Eğer buna bir cevap bulabilirsek, insan aklının nihai zaferi olacaktır bu, çünkü o zaman Tanrı’nın zihnini de çözmüş olacağız.”

Jane açısından dinsel aydınlanmanın yolu bu değildi. Evliliğin daha sağlam olduğu dönemde, bir röportajda şunu söylemişti: “[Dine] yaklaşmanın farklı yolları olduğunu ve matematiksel yolun yalnızca bunlardan biri olduğu görüşümü açıkça belirtiyorum, o da gülümsemekle yetiniyor.”

Hawking bu kitabın yayımlandığı tarihlerde ellili yaşların sonunda ve hayatı eskisi gibi dopdolu. Araştırma faaliyetlerini sürdürüyor; hocalık yapıyor, epeyce dolaşıyor ve geniş kitlelere konferanslar veriyor. Böyle bir hareketlilik sağlam bedenli bir insan için bile çarpıcı sayılır. Hawking açısından ise, hastalığının gittikçe artan kısıtlamaları altında, mucizevi olduğunu söylemek gerekir. Bunu nasıl başarıyor? Zihin gücünün elbette payı var. “Eğer fiziksel bakımdan özürlüyseniz” diyor Hawking, “psikolojik bakımdan özürlü olmayı kaldıramazsınız.” Kızı Lucy bunu biraz daha karanlığa büründürerek ifade ediyor: “[O] başka birine neye mal olursa olsun, istediği şeyi yapar.” Hawking’in karakterinin bir başka temel unsuru sarsılmaz iyimserliğidir. Aksi yöndeki bütün iç karartıcı belirtilere karşın, kendi hayatını “normal” görüyor. İşte 1992’de bir röportajda söyledikleri: “Kendimi normal hayattan kopmuş saymıyorum ve çevremdeki insanların da öyle olduğumu söyleyeceklerini sanmıyorum. Bir özürlü insan duygusunu taşımıyorum. Motor nöronları bir ölçüde işlemeyen biriyim işte, daha çok renk körü olmak gibi bir şey bu. Hayatımın olağan olarak nitelendirilmesi biraz zor sanırım ama ruhen normal olduğu kanısındayım.”

Başlıca Olayların Kronolojisi

- 1564 Galileo Galilei İtalyan şehri Pisa'da doğdu.
1591 Galileo'nun Pisa Kulesi'ndeki efsanevi gösterisi.
1616 Kardinal Bellarmine Galileo'yu uyardı.
1622 Galileo *Ayarcı*'yı yayımladı.
1632 Galileo *İki Büyük Dünya Sistemi Üzerine Konuşmalar*'ı yayımladı. Enkizasyon bu kitabın yayımını durdurma emrini verdi.
1633 Galileo Enkizasyon'un önüne çıktı.
Galileo Arcetri'de.
1638 Galileo *Mekanikle İlgili İki Yeni Bilim Üzerine Söylevler*'i yayımladı.
1642 Galileo Arcetri'de öldü.
Isaac Newton İngiltere'nin Woolsthorpe şehrinde doğdu.
1661 Newton Cambridge Üniversitesi Trinity College'a girdi.
1665 İngiltere'de veba.
Woolsthorpe'a çekilen Newton kalkülüs, yerçekimi ve optik üzerine düşünmeye başladı.
1668 Newton Cambridge'de Lucas Kürsüsü matematik profesörlüğüne atandı.
1671 Newton aynalı teleskopunu Kraliyet Bilim Derneği'nde gösterdi.
1684 Newton *Yörüngedeki Cisimlerin Hareketi Üzerine* risalesini yayımladı.
1687 Newton *Principia*'yı yayımladı.
1696 Newton Cambridge'den Londra'ya taşındı.
1704 Newton *Opticks*'i yayımladı.
1727 Newton Londra'da öldü.
1791 Michael Faraday Newington'da (şimdi Londra'ya bağlı) doğdu.
1796 Sadi Carnot Paris'te doğdu.
1801 Thomas Young ışığa ilişkin dalga modeline dayalı girişim ilkesini buldu.
1814 Robert Mayer Almanya'nın Heilbronn şehrinde doğdu.
1818 James Joule İngiltere'nin Manchester şehrinde doğdu.
1820 Hans Christian Ørsted elektrik etkisiyle yaratılan manyetik etkiyi deneyle gösterdi.
1821 Hermann Helmholtz Almanya'nın Potsdam şehrinde doğdu.
Faraday elektromanyetik dönüşü deneyle gösterdi. Augustin Fresnel ışığın harekete doğrultusuna dikey olarak titreşen dalgalardan oluştuğu görüşünü ortaya attı.
1822 Rudolf Clausius Prusya'nın Koslin şehrinde doğdu.
1824 Carnot *Ateşin Hareket Ettirici Gücü Üzerine Düşünceler*'i yayımladı.
William Thomson Kuzey İrlanda'nın Belfast şehrinde doğdu.
1831 Faraday elektromanyetik indüklemeyi buldu.
James Clerk Maxwell İskoçya'nın Edinburgh şehrinde doğdu.
1832 Carnot Paris'te öldü.
Faraday elektrokimya yasalarını formüle etti.
1834 Emile Clapeyron "Carnot teorisi"nin matematiksel versiyonunu yayımladı.
1837 Faraday elektrostatik indüklemeyi inceledi.

- 1839 Willard Gibbs Connecticut'ın New Haven şehrinde doğdu.
- 1842 Mayer ilk makalesini yayımladı.
- 1843 Joule ısıнын mekanik eşdeğerine ilişkin ilk belirlemelerini yayımladı.
- 1844 Ludwig Boltzmann Viyana'da doğdu.
- 1845 Mayer ısıнын mekanik eşdeğerine ilişkin bir hesaplamayı içeren ikinci makalesini yayımladı.
- Thomson elektrostatik kuvvet çizgilerine ilişkin bir matematiksel teori geliştirdi. Faraday manyetik bir alanın kutuplanmış ışık üzerindeki etkisini gözlemledi.
- 1847 Joule ısıнын mekanik eşdeğerini belirlemeye yönelik kanatlı çark deneylerinin sonuçlarını yayımladı.
- Helmholtz *Kuvvetin Korunumu Üzerine* makalesini yayımladı.
- 1848 Thomson sıcaklık ölçüm ilkesini yayımladı.
- 1850 Clausius ısı teorisi üzerine U fonksiyonunu ortaya attığı ve $dQ = dU + PdV$ denklemini türettiği ilk makalesini yayımladı.
- 1851 Thomson *Dinamik Isı Teorisi Üzerine* başlıklı uzun makalesini yayımladı.
- 1852 Faraday kuvvet çizgilerinin gerçek olduğunu savundu.
- 1854 Thomson, ısı teorisi üzerine ikinci makalesini yayımladı. Bu makalede Carnot fonksiyonu çerçevesinde mutlak sıcaklığı tanımladı. Clausius ve daha sonraları entropiyi ifade edecek bir durum fonksiyonu türetti.
- Maxwell elektromanyetizma üzerine ilk makalesini yayımladı.
- 1855 Thomson Atlantic Telegraph Company'nin yönetimine girdi.
- 1857 Clausius moleküler gaz teorisi üzerine ilk makalesini yayımladı.
- 1858 Max Planck Almanya'nın Kiel şehrinde doğdu.
- 1860 Maxwell moleküler gaz teorisi üzerine ilk makalesini yayımladı.
- 1861 Maxwell elektromanyetizma üzerine ikinci makalesini yayımladı.
- 1864 Walther Nernst Batı Prusya'nın Briesen şehrinde doğdu.
- 1865 Clausius ısı teorisi üzerine son makalesini yayımladı. Bu makalede enerji ve entropi teorilerini tamamladı ve termodinamiğin iki yasasını ortaya koydu.
- Maxwell elektromanyetizma üzerine üçüncü makalesini yayımladı.
- 1867 Faraday İngiltere'nin Hampton Court kasabasında öldü.
- Maria Skłodowska Polonya'nın Varşova şehrinde doğdu.
- 1871 Maxwell Cambridge'de Deneysel Fizik Kürsüsü'nün başına atandı.
- Helmholtz Berlin'e gitti.
- Ernest Rutherford Yeni Zelanda'nın Nelson şehrinde doğdu.
- 1873 Maxwell *Elektromanyetizma Üzerine İnceleme*'yi yayımladı.
- Gibbs termodinamiğin enerji ve entropi kavramlarına ağırlık veren geometrik bir yorumunu yayımladı.
- 1875-78 Gibbs *Heterojen Maddelerin Dengesi*'ni yayımladı.
- 1878 Mayer Almanya'nın Heilbronn şehrinde öldü.
- Lise Meitner Viyana'da doğdu.
- 1879 Maxwell Cambridge'de öldü.
- Albert Einstein Almanya'nın Ulm şehrinde doğdu.
- 1885 Niels Bohr Kopenhag'da doğdu.
- 1887 Erwin Schrodinger Viyana'da doğdu.
- 1888 Clausius Almanya'nın Bonn şehrinde öldü.
- 1889 Joule İngiltere'nin Sale kasabasında öldü.
- Edwin Hubble Missouri'nin Marshfield kasabasında doğdu.
- 1892 Louis de Broglie Fransa'nın Dieppe şehrinde doğdu.
- 1893 Nernst *Teorik Kimya* adlı ders kitabını yayımladı.
- 1894 Helmholtz Berlin'de öldü.

