

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

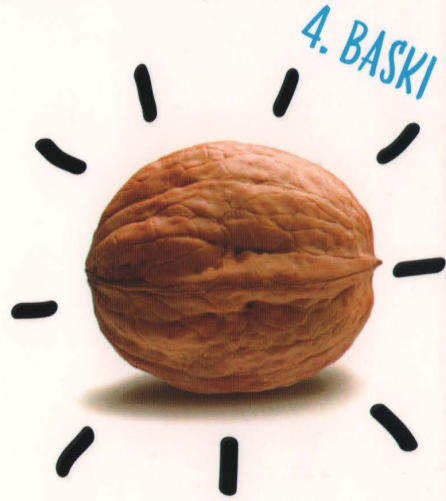
Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

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

DÜNYA'NIN

TÜM DERTLERİ

BİR İNSANIN
HEMEN HER ŞEYİ
ANLA(T)MA GİRİŞİMİ



MARCUS CHOWN

ÇEVİRİ: ZEYNEP ARIK TOZAR

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

 domingo

DÜNYA'NIN TÜM DERTLERİ

*Bir İnsanın Hemen Her Şeyi
Anla(t)ma Girişimi*

MARCUS CHOWN

DÜNYA'NIN TÜM DERTLERİ

*Bir İnsanın Hemen Her Şeyi
Anla(t)ma Girişimi*

MARCUS CHOWN

ÇEVİRİ: ZEYNEP ARIK TOZAR





DÜNYA'NIN TÜM DERTLERİ MARCUS CHOWN

Bu kitap ilk kez 2013 yılında "What a Wonderful World" adıyla Faber and Faber Limited tarafından yayımlanmıştır. Kitabın Türkçe yayın hakları Anatolialit Telif Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

© 2013 Marcus Chown

Türkçe yayın hakları:

© 2015 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Sertifika No: 12746

Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.

Çeviri: Zeynep Arık Tozar

Editör: Cem Duran

Özgün Kapak Tasarımı: Mecob

Sayfa Uyarlama: Bahadır Erşık

ISBN: 978 605 4729 53 1

I. Baskı: Ağustos 2015

IV. Baskı: Aralık 2018

Deren Matbaacılık

Beylikdüzü OSB Mah. Orkide Cad. No: 9/Z

Merkez Köyü, Beylikdüzü İstanbul

Tel: (212) 612 31 80 Sertifika No: 34011

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.

Şahkulu Mah. Büyük Hendek Cad. Brot Apt. No: 4/10

Beyoğlu İstanbul

Tel: (212) 245 08 39

e-posta: domingo@domingo.com.tr

www.domingo.com.tr

Jeanette, Karen & Aline'e. Sizi bulduğum
için çok mutluyum.
Sevgilerimle, Marcus

Yazar hakkında

Marcus Chown, ödüllü bir yazar ve televizyoncudur. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde radyo astronomi alanında çalışmıştır. Haftalık bilim dergisi *New Scientist*'te kozmoloji danışmanlığı görevini sürdürmektedir.

Çok satan *Evren Tweetlendi*, *Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez*, *Atomların Dansı*, *The Never Ending Days of Being Dead* ve *The Magic Furnace* gibi kitapların yanında, 2011'de FutureBook Dijital Yenilik Ödülü alan iPad uygulaması *Solar System*'in da yazarıdır.