- 1896 Boltzmann *Gaz Teorisi Üzerine Dersler*'in birinci kısmını yayımladı.
Henri Becquerel uranyumun radyoaktivite özelliğini buldu.
- 1898 Boltzmann *Gaz Teorisi Üzerine Dersler*'in ikinci kısmını yayımladı.
Marie ve Pierre Curie polonyum ve radyumu bulduklarını açıkladılar.
- 1900 Planck kara cisim radyasyonu üzerine ilk makalesini yayımladı. Sınırlı bir çerçevede enerji kuantumlaşması kavramını ortaya koydu.
Wolfgang Pauli Viyana'da doğdu.
- 1901 Gibbs *İstatistiksel Mekaniğin Temel İlkeleri*'ni yayımladı.
Werner Heisenberg Almanya'nın Würzburg şehrinde doğdu.
Enrico Fermi Roma'da doğdu.
- 1902 Rutherford ve Frederick Soddy radyoaktivite dönüşüm teorisini geliştirdikleri bir dizi makale yayımladılar.
Einstein İsviçre'nin Bern şehrindeki Patent Bürosu'na üçüncü sınıf teknik uzman olarak atandı.
Paul Dirac İngiltere'nin Bristol şehrinde doğdu.
- 1903 Gibbs Connecticut'ın New Haven şehrinde öldü.
- 1905 Nernst Berlin'e gitti.
Einstein görelilik, fotoelektrik etki ve koloidal parçacıklar şeklindeki moleküller üzerine makalelerini yayımladı.
- 1906 Nernst ısı teoremini yayımladı.
Rutherford α parçacığı saçılımını buldu.
Boltzmann İtalya'nın Trieste şehri yakınındaki Duino köyünde öldü.
Pierre Curie Paris'te öldü.
- 1907 Thomson İskoçya'nın Largs kasabası yakınında öldü.
Rutherford Manchester'a gitti.
- 1909 Hans Geiger ve Ernest Marsden metal yaprağa çarpan α parçacıklarının saçılışı üzerine makalelerini yayımladılar.
- 1910 Subrahmanyam Chandrasekhar Hindistan'ın Lahore şehrinde (şimdi Pakistan'a bağlı) doğdu.
- 1911 Rutherford atoma ilişkin çekirdek modelini sundu.
- 1913 Einstein Berlin'e taşındı.
Bohr atomların ve moleküllerin yapısına ilişkin ilk makalesini yayımladı.
- 1913-14 Henry Moseley elementlerin x ışını yayfı üzerine makalelerini yayımladı.
- 1915 Einstein genel görelilik üzerine makalesini yayımladı.
- 1918 Richard Feynman New York'un Far Rockaway banliyösünde doğdu.
- 1919 Rutherford Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nın direktörlüğüne atandı.
Kopenhag'da Bohr Enstitüsü açıldı.
- 1923 De Broglie maddeye ilişkin dalga-parçacık ikiliği teorisini ortaya attı.
- 1924 Hubble galaksimizin ötesindeki kozmik uzaklık ölçümlerini bildirdi.
- 1925 Heisenberg matris mekaniği üzerine ilk makalesini yayımladı.
Max Born, Heisenberg ve Pascual Jordan matris mekaniği üzerine kapsamlı makalelerini yayımladılar.
Pauli dışlama ilkesini ortaya koydu.
- 1926 Schrödinger dalga mekaniği üzerine ilk makalesini yayımladı.
Born kuantum mekaniğinin olasılık yorumu üzerine ilk makalesini yayımladı.
Fermi kuantum istatistiği üzerine ilk makalesini yayımladı.
- 1927 Heisenberg belirsizlik ilkesini önerdi.
- 1928 Dirac görelilikçi elektron denklemini ortaya koydu.
- 1929 Murray Gell-Mann New York'ta doğdu.
Hubble galaksilerin uzaklaşma hızı ile Dünya'ya uzaklıkları arasındaki doğrusal ilişki üzerine ilk makalesini yayımladı.

- Dirac protonu açıklamaya yönelik delik teorisini ortaya attı.
- 1931 Dirac anti-elektronun, daha sonra verilen adla pozitronun varlığını önerdi.
- John Cockcroft ve Ernest Walton bir lineer hızlandırıcıda elde edilen proton demetleriyle nükleer tepkimeleri inceledi.
- 1933 Einstein New Jersey'nin Princeton şehrine taşındı.
- Fermi β bozunumu teorisi üzerine makalesini yayımladı.
- 1934 Marie Curie Fransa'nın Sancellemoz kasabasında öldü.
- Chandrasekhar beyaz cüce üzerine ilk makalesini yayımladı.
- 1937 Daha sonra μ leptonu olduğu belirlenen parçacık bulundu.
- Rutherford Cambridge'de öldü.
- 1938 Meitner ve Otto Frisch fizyon teorisini önerdi.
- 1939 Bohr ve John Wheeler fizyon mekanizması üzerine ilk makalelerini yayımladı.
- Robert Oppenheimer, George Volkoff ve Richard Tolman nötron yıldızlarına ilişkin bir teori önerdi.
- Oppenheimer ve Hartland Snyder idealleştirilmiş bir yıldızın içe doğru çökmesiyle kara deliğin oluştuğunu gösterdi.
- 1941 Nernst Almanya'nın Bad Muskau kasabası yakınındaki kır evinde öldü.
- 1942 Fermi ve arkadaşları ilk sürekli zincirleme nükleer tepkimeyi gerçekleştirdi.
- Stephen Hawking İngiltere'nin Oxford şehrinde doğdu.
- 1943 New Mexico'nun Santa Fe şehri yakınında Los Alamos Ulusal Laboratuvarı çalışmalarına başladı.
- 1945 New Mexico'nun Alamogordo kasabası yakınında "Üçleme" plütonyum bombası testi yapıldı.
- 1946 İlk iki "V parçacığı" bulundu.
- George Gamow kabataslak bir büyük patlama teorisi önerdi.
- 1947 Planck Almanya'nın Göttingen şehrinde öldü.
- Shelter Island Konferansı toplandı.
- 1948 Pocono Konferansı toplandı.
- Ralph Alpher, Hans Bethe ve Gamow büyük patlama teorisini geliştirdi.
- 1949 Oldstone Konferansı toplandı.
- 1952 Chandrasekhar *Astrophysical Journal* dergisinin yayın yönetmenliğine getirildi.
- 1953 Hubble California'nın San Marino şehrinde öldü.
- Gell-Mann acayiplik şemasını önerdi.
- 1954 Fermi Chicago'da öldü.
- 1955 Einstein Princeton'da öldü.
- 1956 Tsung Dao Lee ve Chen Nin Yang zayıf etkileşimlerde eşlemin korunumu yasasını sorguladı.
- Elektron nötrinosu saptandı.
- 1958 Pauli Zürich'te öldü.
- 1961 Schrödinger Avusturya'nın Alpbach kasabasında öldü.
- Gell-Mann hadron yapısı için SU(3) simetrisini, yani sekiz aşamalı yolu önerdi.
- 1962 Bohr Kopenhag'da öldü.
- μ nötrinosu saptandı.
- 1964 Ω^- parçacığı bulundu.
- Gell-Mann üç "koku"ya dayalı kuvar modelini önerdi. "Büyü" adı verilen dördüncü bir kuvar kokusu ortaya atıldı.
- Roger Penrose kara deliklerin aykırılıklar barındırması gerektiğini kanıtladı.

- 1965 Parçacık fiziğinde “renk” kavramı ortaya atıldı.
1967 Wheeler “kara delik” terimini önerdi.
1968 Meitner Cambridge’de öldü.
1969 Hawking ve Penrose evrenin bir kara delik olarak başladığını kanıtladı.
1972 Feynman parton modelini önerdi.
1973 Kuvarkların asimptotik serbestliğine ve kapatılmışlığına ilişkin teori ortaya atıldı.
1974 J/ψ parçacığı bulundu.
Büyülü kuvarka ilişkin deneysel kanıtlar bildirildi.
Hawking kara deliklerin tam anlamıyla kara olmadığını gösterdi.
1975 τ leptonu saptandı.
1976 Heisenberg Münih’te öldü.
1977 Alt kuvarka ilişkin deneysel kanıtlar bildirildi.
1979 Glüonlara ilişkin deneysel kanıtlar bildirildi.
1984 Dirac Florida’nın Miami şehrinde öldü.
1987 De Broglie Paris’te öldü.
1988 Feynman Los Angeles’ta öldü.
1989 Kuvarkların ve leptonların yalnız üç kuşağının bulunduğuna ilişkin deneysel kanıtlar bildirildi.
1995 Üst kuvarka ilişkin deneysel kanıtlar bildirildi.
Chandrasekhar Chicago’ya öldü.
2000 τ nötrinosu saptandı.

Sözlükçe

adyabatik sistem: Çevresinden ısı bakımından yalıtılmış bir sistem.

ağdalılık: Bir maddenin akışa direncini ölçmeyi sağlayan özelliği.

ağırlık: Bir cisme etkiyen kütleçekimi kuvveti.

alan: Uzun ve zaman boyunca varolan bir fiziksel yapı. Alanlar elektrik, manyetizma ve kütleçekimi etkilerine yol açarlar. Uzun ve zaman içinde yer alan fiziksel bir yapıya ilişkin parçacık kavramıyla karşılaştırın.

alfa parçacıkları (ışınları): Radyoaktif bozunum sırasında ortaya çıkan helyum iyonları.

angström: Çok küçük bir mesafe birimi; 10^{-8} santimetreye eşittir.

anot: Elektrokimyada, bir elektroliz pilinin negatif iyonları (anyonları) çeken pozitif elektrotu.

anti-elektron: Pozitif elektron ya da pozitron.

anti-parçacık: Denk düştüğü parçacıkla karşıt bir yük ve başka belli özellikler taşıma dışında benzerlik gösteren parçacık. Bir parçacık ve ona denk düşen anti-parçacık buluştuklarından birbirlerini yok ederek geride yalnızca enerji bırakırlar. Maddenin bütün parçacıklarının bu tür karşıt denklemleri vardır.

anyon: Negatif yüklü iyon.

astrofizik: Yıldızların, galaksilerin ve diğer gök cisimlerinin fiziksel doğasını teorik açıdan inceleyen bilim dalı.

astronomi: Teleskoplarla ve ilişkili aletlerle yıldızları, galaksileri ve diğer gök cisimlerini gözlemleyerek inceleyen bilim dalı.

atom ağırlığı: Hidrojen atomunun 1 olarak kabul edilen (aslında 1,008) kütlesine göre bir atomun kütlesi.

atom sayısı (numarası): Her kimyasal elemente periyodik tablodaki yerini belirlemek üzere verilmiş sayı. Aynı zamanda o elementin atom çekirdeğinin proton yükü birimiyle ifade edilen yüküne eşittir.

Avogadro sayısı: Yaklaşık 2 gram (aslında 2,016 gram) hidrojen bulunan hidrojen moleküllerinin sayısı.

aynalı teleskop: Işığı bir içbükey aynayla toplayıp odağa getiren teleskop.

ayırma fonksiyonu: Üslü terimlerin bir toplamı; istatistiksel mekanikte temel önem taşır.

baryon: Üç kuvarktan oluşan ağır bir hadron. Örnekleri proton ve nötrondur.

beta parçacıkları (ışınları): Radyoaktif bozunumda ortaya çıkan elektronlar.

beyaz cüce: Çekirdek yakıtını tüketmiş olan yaşlı yıldız; Güneş kütlesine yakın bir yıldız için çapının yaklaşık olarak Dünya'nın çapına eşit düzeye inmesi anlamına gelir. Böyle bir yıldızın kütleçekimi kuvveti elektron basıncıyla dengelenir.

Boltzmann sabiti: İstatistiksel mekanik denklemlerinin çoğunda yer alan ve k sembolüyle gösterilen çok küçük bir sayı.

bozon: Spin kuantum sayısı bir tam sayıya eşit olan temel parçacık. Bozonlar alanlardaki kuvvetleri taşırlar. En çok bilinen bozon, elektromanyetik kuvveti taşıyan fotonur. Bozonlar dışlama ilkesiyle kısıtlı değildir.

bulut odası: Doymuş su buharı atmosferinde bıraktıkları izleri takip ederek yüklü ve enerji dolu parçacıkları saptamayı sağlayan araç.

- bulutsu:** Uzayda büyük bir gaz ve toz bulutu; ayrıca Hubble terminolojisinde galaksi. **cebir:** Sayıları sembollerle göstererek aritmetiği genelleştiren matematik dalı.
- Chandrasekhar sınırı:** Yoğun kütleli bir yıldızın sönerken beyaz cüce evresinden geçemeyeceğini öngören ilke.
- çevirici:** Cebirde, x ve y değişkenleri için $xy - yx$ farkı. Olağan cebirde silinirken, matris cebirinde silinmeyebilir.
- çizgi elemanı:** Uzun zamanında iki yakın olay arasındaki bir mesafe ölçüsü.
- çoklu:** Parçacık fizikinde, bütün üyeleri aynı enerjiye ya da aşağı yukarı aynı enerjiye sahip parçacık grubu.
- dalgı mekaniği:** Kuantum mekaniğinin Schrödinger ve de Broglie tarafından ortaya konan versiyonu.
- dışlama (Pauli) ilkesi:** İki fermiyonun (örneğin, elektron, nötron, proton ve kuvar-kın) aynı durumu kaplayamayacağını öngören ilke.
- dielektrik:** Elektriksel bakımdan yalıtkan malzeme.
- diferansiyel:** Nicelikte çok küçük bir değişim.
- diferansiyel alma:** Bir türevi belirlemeyi sağlayan matematiksel işlem.
- dinamik:** Devreye giren kuvvetleri ve enerjiyi göz önünde tutan hareket bilimi.
- doğal logaritma:** Tabanı e sayısı olan logaritma.
- durum fonksiyonu:** Bir sistemin bir özelliğini sözelimi basınç ve sıcaklık tarafından belirlenen durumu çerçevesinde ifade eden fonksiyon.
- düzensizlik:** Genelde bir sistemin karışma düzeyi. Boltzmann tarafından kombinasyon metotları kullanılarak hesaplanmıştır.
- ısıveren süreç:** Isıl enerjinin açığa çıkmasıyla gelişen süreç. Yanma tepkimesi bunun bir örneğidir.
- elektrik akımı:** Bakır gibi iletken bir maddede kolayca görselleşen elektron akışı. Amper birimiyle ölçülür.
- elektrik potansiyeli:** Bir elektrik akımına yön veren kuvvet. Volt birimiyle ölçülür.
- elektrodinamik:** Hareketli elektrik yüklerini ve alanlarını inceleyen bilim dalı.
- elektrokimya:** Elektrikle hareketle geçirilmiş ya da yaratılmış kimyasal tepkimeleri inceleyen bilim dalı.
- elektrolit:** İyonların bir elektrottan diğerine geçişiyle elektriği ileten çözelti ya da erimiş madde.
- elektroliz:** Bir elektrik akımını bir çözeltiden ya da erimiş maddeden geçirerek kimyasal değişimlerin sağlanması.
- elektroliz pili:** Bir elektriksel girdiyi tüketen ve bir kimyasal tepkimeyi harekete geçiren bir araç.
- elektromanyetizma:** Elektrik ve manyetizma bilimi.
- elektrometre:** Elektrik potansiyellerini ölçmeyi sağlayan hassas bir alet.
- elektron:** Bir temel parçacık. Büyüklük bakımından protonun pozitif yüküne eşit bir negatif yük taşır.
- elektron basıncı:** Başka bakımlardan aynı durumdaki iki elektronun uzay zamanı içinde aynı noktayı kaplayamayacağını öngören dışlama ilkesinin gereklerinden kaynaklanan basınç.
- elektron-volt:** Moleküllerin, atomların ve atomaltı parçacıkların enerjilerini ölçmek için kullanılan küçük bir enerji birimi. Bir volt içinden geçirilerek ivmelendirilen bir elektronun kazandığı enerjiye eşittir; kısaltılmış biçimi ev.
- elektrostatik:** Durağan elektrik yüklerini ve alanlarını inceleyen bilim dalı.
- elektrot:** Bir elektrik akımının elektriksel bakımdan iletken bir maddenin içine girmesini ya da içinden çıkmasını sağlayan herhangi bir uç.
- enerji:** İş yapma kapasitesi. Joule, kalori gibi birimlerle ölçülür.
- entegral:** Çok küçük değişiklikleri bir nicelikte toplayan ve $\int$ sembolüyle gösterilen matematiksel yapı.
- entegral alma:** Bir entegrali belirlemeyi sağlayan matematiksel işlem.

entropi: Bir düzensizlik ölçüsü. T sıcaklığındaki bir sisteme dQ ısısının girişi ya da çıkışına eşlik eden entropideki küçük dS değişimleri $dS = \frac{dQ}{T}$ denkleminle hesaplanır.

eş-bölüşüm teoremi: Bir sisteme eklenen enerjinin o sistemdeki hareket biçimleri arasında eşit olarak dağıldığını öngören (ve her zaman doğru olmayan) bir teorem.