İÇİNDEKİLER

Önsöz xi

BİRİNCİ KISIM: BİR CANLI NASIL İŞLER

1: Ben bir galaksiyim 1

HÜCRELER

2: Roket yakıtlı bebek 17

SOLUNUM

3: Geleceğe geri geri yürümek 27

EVRİM

4: Cinselliğin büyük patlaması 41

CİNSELLİK VE EŞEYLİLİK

5: Meraklı madde 57

BEYİN

6: Yüzde bir milyarlık avantaj 73

İNSANIN EVRİMİ

İKİNCİ KISIM: MADDEYİ İŞE KOŞMAK

7: Genetik mühendisliğinin uzun tarihi 89

UYGARLIK

8: Yaşasın zıtların çekimi 103

ELEKTRİK

9: Programlanabilir madde 117

BİLGİSAYARLAR

10: Zamanda yolculuğun icadı 127

PARA

11: Büyük dönüşüm 139

KAPİTALİZM

ÜÇÜNCÜ KISIM: DÜNYA İŞ BAŞINDA

12: İz bırakmayan başlangıç 153

JEOLOJİ

13: Dünya'nın aurası 163

ATMOSFER

DÖRDÜNCÜ KISIM: İŞLEYİŞİN ÖZÜ

14: Hepimiz buhar makinesiyiz 179

TERMODİNAMİK

15: Sihirsiz sihir 189

KUANTUM KURAMI

16: Yavaşlığın keşfi 207

ÖZEL GÖRELİLİK

17: Kütleçekimin sesi 217

GENEL GÖRELİLİK

18: Çok küçük şeylerin gümbürtüsü 235

ATOMLAR

19: Şu an gibisi yok 253

ZAMAN

20: Oyunun kuralları 263

FİZİK YASALARI

BEŞİNCİ KISIM: KOZMİK BAĞLANTI

21: Dünü olmayan gün 273

KOZMOLOJİ

22: Evrenin efendileri 287

KARA DELİKLER

Teşekkür 297

İzinler 298

Notlar 299

Kaynakça 339

Meraklısı için 346

ÖNSÖZ

Bu kitabın ortaya çıkış nedeni olağanüstü bir editörle, Neil Belton'la çalışmış olmamdır. Onun izini dikkatle sürmüş olduğumu da belirtiyim; ta Jonathan Cape'ten Faber'a kadar... Neil, birçok yeteneğe sahiptir. Bu yeteneklerinden biri de, yazarlarının güçlü yönlerini bilmesi ve onları yazdıklarından daha iyisini yazmaya yönlendirmesidir.

Benim marifetimse, karmaşık fiziği, otobüste yanımda seyahat eden birine anlatabilmemdir (belki de, otobüste benim yanıma oturma *talihsizliğine uğramış* birine demem gerekirdi). Ama fiziğin yanı sıra, başka şeylere de merakım vardır. Epeyce roman ve hikâye okurum. Tarihe ilgi duyarım. Koşmayı severim. Hatta 2012'de Londra Maratonu'nu koştuğumu da ekleyeyim (bunu, yeni tanıştığım birine, tanışıklığımızın ilk üç dakikasında söylemeyi nadiren ihmal ederim).

Neil'in büyük fikri, bu iki şeyi birleştirmem üzerineydi: Karmaşık fiziği sokaktaki insana anlatma becerimi, *her şeyi* sokaktaki insana anlatmada kullanacaktım.

Gözüm korkmuştu. Her şey hakkında nasıl yazabilirdim ki? Nereden başlayacaktım? Böylesine geniş çaplı bir malzeme yığınına akla uygun biçimde nasıl düzenleyebileceğimi düşünmeye başladıysam da, yaptığım bütün taslakları yırtıp attım. Her şeyi değiştiren, iPad için *Solar System*'ı yazmak oldu. Gezegenler, aylar, asteroitler ve kuyruklu yıldızlar hakkındaki 120 yazıyı tamamlamak için yalnızca 9 haftam vardı ve işin içine balıklama atlayıp, yolumu el yordamıyla bulmaktan başka çarem yoktu. Bu yöntem işe yararmış olmalı ki uygulama birkaç ödül aldı. Bu sefer yaptığım da yine bu oldu. Kaygılarımı yenip yazma işine balıklama atlayıverdim.

Tam bir mücadele içinde buldum kendimi. Genelde, fizikle ilgili bir şey sormam gerektiğinde bir fizikçi belirler (bu, Nobel Ödüllü bir fizikçi de olabilir) ve onu telefonla ararım. Benim aptalca sorularımı anında yanıtlamaları olasılığı yüzde 95'tir. Anında

yanıtlayamasalar bile, en azından bana açıklama yapmak için çaba gösterirler. Ama para, cinsellik ve insan beyni gibi, hakkında hiçbir şey bilmediğim konularda, son derece temel düzeydeki sorularımı bile yanıtlayabilecek birini belirlemek zor oluyordu. Böyle birilerini bulup da telefonla aradığım zaman ise sorularımı, anlayabileceğim o çok basit düzeyde yanıtlayamıyorlardı genellikle. Daha da kötüsü, sanki farklı dilleri konuşuyorduk bu kişilerle. Bütün sorularımı yanıtlayabilecek birilerini bulana kadar iki, üç ya da dört kişiyi aramam gerekiyor, buna rağmen kimi zaman kimseyi bulamıyordum. Öyle zamanlarda, farklı kişilerin söyledikleri ve okuduklarımdan edindiğim bilgileri bir araya getirip bir açıklama oluşturmak zorunda kalıyordum.