eşdeğer ağırlık: Bir kimyasal element için, o elementin bir gram hidrojenle bir araya gelen kütesine yaklaşık olarak eşit ağırlık.

eş-ısı sistem: Sabit sıcaklıkta tutulan bir sistem.

eylemsizlik: Bir cismin bir kuvvet tarafından etkilenmedikçe hareketsiz durumda veya tekdüze hareket içinde kalma eğilimi.

faktoriyel: Pozitif n tam sayısı için $n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times (n-1) \times n$ durumu. Bir örnek olarak $6! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 = 720$ verilebilir.

faz: Dalga teorisinde, dalga hareketindeki belli bir evre. İki dalga faz içinde olduklarında birbirlerini pekiştirirler, faz dışında olduklarında ise birbirlerini götürürler.

fermiyon: Spin kuantum sayısı bir yarım tam sayı olan parçacık. Fermiyonlar maddenin bileşenleridir ve davranışları dışlama ilkesiyle kısıtlanır. En çok bilinen örnekleri elektron, proton, nötron ve nötrinodur.

fizyon: Ağır ve kararsız bir atom çekirdeğinin daha hafif parçalara ayrılması ve büyük miktarda enerjiyi açığa çıkarması.

fluksiyon: Newton'un herhangi bir niceliğin zaman içindeki değişim hızı için kullandığı terim.

fonksiyon: Başka niceliğe ya da niceliklere bağlı bir niceliğe ilişkin matematiksel terim; örneğin, bir çemberin A alanı $A = \pi r^2$ denklemi uyarınca o çemberin r yarıçapının bir fonksiyonudur.

foton: Radyasyon alanlarında elektromanyetik kuvveti taşıyan temel parçacık; dalga ve parçacık özelliklerine sahiptir.

galaksi: Az çok bağımsız bir yıldız sistemi.

galvanometre: Küçük elektrik akımlarını ölçmeye yarayan bir alet.

gamma ışınlar: Radyoaktif bozunum sırasında ortaya çıkan yüksek enerjili elektromanyetik radyasyon.

gaz sabiti: Bir ideal gazın V hacminin n mol miktarıyla ve T mutlak sıcaklığıyla doğrudan orantılı, P basıncıyla ters orantılı olduğunu belirten $PV = nRT$ ideal gaz yasasındaki R sabiti.

Geiger sayacı: Radyoaktiviteyi ölçmeye yarayan bir alet. Hans Geiger tarafından geliştirilmiştir.

genleşme katsayısı: Bir cismin hacminde sıcaklıktaki bir değişiklikte ortaya çıkan kesirsel değişimi ölçmeye yarayan bir katsayı.

genlik: Kuantum mekaniğinde, bir olay için ölçülen ve bu olayın meydana gelme olasılığını elde etmek için karesi alınan nicelik.

Gibbs enerjisi: İşe dönüştürülebilen enerji. Serbest enerji olarak da bilinir.

görelilik: Birbirlerine göre hareketli cisimlerin mekaniğini inceleme.

gram: Bir kütle birimi.

güçlü etkileşim: Parçacık fiziğinde, hadronların kuvarklarını ve çekirdeklerdeki protonlar ile nötronlar bir arada tutan kuvvet.

H teoremi: Boltzmann tarafından ortaya konan ve bir makroskobik sistemin H özelliğinin artmadığını kanıtlayan teorem. Termodinamiğin ikinci yasasıyla ilişkilidir.

hadron: Güçlü etkileşimlerin bir arada tuttuğu atom altı parçacık. Hadronun yapı birimleri kuvarklardır.

hız: Zaman içinde mesafe değişimi oranı; hem büyüklüğü hem de doğrultuyu içerir.

Hubble sabiti: Hubble yasasında H sembolüyle gösterilen orantılılık sabiti. Evrenin genişliğini tahmin etmeyi sağlar.

Hubble yasası: Bir galaksinin Dünya'dan uzaklaşma hızı ile Dünya'ya uzaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirten yasa.

ısılan süreç: Isıl enerjinin soğurulmasıyla gelişen süreç. Buzun erimesi bunun bir örneğidir.

ısı kapasitesi: Bir maddenin belli bir miktarının sıcaklığını bir derece yükseltmek için gereken ısı.

ısı makinesi: Isıdan iş üretmeyi sağlayan her türlü araç.

ısı: Genelde ısı enerjisi. Termodinamikte ise bir sistemin sınırları içine giren ya da dışına çıkan ısı enerjisi; kalori ya da joule birimleriyle ölçülür.

ısının mekanik eşdeğeri: Bir ısı birimine eşdeğer mekanik etki (Joule'un deneylerinde ağırlıkların yukarıdan düşmesi); J sembolüyle gösterilir.

ışık yılı: Astronomide kullanılan bir mesafe birimi; bir ışık ışınının bir yıl içinde bir boşlukta aldığı mesafe olarak 5,88 trilyon mile eşittir.

işsel enerji: Bir cisim oluşturan moleküllerin barındırdığı enerji.

ideal gaz: Hacmi mol miktarıyla ve mutlak sıcaklığıyla doğrudan orantılı, basıncıyla ters orantılı olan bir gaz; bu özelliklerden P , V , T ve n 'nin sırasıyla basınç, hacim, mutlak sıcaklık ve mol miktarı, R 'nin ise bir sabit olduğu $PV = nRT$ şeklindeki ideal gaz yasası çıkar.

indükleme: Bir alanın yarattığı elektriksel ya da manyetik etki.

İngiliz ısı birimi: Fahrenheit ölçeğinde bir libre suyu bir derece yükseltmek için gereken ısı enerjisi eşdeğerine ilişkin bir ölçü; kısaltılmış biçimi Btu.

istatistiksel mekanik: Sistemi oluşturan moleküllerin ortalama davranışı açısından makroskobik sistemleri inceleme.

istif: Fermi'nin doğal uranyumun kullanıldığı ve grafikte ılımlılaştırılmış nükleer reaktöre verdiği ad.

iş: Fizikte, bir cisim kaldırırken, iterken ya da çekerken bir mesafe boyunca hareket ettirmek için bir kuvvet uygulandığında elde edilen şey. Joule, kalori gibi birimlerle ölçülür.

ivme: Hızın zaman içindeki değişim hızı; metre/saniye/saniye gibi birimlerle ölçülür.

iyon: Elektrik yüklü atom ya da molekül.

izole sistem: Çevresinden tamamen kopuk bir sistem.

izotop: Bir elementin farklı kütleye ama aynı çekirdek yüküne ve atom sayısına sahip atomlarından her biri.

joule: Bir enerji birimi. Yaklaşık 0,239 kaloriye eşdeğerdir.

kalkülüs: Sürekli değişimi ifade eden bir matematik dalı. Kalkülüsün araçları diferansiyel alma, integral alma ve türevler ile entegralleri içeren denklemlerdir.

kalori: Celsius ölçeğinde bir gram suyu bir derece yükseltmek için gereken ısı enerjisi eşdeğerine ilişkin bir birim.

kalorik teorisi: Isının yoktan var edilemeyen, vardan yok edilemeyen bir sıvı olduğunu ve günümüzde geçerliliği kalmamış olan bir teori.

kalorimetre: Isıyı ölçmeyi sağlayan bir alet.

kara cisim: Isıtıldığında kendi radyasyonunu salan ama bağlı radyasyonu yansıtmayan cisim.

katot ışını: Enerji dolu elektronlardan oluşan bir demet.

katot: Elektrokimyada, pozitif iyonları (katyonları) çeken negatif elektrot.

katyon: Pozitif yüklü iyon.

kırılma: Bir ortamdan başka bir ortama geçen dalgaların (örneğin ışık dalgalarının) bükülmesi.

kırınım: Dalgaların (örneğin ışık dalgalarının) dar bir aralıktan geçtikten sonra yayılması.

kırmızıya kayma: Bir yıldızın ya da galaksinin Dünya'ya doğru hareketine bağlı olarak o yıldızın ya da galaksinin renginde gözlemlenen değişim.

kilogram: Bin gram.

kilogram-metre: Bir iş ölçüsü; bir kilogramı bir metre yukarıya kaldırmak için gereken işe eşittir.

kilokalori: Bin kalori.

kimyasal ilgi: Kimyasal tepkimelere yön veren kuvvet için geçmişte kullanılan terim.

kimyasal potansiyel: Bir kimyasal bileşiğin ilgisini, yani başka bileşiklerle kimyasal tepkimeye girme eğilimini belirleyen görece enerji. Sabit sıcaklık ve basınç altında, kimyasal tepkimeler daha yüksek kimyasal potansiyellerden daha düşük kimyasal potansiyellere yönelir.

kinematik: Kuvvetler ya da enerjiyi göz önünde tutmayan hareket bilimi.

kinetik enerji: Bir cismin hareketinden dolayı taşıdığı enerji, m cismin kütlesi ve v cismin hız olmak üzere, $\frac{mv^2}{2}$ değerine eşittir.