Ama Neil haklıydı. Yazmam gereken kitap buydu; beni, konfor alanımın dışına çıkaracak ve sonunda, bana heyecan ve mutluluk veren bir deneyim yaşatmış olacak kitap. Hakkında hiçbir şey bilmediğim onca şeyi öğrenmek çok hoşuma gitmiş ve üzerinde yaşadığımız dünyanın ne harikulade bir dünya olduğunu takdir etmeye başlamıştım – kendi kurgulayabileceğimiz herhangi bir şeyden çok daha inanılmaz bir dünya. Bu yolda yürürken şaşırtıcı birçok şey öğrendim. Aşağıdakiler gibi:

- CDO-square (teminatlı borç senetleri) adı verilen ve dünya ekonomisini 2008’de batıran toksik yatırımlardan biri olan olguyu anlamak bile, en azından *1 milyar* sayfalık doküman okumayı gerektirebilir.
- Cıvık mantarlarda 13 farklı cinsiyet vardır. (Eş bulma ve ilişkinizi sürdürme konusunda sorunlar yaşadığınızı düşünüyorsanız, bir daha düşünün!)
- Bütün insanlığı bir küp şekerin hacmine sığdırabilirsiniz.
- 1/3 oranında mantarsınız; yani DNA’nızın 1/3’ünü mantarlarla paylaşırsınız.
- Bir binanın zemin katında, en üst katla kıyaslandığında daha yavaş yaşlanırsınız.
- İnsanları Neandertallere göre avantajlı kılan önemli bir özellik. . . *dikişti*.
- IBM bir zamanlar, bilgisayarların küresel pazarda *beş tane* ile sınırlı kalacağı tahmininde bulunmuştu.

- Bugün vücudunuz yaklaşık 300 milyar –yani Galaksimizdeki yıldızların sayısından daha fazla sayıda– hücre üretecek (hiçbir şey yapmadan bitkin düşmeme şaşmamam gerek).
- İster inanın ister inanmayın, evren dev bir hologram olabilir. *Siz* de öyle.

Bilgiyle dolup taşan toplumumuzda her şeyin yanınızdan yüksek hızlı bir tren gibi geçip gittiğini düşünüyorsanız kitabım, yirmi birinci yüzyılda işlerin nasıl yürüdüğü konusundaki bilgilerinizi hızlı ve acısız biçimde güncelleyebilir. Bu kitap, nihayetinde, bir insanın her şeyi anlama çabasından ibarettir. Yok, aslında bunu söylemek yanlış olur. Kitap, Bir İnsanın Hemen Her Şeyi Anla(t)ma Girişimi - Birinci Cilt olarak nitelendirilebilir.

Marcus Chown, Londra, Mart 2013

BİRİNCİ KISIM

Bir Canlı Nasıl İşler

I:

BEN BİR GALAKSİYİM

Hücreler

Gerçekte tek ve bütünsel bir mevcudiyetimizin
olmadığı rahatlıkla savunulabilir.

LEVIS THOMAS

Kafamın içinde biri var ve o ben değilim.

PINK FLOYD

Kendim olduğumu düşünürüm. Ama değilim. Ben bir galaksiyim. Hatta bin galaksi. Vücudumdaki hücrelerin sayısı, bin Samanyolu'ndaki yıldızların sayısından fazla. Ve bu sayısız hücreden tek bir tanesi bile kim olduğumu bilmediği gibi, umursamıyor da. Bunu yazan bile *ben* değilim. Yazdığım düşünce, aslında bir tomar beyin hücresinin, yani nöronların işi. Omuriliğimden aşağı, el kaslarımda bulunan bir başka hücre tomarına elektrik sinyalleri iletmektedir şu anda.¹

Yaptığım her şey muazzam sayıda, trilyon kere trilyonlarca hücrenin eşgüdömlü faaliyetlerinin birer sonucudur. "Hücrelerinin *benim* çıkarıma çalıştıklarını, aldıkları her nefesin *benim* için olduğunu düşünmek hoşuma gider; ama benim duyularımı algılayıp, müziğimi dinleyip düşüncelerimi düşünerek sabahın erken saatinde parkta yürüyen belki de aslında *onlardır*," diye yazmıştı Amerikalı biyolog Lewis Thomas.²

İstisnasız her birimizin gerçekte birer hücreler süper-kolonisi olduğumuzu keşfetme sürecinde atılan ilk adım, hücrenin kendisinin keşfi olmuştur. Bunun için hakkını vermemiz gereken kişi, Hollandalı keten tüccarı Antonie van Leeuwenhoek'tur. Leeuwenhoek, kumaşların lif yoğunluğunu kontrol etmede kullanılan büyüteçte uyarlamalar yaparak geliştirdiği ufacık bir büyütecin yardımıyla, tarihte canlı bir hücre *görmeyi* başaran ilk kişi olmuştu. 1673 Nisanı'nda Londra Kraliyet Derneği'nin (Royal Society of London) *Felsefe Tutanakları* (*Philosophical Transactions*) dergisinde yayımladığı bir yazıda şöyle diyordu Leeuwenhoek: "Elimden aldığım bir miktar kanı gözlediğimde küçük, yuvarlak küreciklerden oluştuğunu gördüm."