klasik fizik: Kuantum fiziğinin ortaya çıkmasından önce, 19. yüzyıldaki haliyle fizik.

kondansatör: Yalıtkan bir malzemeyle ayrılmış iki metal levha arasında elektrik yük depolamayı sağlayan bir araç.

korunum yasası: Bir fiziksel ya da kimyasal süreçte belli bir niceliğin değişmediğini belirten yasa. Örnekleri momentumun korunumu ve enerjinin korunumu yasalarıdır.

kozmojji: Evrenin yapısını, kökenini ve tarihini inceleyen bilim dalı.

kuantum elektrodinamiği (KED): Elektronları, fotonları ve aralarındaki etkileşimleri inceleyen bilim dalı.

kuantum mekaniği: Matris mekaniği, dalga mekaniği ve Dirac'ın tanımladığı sentez için kullanılan jenerik terim.

kuantum sayısı: Kuantum teorisinin belirlediği bir durumu nitelendiren bir tam ya da yarı sayı.

kuantumlaşma: Enerji gibi bir fiziksel özellik için geçerli olmak üzere, bir özelliğe sürekli bir süreçten çok ayrı aşamalarla gerçekleşen değişim.

kusursuz gaz: İdeal gaza verilen bir başka ad.

kutuplanmış ışık: Dalgaları belli bir düzlemde titreşen ışık.

kuvvet çizgileri: Faraday'ın bir elektriksel ya da manyetik alan içinde yer alan kuvvetlere ilişkin gösterim biçimi.

kuvvet: Bir cismin hareketsiz bir durumdayken veya doğrusal çizgili tekdüze bir hareket içindeyken hareketini değiştirmesine yol açan herhangi bir etki.

kütle: Bir cismin kendi hareketindeki değişime direncini ölçmeyi sağlayan özellik. Aynı zamanda kütleçekimi etkisine yol açan özellik. Gram, kilogram gibi birimlerle ölçülür.

kütleçekimi ivmesi: Kütleçekimi etkisine bağlı olarak hızın zaman içindeki değişim hızı. Dünya'da 9,8 metre/saniye/saniye değerine eşittir; g sembolüyle gösterilir.

kütleçekimi sabiti: Kütleçekimi teorisi denklemlerinin çoğunda yer alan ve G sembolüyle gösterilen sayı.

lepton: Güçlü etkileşimlere girmeyen bir temel parçacık. Örnekleri elektron, nötrino ve müondur.

logaritma: Bir sayı için, o sayıyı hesaplamaya yarayan tabanın (genellikle 10) üssü. Örneğin, $10^3 = 1.000$ olduğuna göre, 1.000 sayısının logaritması 3'tür.

matris mekaniği: Kuantum mekaniğinin Heisenberg, Born ve Jordan tarafından geliştirilen versiyonu.

maviye kayma: Bir yıldızın ya da galaksinin Dünya'ya doğru hareketine bağlı olarak o yıldızın ya da galaksinin renginde gözlemlenen değişim.

megaparsek: Astronimde bir mesafe birimi; milyon parseke, yani 3,26 milyon ışık yılına eşittir.

mekanik: Hareket bilimi.

mercekli teleskop: Işığı bir dışbükey mercekten toplayıp odağa getiren teleskop.

merkezil kuvvet: Newton'un bir gezegeni yörüngede tutan kütleçekimi kuvveti için kullandığı terim.

metafizik: Fizik ötesindeki doğayı inceleme.

Mev: Parçacık fizikçilerinin kullandığı bir enerji birimi. Milyon elektron-volta eşittir.

mezon: Bir kuvar ve anti-kuvarktan oluşan, orta çapta kütleli bir hadron. Örnek olarak piyon verilebilir.

mol: Kimyada, Avogadro sayısında molekül içeren bir kimyasal bileşenin niceliği.

molekül ağırlığı: Hidrojen atomunun 1 olarak kabul edilen (aslında 1,008) kütlelerine göre bir molekülün kütlesi.

momentum: Bir cismin kütlesi ile hızının çarpımından çıkan değer.

mutlak sıcaklık: Sıfırın Celsius ölçeğine göre -273 dereceye denk geldiği bir ölçekte belirlenen sıcaklık.

nötrino: Yüksüz ve neredeyse kütleden yoksun bir temel parçacık.

nötron yıldızı: Çekirdek yakıtını tüketmiş olan yaşlı yıldız. Güneş kütlelerine yakın bir yıldız için çapının 50-1.000 kilometreye kadar inmesi anlamına gelir. Böyle bir yıldızdaki kütleçekimi kuvvetine bir nötron kuvveti karşı koyar.

nötron: Kütleleri yaklaşık olarak protonunkine eşit olan yüksüz bir parçacık. Bütün atom çekirdeklerinin temel bileşenlerinden biridir.

nükleer reaktör: Kontrollü zincirleme nükleer tepkimeyi sağlayan bir araç.

orantılılık sabiti: Matematikte, bir orantılılığı bir denkleme çeviren sabit. Örneğin, k orantılılık sabiti $y \propto x$ orantılılığını $y = kx$ denklemine çevirir.

orantılılık: Matematikte, biri değiştiğinde öbürü de orantılı olarak değişen iki nicelik arasındaki ilişki. Örneğin, x ve y orantılı ($x \propto y$) olduğunda, x iki katına çıkarsa y de iki katına çıkar ve aynı durum tersine de geçerlidir.

özlü ağırlık: birim hacim başına kütle. Kilogram/metreküp gibi birimlerle ölçülür.

özlü ısı: Bir birim madde kütlelerinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gereken ısı.

parçacık: Uzay ve zaman içinde yer alan bir fiziksel yapı. Uzay ve zaman boyunca varolan bir fiziksel yapıya ilişkin alan kavramıyla karşılaştırılır.

parsek: Astronomide, 3,26 ışık yılına eşdeğer mesafe birimi.

Pauli ilkesi: Bak. dışlama ilkesi.

periyodik tablo: Kimyasal elementlerin bir tablo halinde düzenlenmiş biçimi. Bu tabloda benzer kimyasal özelliklere sahip elementler aynı sütunda yer alır; satırlar da genellikle (her zaman değil) elementleri artan atom ağırlığı sırasına göre verir.

periyot: Periyodik harekette geçerli olmak üzere, bir hareket çevriminin tamamlanması için gereken süre.

piyon: Bir mezon. Sırasıyla -1, 0, +1 yüklerine sahip π^- , π^0 ve π^+ gözlemlenmiş olan üç farklı piyon türüdür.

Planck sabiti: Kuantum teorisi denklemlerinin çoğunda yer alan ve h sembolüyle gösterilen çok küçük bir sayı.

potansiyel: Belli bir noktada bir alandan elde edilebilen enerjiye ilişkin bir ölçü. Alandan etkilenen fiziksel özelliğin (örneğin kütlenin ya da elektrik yükünün) birimi başına ölçülür.

potansiyel enerji: Bir cismin konumundan dolayı taşıdığı enerji. Örneğin, yer yüzeyine göre z mesafesi kadar yukarıda ve m kütlelerine sahip olan bir cismin potansiyel enerjisi, g yerçekimi ivmesini ifade ettiği mgz kütleçekimi potansiyel enerjisin taşıdır.

proton: Bir hidrojen çekirdeği ve bütün atom çekirdeklerinin temel bileşenlerinden biri. Büyüklük bakımından elektronun negatif yüküne eşit bir pozitif yük taşır.

radioaktif bozunum: Bir radyoaktif elementin enerji dolu bir parçacığı, genellikle bir alfa parçacığını, bir beta parçacığını, bir gamma ışınını ya da bunların bir bileşimini kendiliğinden saldırdığı nükleer olay.

radyoaktivite: Radyoaktif bozunum süreci. Bu süreçte bir element atomunun alfa ya

da beta parçacığı salımı yoluyla başka bir element atomuna kendiliğinde dönüşmesi de eşlik edebilir.

radyo-element: Radyoaktif bir element.

radyokimya: Radyo-elementleri ayırmaya yönelik kimyasal teknikler üzerinde duran kimya dalı.

rezonatör: Planck'ın kara cisim fırınının duvarlarında titreşen moleküller için kullandığı terim.

sefeid değişkeni: Ortalama içkin parlaklığıyla doğrudan ilişkili olarak minimum ve maksimum parlaklık dönemleri arasında parlaklığı düzenli biçimde değişen yıldız.

serbest enerji: İşe dönüştürülebilen enerji. Gibbs enerjisi olarak da bilinir.

skaler: Büyüklüğü olan, ama doğrultu özelliği olmayan nicelik.

sonsuz hareket: Bir makinenin enerji girdisi olmadan sonsuza kadar yararlı çıktı sağlamaya devam edecek şekilde tasarlanabileceği yolundaki kavram. Termodinamik yasaları böyle bir makineye elvermez.

spektroskop: Bir tayfı gösteren alet.

spektroskopisi: Atomların, moleküllerin ya da atomaltı parçacıkların tayflarını inceleme.

sürat: Hızın büyüklüğü. Metre/saniye, kilometre/saat gibi birimlerle ölçülür.

sürtünme: Temas halindeki iki cismin hareketine direnen kuvvet.

taban: Bir logaritmada, o logaritmaya eşit bir kuvvete yükseltilen sayı.

tayf çizgisi: Bir tayfta belirli bir dalga boyu, frekans ya da enerji.

tayf: Radyasyonun ya da parçacıkların dalga boyu, frekans ya da enerji bileşenlerine ayrılması.

tekillik: Genel görelilikte, uzay zamanında özgül ağırlık gibi fiziksel niceliklerin sonsuzlaştığı bir nokta.

temel parçacık: Yapısı olmayan ve matematiksel açıdan nokta olarak görülen parçacık. Örnekleri elektron, kuvar ve nötrinodur.

termodinamik: Başlangıçtaki anlamıyla ısı bilimi. Daha sonraları kimyasal itici kuvvetleri hesaplanması gibi unsurları da kapsayacak biçimde genişlemiştir.

termokimya: Isıveren ve ısıalan tepkimeleri inceleme.

tersinir süreç: Termodinamikte, söz konusu sistemde ya da çevresinde net değişiklikler olmaksızın doğrultunun tersine dönebildiği ideal süreç.

tersinmez süreç: Termodinamikte, ideal olmayan ve bir sistemin ortamında değişiklikler yapmaksızın tersine çevrilemeyen süreç. Bütün gerçek süreçler bir ölçüde tersinmezdir.

trigonometri: Üçgenlerle ilgili problemleri çözen matematik dalı.

tümel küme: İstatistiksel mekanikte, ele alınan bir sistemin çok sayıda eş-örneğinin kavramsal derlemesi.

türev: Bir niceliğin başka bir niceliğe göre değişim hızını belirleyen matematiksel yapı. Örneğin, hız zamana göre mesafenin, ivme ise zamana göre hızın türevidir.

üslü fonksiyon: Bir üssün değişken olarak yer aldığı her türlü fonksiyon, e^x ve 10^x bunun örnekleridir.

vektör: Hem doğrultusu, hem büyüklüğü olan nicelik.

volta pili: Çıktısı elektrik akımı olan bir kimyasal araç.

x ışınları: Yüksek enerjili elektromanyetik radyasyon.

yansıma: Bir yüzeyle karşılaşılan dalgaların (örneğin ışık dalgalarının) geri dönmesi.

yavaş nötron: Düşük enerjili nötron.

yayınım: Bir maddenin yüksek derişiklikli bir bölgeden düşük derişiklikli bir bölgeye kendiliğinden akışı.

yozlaşma: Astrofizikte, bir yıldızın karşı koyan bir elektron ya da nötron basıncı karşısında vardığı nihai kütleçekimi çöküş durumu.

zayıf etkileşim: Nükleer fizikte, β bozunumunun devreye girdiği etkileşim.

zincirleme nükleer tepkime: Fizyon olaylarının tüketilen düzeyde ya da daha fazla nötron ürettiği ve bu nötronların yeni fizyon olaylarını harekete geçirdiği nükleer süreç.

Daha Fazlasını Okumaya Çağrı

Bu kitaptaki bölümler birer biyografi olarak ister istemez kısa. Aşağıdaki öneriler okura bu hikâyedeki ana karakterleri daha iyi tanıma fırsatını sağlamaya yönelik. Her bölümün konusu için geniş biyografiler ve ilgili malzemeler veriliyor. Liste kapsamlı olmaktan uzak, seçilen kitaplar daha çok bu kitabı yazar-ken kaynak olarak tercih edilenlerdir. DSB kısaltması buradaki konulardan çoğuna ilişkin kısa ama güvenilir biyografilerin yer aldığı paha biçilmez kaynak *Dictionary of Scientific Biography*'yi (New York: Scribner, 1971-90) ifade ediyor.

Bölüm 1

Galileo literatürü olağanüstü geniştir. Birkaç seçme eser: Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (New York: Dover, 1995), *Galileo* (Oxford: Oxford University Press, 1980) ve *Galileo: Pioneer Scientist* (Toronto: University of Toronto Press, 1990); James Reston, Jr., *Galileo* (New York: HarperCollins, 1994); Dava Sobel, *Galileo's Daughter* (New York: Walker, 1999, *Galileo'nun Kızı*, İş Bankası Yayınları, İstanbul).

Bölüm 2

Galileo gibi, Newton da uzmanların gözdesidir. Richard Westfall'un yazdığı yakın dönemdeki bir biyografi olan *The Life of Isaac Newton* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994) aynı yazarın daha önceki eseri *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*'un (Cambridge: Cambridge University Press, 1980) kısaltılmış versiyonudur. Newton'un *Principia*'sından bir tat almak için bak. Subrahmanyam Chandrasekhar, *Newton's Principia for the Common Reader* (Oxford: Oxford University Press, 1995). François De Gandt da *Force and Geometry in Newton's Principia*'da (Princeton: Princeton University Press, 1995) *Principia*'yı analiz etmektedir.

Bölüm 3

Sadi Carnot'nun kişisel hayatı hakkında bilinenler çok azdır. Biyografik yorumlar esas olarak bilimsel çalışmalarıyla ilgilidir. Bak. DSB'de J. F. Challey'nin yazdığı Carnot makalesi ve D. S. L. Cardwell, *From Watt to Clausius* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1971). Carnot'nun *Réflexions sur la puissance motrice du feu* kitabının çeşitli İngilizce çevirilerinden en sonuncusu R. Fox yapmıştır (Manchester: Manchester University Press, 1986). R. H. Thurston'ın çevirisi (Londra: Macmillan, 1890) Hippolyte Carnot'nun kardeşi üzerine yazdığı biyografiden parçalar içerir. Clifford Truesdell *The Tragicomical History of Thermodynamics*'te (New York: Springer-Verlag, 1980) Carnot ve ardıllarının çalışmalarını da kapsamak üzere termodinamik tarihinin eleştirel bir dökümünü verir.

Bölüm 4

Mayer üzerine biyografik malzemeler kısıtlıdır. R. Bruce Lindsay, *Men of Physics: Julius Robert Mayer* (New York: Pergamon Press, 1973) ve DSB'de R. Steven Turner'ın yazdığı Mayer makalesi yararlı olabilir. Büyük Joule-Mayer tartışmasını kızıştıran "üç T"nin biyografileri: Silvanus Thompson, *The Life of William Thomson* (Londra: Macmillan, 1910), Arthur S. Eve, *Life and Work of John Tyndall* (Londra: Macmillan, 1945) ve C. G. Knott, *Life and Scientific Work of Peter Guthrie Tait* (Cambridge: Cambridge University Press, 1911).

Bölüm 5

Başlıca Joule biyografileri: D. S. L. Cardwell, *James Joule: A Biography* (Manchester: Manchester University Press, 1989) ve Osborne Reynold, *Memoir of James Prescott Joule* (Manchester: Manchester University Press, 1892). J. G. Crowther'ın kısa biyografilerden oluşan *Men of Science* (New York: Norton, 1936) kitabı Joule üzerine okunabilir bir bölüm içerir.

Bölüm 6

Leo Königsberger'in, *Hermann Helmholtz'u* (New York: Dover, 1965) başta gelen Helmholtz biyografisidir. Ayrıca bak. DSB'de R. Steven Turner'ın yazdığı Helmholtz makalesi. Helmholtz'un yazılarında bazıları Russell Kahl'ın *Selected Writings of Hermann Helmholtz* (Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1971) kitabında toplanmıştır.

Bölüm 7

En eksiksiz Thomson (Kelvin) biyografisi Crosbie Smith ve M. Norton Wise'in *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989) kitabıdır. Silvanus P. Thompson'ın *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs* (Londra: Macmillan, 1910) kitabı, mektuplarından ve güncellerden birçok alıntıya yer vermesi açısından değerlidir.

Bölüm 8

Carnot gibi Clausius da biyografik açıdan unutulma tehlikesi altındaki fizikçiler listesindedir. DSB'de Edward Daub'un yazdığı makale tavsiye edilir. D. S. L. Cardwell, *From Watt to Clausius*'ta (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1971), Clausius'un çalışmalarını tarihsel bağlama oturtur.

Bölüm 9

Gibbs'in iki biyografisi vardır: Muriel Rukeyser, *Willard Gibbs* (Woodbridge, Conn.: Ox Bow Press, 1988) ve Lynde Phelps Wheeler, *Josiah Willard Gibbs: The History of a Great Mind* (Woodbridge, Conn.: Ox Bow Press, 1998). Her ikisi de bir bilim adamı olarak Gibbs'in çalışmalarını gereğince işlemez. Bu nedenle DSB'de Martin Klein'ın yazdığı Gibbs makalesini okumak yararlı olabilir. J. G. Crowther *American Men of Science*'ta (New York: Norton, 1937) Gibbs'in hayatını kısaca ele almıştır.

Bölüm 10

Nernst'in hayatına ve dönemine ilişkin eğlenceli bir anlatım için bak. Kurt

Mendelssohn, *The World of Walther Nernst: The Rise and Fall of German Science, 1864-1941* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1973). Franz Simon'ın bu bölümde alıntı yapılan yorumları *Yearbook of the Physical Society*'de (1956, 2) bulunabilir.

Bölüm 11

On dokuzuncu yüzyılda yazılmış iki Faraday biyografisi Henry Bence Jones, *The Life and Letters of Faraday* (Londra: Longmans, Green, 1870) ve John Tyndall, *Faraday as Discoverer*'dir (New York: Appleton, 1868). Yirminci yüzyılın başta gelen Faraday biyografisi Pearce Williams, *Michael Faraday: A Biography*'dir (New York: Basic Books, 1964). Faraday'ın çalışmalarının daha özlü anlatıldığı bir versiyon için bak. DSB'de Williams'ın yazdığı Faraday makalesi. Geoffrey Cantor, *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist*'te (New York: St. Martin's Press, 1991) Faraday'ın yaşamında dinsel boyutu ele alır. J. G. Crowther, *Men of Science*'ta (New York: Norton, 1936) Davy-Faraday ilişkisindeki inişli çıkışlı seyri anlatır. Faraday'ın Kraliyet Enstitüsü'ndeki en ünlü konferansı *The Chemical History of a Candle* (Atlanta: Cherokee, 1993) adıyla yayımlanmıştır.

Bölüm 12

Başlıca Maxwell biyografisi, arkadaşı Lewis Campbell'in yazdığı *The Life of James Clerk Maxwell*'dir (Londra: Macmillan, 1882). Daha yakın dönemli biyografiler C. W. Everitt, *James Clerk Maxwell: Physicist and Philosopher* (New York: Scribner, 1975) ve Martin Goldman, *The Demon in the Aether: The Story of James Clerk Maxwell*'dir (Bristol, İngiltere: A. Hilger, 1983). Maxwell'in makaleleri *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*'de (ed. W. D. Niven, New York: Dover, 1952) toplanmıştır. Hertz'in kısa ama ilginç hayat hikâyesi için bak. Charles Susskind, *Heinrich Hertz: A Short Life* (San Francisco: San Francisco Press, 1995).

Bölüm 13

Boltzmann'ın İngilizce'de yalnızca iki kısa biyografisi vardır: Englebert Broda, *Ludwig Boltzmann*, İngilizce'ye çev. Engelbert Broda ve Larry Gay (Woodbridge, Conn.: Ox Bow Press, 1983) ve Carlo Cercignani, *Ludwig Boltzmann: The Man Who Trusted Atoms* (Oxford: Oxford University Press, 1998). Boltzmann'ın atomculuk karşıtlarıyla kapışmasının hikâyesi David Lindley'nin *Boltzmann's Atoms: The Great Debate That Launched a Revolution in Physics* (New York: Free Press, 2000) kitabında anlatılır. Boltzmann'ın gaz teorisi üzerine yazıları Stephen Brush tarafından *Lectures on Gas Theory*'de (New York: Dover, 1995) çevrilmiştir.

Bölüm 14

Einstein literatürü, içinden çıkılamayacak kadar zengindir. Çok sayıdaki biyografilerinden en iyisi Abraham Pais'in yazdığı *Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982) kitabıdır. Ronald Clark, *Einstein: The Life and Times*'ta (New York: World, 1971) Einstein'ın kamusal yaşamını aktarır. Einstein kendi hikâyesini *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*'te (ed. P. A. Schilpp, New York: Harper & Row, 1951) yer alan "Otobiyografik Notlar"da (kısaca) anlatmıştır. Albrecht Folsing'in *Albert Einstein* (İngilizce'ye çev. Ewald Osers, Londra: Penguin, 1997) kitabı, yakın

dönemdeki bir Einstein biyografisidir. Einstein, *The Evolution of Physics*'te (New York: Simon & Schuster, 1938) Leopold Infeld'le birlikte modern fiziğe mükemmel bir giriş yazmıştır.

Bölüm 15

Planck'ın İngilizce'de geniş bir biyografisi yoktur. John Heilbron, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*'ta (Berkeley ve Los Angeles: University of California Press, 1986) Planck'ın Alman bilim camiasındaki seçkin yerini yazmıştır. Planck'ın *Scientific Autobiography and Other Papers*'ta (İngilizce'ye çev. F. Gaynor, New York: Philosophical Library, 1949) yer alan görüşleri aydınlatıcıdır.

Bölüm 16

Bohr'un İngilizce'deki en iyi biyografisi Abraham Pais'in yazdığı *Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*'dir (Oxford: Oxford University Press, 1991). Ayrıca bak. Stefan Rozental, *Niels Bohr: His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues* (Amsterdam: North-Holland, 1967); DSB'de Léon Rosenfeld'in yazdığı Bohr makalesi; Ruth Moore, *Niels Bohr* (New York: Knopf, 1966). Alice Kimball Smith, *A Peril and a Hope*'da (Chicago: Chicago University Press, 1965) Bohr'un açık nükleer politika yönündeki çabalarının hikâyesini anlatır.

Bölüm 17

Pauli'nin İngilizce'de hiç biyografisi yoktur. Rudolf Peierls'in *Bird of Passage* (Princeton; Princeton University Press, 1985) kitabında bu büyük eleştirmenden bazı kısa kesitler yer alır. DSB'de Markus Fierz'in yazdığı makale Pauli'nin bilimsel çalışmalarını ana hatlarıyla aktarır.

Bölüm 18

David Cassidy'nin *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg* (New York: Freeman, 1991) kitabında, yaşamı gizemlerle dolu Heisenberg'in geniş bir biyografisi vardır. Heisenberg, *Physics and Beyond: Encounters and Conversations*'da (New York: Harper & Row, 1971) kendi hikâyesini kısmen anlatır. Elisabeth Heisenberg, *Inner Exile* (Boston: Birkhäuser, 1984) kitabında, kocasının savaş yıllarındaki müşkül durumunu vurgular. Max Born'un *Physics in My Generation* (New York: Springer-Verlag, 1969) kitabı, Einstein'ın görelilik teorisıyla başlayan ve Born, Heisenberg ve diğerlerinin yarattığı matris mekaniğiyle süren devrimin bir dökümüdür.

Bölüm 19

De Broglie'nin İngilizce'de geniş bir biyografisi, hatta DSB'de adına yazılmış bir makale yoktur. Buna karşılık Schrödinger üzerine Walter Moore'un yazdığı *Schrödinger: Life and Thought* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989) ıskı tutucudur. William T. Scott'un, *Erwin Schrodinger: An Introduction to His Writings*'i (Amherst: University of Massachusetts Press, 1967) daha eski tarihli bir biyografidir. Schrödinger üretken bir yazar ve konuşmacıydı. *What Is Life?* (Cambridge: Cambridge University Press, 1967), *My View of the World* (Cambridge: Cambridge University Press, 1964) ve *Science and Humanism* (Cambrid-

ge: Cambridge University Press, 1961) kitaplarında eserlerinden örnekler bulunabilir.

Bölüm 20

Marie Curie'nin ilginç hayatı Susan Quinn'in *Marie Curie: A Life* (Reading, Mass.: Perseus, 1995) kitabında anlatılır. Ayrıca bak. Eve Curie, *Madame Curie* (İngilizce'ye çev. Vincent Sheehan, New York: Doubleday, 1937); tek kitapta toplanmış Marie Curie, *Autobiographical Notes* ve kocası üzerine sevimli biyografisi *Pierre Curie* (New York: Dover, 1963).

Bölüm 21

Başlıca Rutherford biyografisi Arthur S. Eve'in yazdığı *Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford, O.M.* (Cambridge: Cambridge University Press, 1939) kitabıdır. Anılarının bir derlemesi olan J. B. Birks, *Rutherford at Manchester* (New York: Benjamin, 1963), Rutherford'un orta dönemini yansıtır. Mark Oliphant, *Rutherford: Recollection of the Cambridge Days*'te (Amsterdam: Elsevier, 1972) Cavendish Laboratuvarı'ndaki Rutherford'u anlatır. John Campbell'in yeni biyografisi *Rutherford* (Christchurch, Yeni Zelanda: AAS Publications, 1999), Rutherford'un Yeni Zelanda'daki yıllarını öne çıkarır.

Bölüm 22

Ruth Lewin Sime, *Lise Meitner: A Life in Physics* (Berkeley ve Los Angeles: University of California Press, 1996) kitabında nükleer fizyon kavramının bulunuşu konusunu yerli yerine oturtur. Otto Frisch'in bir İsveç kayak yolunda Meitner'le ilham verici konuşmasına ilişkin anlatımı *What Little I Remember*'da (Cambridge: Cambridge University Press, 1979) yer alır. Otto Hahn birkaç otobiyografi yazmıştır. Bunlardan biri *Otto Hahn: My Life, The Autobiography of a Scientist*'tir (İngilizce'ye çev. Ernst Kaiser ve Eithne Wilkins (New York: Herder & Herder, 1970).

Bölüm 23

Laura Fermi *Atoms in the Family* (Chicago: University of Chicago Press, 1954) kitabında, kocasıyla birlikte yaşadıklarını ve onun fizik çalışmalarını aktarır. Emilio Segrè, *Enrico Fermi: Physicist*'te (Chicago: University of Chicago Press, 1970) bir meslektaş olarak Fermi'yi anlatır. Manhattan Projesi'nin hikâyesini anlatan birçok kaynak vardır. En yakın olanlardan biri ve belki de en iyisi Richard Rhodes'un yazdığı *The Making of the Atomic Bomb*'dur (New York: Simon & Schuster, 1986). Mary Palevsky, *Atomic Fragments: A Daughter's Questions* (Berkeley ve Los Angeles: University of California Press, 2000) kitabında, Manhattan Projesi'ne katılmış fizikçilerle yakın dönemde yaptığı bir dizi röportajla nükleer silahların ahlaki ve etik yönlerini irdeler.

Bölüm 24

Dirac'ın hikâyesi Helge Kragh'in yazdığı *Dirac: A Scientific Biography* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990) ve Behram Kurşunoğlu ile Eugene Wigner'in çeşitli değerlendirmeleri bir araya getirdiği *Reminiscences About a Great Physicist: Paul Adrien Maurice Dirac* (Cambridge: Cambridge University

Press, 1987) kitaplarında yer alır. Kragh ayrıca *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*'de (Princeton: Princeton University Press, 1999) kuantum teorisinin genel tarihini yazmıştır.

Bölüm 25

Bir bilimci için dikkate değer bir özellik olarak, Feynman'ın iki seçkin biyografisi vardır: James Gleick, *Genius: The Life and Science of Richard Feynman* (New York: Pantheon, 1992) ve Jagdish Mehra, *The Beat of a Different Drum: The Life and Science of Richard Feynman* (Oxford: Oxford University Press, 1994). Feynman'ın otobiyografik nitelikteki monolog kitapları *Surely You're Joking, Mr. Feynman: Adventures of a Curious Character* (Ralph Leighton'a aktarıldığı haliyle, ed. Edward Hutchings, New York: Norton, 1985) ve *What Do You Care What Other People Think? Further Adventures of a Curious Character*'dir (Ralph Leighton'a aktarıldığı haliyle, New York: Norton, 1988). Feynman döneminin en iyi bilim hocalarından biriydi. Derslerinin birçoğu derlencip kitap haline getirilmiştir. En dikkate değer olanlar: Richard Feynman, *The Character of Physical Law* (New York: Modern Library, 1994), QED: *The Strange Theory of Light and Matter* (Princeton, Princeton University Press, 1985), Robert Leighton ve Matthew Sands'le birlikte, *The Feynman Lectures on Physics* (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1963). Silvan S. Schweber, *QED and the Men Who Made It*'te (Princeton: Princeton University Press, 1994) Feynman, Schwinger, Tomonaga ve Dyson'ın kısa biyografilerini de içermek üzere KED hikâyesini anlatır. Kenneth Ford'un yardımıyla John Wheeler'in yazdığı *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics* (New York: Norton, 1998) Feynman'ın olağandışı kariyerini ele alan bir kitaptır.

Bölüm 26

Başta gelen Gell-Mann biyografisi George Johnson'ın yakın dönemde yazdığı *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*'tir (New York: Knopf, 1999). Gell-Mann'ın tek popüler kitabı *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*'tir (New York: Freeman, 1994). Modern parçacık fiziğinin tarihi ve ilgili kişiler için bak. Robert Crease ve Charles Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics* (New York: Macmillan, 1986). Abraham Pais'in daha ayrıntılı *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World* (Oxford: Oxford University Press, 1986) kitabı da tavsiye edilir.

Bölüm 27

Başlıca Hubble biyografisi Gale Christianson'ın yazdığı *Edwin Hubble: Mariner of the Nebulae*'dir (New York: Farrar, Straus, Giroux, 1995). Helge Kragh *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe* (Princeton: Princeton University Press, 1996) kitabında, büyük patlama ve kararlı durum kozmolojilerinin savunucuları arasında (hâlâ sürmekte olan) tartışmanın gelişim çizgisini verir.

Bölüm 28

Chandrasekhar'ın Kameshwar Wali tarafından yazılmış biyografisi *Chandra: A Biography of S. Chandrasekhar* (Chicago: University of Chicago Press, 1984) dışında, Wali tarafından yayıma hazırlanmış anılar derlemesi *S. Chandrasekhar:*

The Man Behind the Legend (Londra: Imperial College Press, 1997) vardır. Chandrasekhar'ın çocukluk dönemindeki rol modeli Srinivasa Ramanujan için bak. DSB'de Oystein Ore'un ilgili makalesi.

Bölüm 29

Birkaç Hawking biyografisi vardır. Michael White ve John Gribbin'in yazdığı *Stephen Hawking: A Life in Science* (New York: Dutton, 1992) yararlı olabilir. Hawking'in kozmoloji üzerine ünlü popüler kitabı *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*'tur (New York: Bantam, 1988, *Zamanın Kısa Tarihi*, Doğan Kitapçılık).

"Bu kitap bilime adanmış hayatları, daha kesin bir deyişle 'fizik panteonunun otuzları'nın hayatlarını anlatan bir hikâyedir. Adlardan bazıları (Newton, Einstein, Curie, Heisenberg, Bohr) bildik olmakla birlikte, bazıları (Clausius, Gibbs, Meitner, Dirac, Chandrasekhar) tanıdık gelmeyebilir. Ama en azından işledikleri konular kadar hayranlık uyandırıcı ve olağanüstü insanlardı hepsi, ki hâlâ da öyleler. Bu kitaptaki kısa biyografiler hem insanların hem de fiziğin hikâyesini anlatıyor.

Bölümler eldeki (kimi zaman kısıtlı) biyografik malzemeye bağlı olarak format ve uzunluk bakımından değişkenlik gösteriyor. Bölümlerden bazıları bilime vâkıf olmayan okur için matematik, fizik ve kimya konularında arka plan bilgileri içeren ("Dersler" başlıklı) altbölümlerle donatılmış durumda.

Harcâlem irfan sahipleri, genel okurların, matematik denklemlerinden ürktüğünü savunur. Ben bu öğüdü tutmadım ve bazı bölümlerde denklemlere yer verdim. Matematik denklemleri fiziğin dilini ifade eder: O dil hakkında bir şeyler öğrenmeden, verilen mesajı anlayamazsınız. Eğer temel (lise düzeyinde) cebir bilginiz varsa ve gerek kaldığında "Dersler" başlığı altında anlatılanları dikkatle okursanız, bu işin altından kalkarsınız herhalde. Sözlükçe ve kronoloji bölümleri de yararlı olabilir. Daha geniş biyografik malzeme için, "Daha Fazlasını Okumaya Çağrı" bölümünde belirtilen yapıtlara başvurmanızı öneririm.

Bu kitap kapsamlı ya da bilimsel bir çalışma olma iddiasını taşımıyor, bilimcilere ve bilim öğrencilerine (ister okullu, ister okulsuz olsun) hoşça bir okuma olanağı sağlamaya yönelik yalnızca. Kitaptaki bölümleri öylesine gelişigüzel ve eğlenme amacıyla okuyacağınızı, bu arada da bilimin sonuçta bir insan uğraşı olduğu dersini kulağınıza küpe edeceğinizi umarım, hepsi o kadar."

-Önsöz'den.

*Binlerce yıllık bir geleneği olan, hayatın en önemli bilim dallarından birinde, bu bilim dalını temelden etkilemiş/geliştirmiş otuz bilim adamı, geliştirdikleri fiziğin alt dallarını oluşturan bölümlerde (mekanik, termodinamik, elektromanyetizma, istatistiksel mekanik, görellilik, kuantum mekaniği, nükleer fizik, parçacık fiziği ile astronomi, astrofizik ve kozmoloji) ayrıntılarıyla, özel hayatlarını, dostlarıyla yaptığı mektuplaşmalarını da içeren rahat bir üslupla anlatılıyor... UNESCO'nun 2005'i Dünya Fizik Yılı olarak ilan ettiği bugünlerde, Oxford Üniversitesi tarafından yayımlanmış bu önemli kitap da, Nurettin Elhüseyni'nin yetkin çevirisiyle, hak ettiği yerde **Oğlak / Bilimsel Kitaplar'da** yayımlanıyor.*



TV'de şiddete hayır!

Şiddet öğeleri içeren TV programlarını reklamlarıyla destekleyen şirketlerin ürünlerini satın alma.

TV'de şiddete sen de hayır de.