"Hücre" terimi, aslında yirmi yıl kadar önce İngiliz bilim insanı Robert Hooke tarafından ortaya atılmıştı. 1655'te bitki dokularını inceleyen Hooke, birbiri üzerine istiflenmiş cansız bölümlerin

varlığını fark etmişti. Ancak hücrelerin yaşamsal Lego tuğlaları olduğunu ne kendisi ne de van Leeuwenhoek fark edebilmişti. Hücre, bir “biyolojik atom”dur. Bildiğimiz kadarıyla *hücresel yaşam dışında* bir yaşam biçimi yoktur.

Prokaryotlar: korunmalı bir mikroeovren

Hücrelere ilişkin ilk kanıtlar, yaklaşık 3,5 milyar yıl yaşındaki fosillerden gelir. Ancak belirsizlik taşımakla birlikte, 3,8 milyar yıl kadar öncesine ait başka kanıtlar da vardır. Bunlar, kayalarda bulunan ve canlılığa özgü kimyasal dengesizliklere işaret eden kanıtlardır. “Prokaryot” adıyla bilinen ilk hücreler özünde, boyları milimetrenin binde birini geçmeyen küçücük, şeffaf, balçık keseciklerinden ibaretti. Bu hücreler içlerinde, maddeleri bir araya getirerek enerji üreten tepkimeler gibi kilit kimyasal tepkimeleri hızlandırabiliyor, bu tepkimelerle ortaya çıkan protein ve diğer kırılğan ürünleri de ortamdaki asit ve tuz gibi toksik maddelerden koruyordu. Balçık kesecikleri, düzensizlik ve kaosu egemen olduğu bir okyanusta korunaklı birer ada, düzen ve karmaşıklığın güvenle gelişebileceği birer mikroeovren sığınağıydı.

Bu tür hücreler karmaşıklıklarını büyük ölçüde proteinlere borçluydu. Proteinler, amino asit yapıtaşlarının bir araya gelmesiyle oluşan ve milyonlarca atom barındıran megamoleküllerdir. Tıpkı bir İsviçre çakısı gibi her kılığa girebilen bu moleküller, biçim ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak sayısız görev üstlenebilirler: kimyasal tepkimeleri hızlandırmaktan tutun, hücresel yapı iskeleleri kurmaya ve hücrelerin hareketine güç sağlamak için sarmal yaylar gibi bükülmeye kadar. Basit bir bakteri bile 4.000 kadar farklı proteine sahiptir. Gerçi bazı proteinler (örneğin üremede gerekli proteinler) çok kısa bir süreliğine inşa edilip –başka bir deyişle “ifade edilip”– sonra tekrar parçalanır. Proteinler DNA (deoksiribonükleik asit) tarafından kodlanır. DNA ise hücre içindeki kimyasal çorbanın, yani “sitoplazma”nın içinde bir halka şeklinde serbestçe yüzen çift sarmallı bir moleküldür.

Hücre yapısı, muazzam derecede ayrıntılı ve karmaşıktır. Öncelikle, hücrenin kesesi de diyebileceğimiz hücre zarı vardır. Bu

yapı biri su-sever, diğeri de su-sevmez iki uca sahip moleküller olan yağlı asitlerden (“lipid”lerden) oluşmuştur. Bu tür lipidler büyük sayılarda (örneğin bir milyar kadar) bir araya geldiklerinde, kendiliklerinden iki katman halinde birleşirler. Bu iki katman, su-sevmez uçları birbirlerine bakacak ve içte kalacak biçimde, su-sever uçları ise dışarıya bakacak biçimde bitişerek zarı oluştururlar.

Hücreyi çevreleyen lipid katmanlar pasif birer bariyer değildir. Tam aksine, bu çift katmanlı zar, moleküllerin hücre içine ve dışına hareketlerini düzenler. Hücreyi, surla çevrelenmiş bir antik kent olarak düşünün. Fare gibi küçük canlılar sur içinden nasıl ileri geri geçebilirlerse, küçük moleküller de hücre zarından içeri dışarı engellenmeksizin geçebilirler. Ve insan gibi görece büyük canlıların ancak surdaki kapılardan girip çıkabilmeleri gibi, büyük moleküllerin geçişleri de benzer şekilde, hücre zarındaki “kapılar” tarafından düzenlenir. Örneğin zarın kalınlığı boyunca uzanan ve büyükçe moleküllerin bir tünelden geçercesine hücre içine ve dışına hareket etmesine aracılık eden, içi boş tüplere benzer proteinler vardır. Taşıyıcı proteinlerin görevi ise büyükçe molekülleri zarın bir tarafından diğerine fiziksel olarak taşımaktır.

Hücre içine giren moleküller enerji üretimi, protein yapımı ve dış dünya ile ilgili bilgi almak için ihtiyaç duyulan moleküllerdir. Örneğin dış ortamda yeni hücre yapımı için gerekli moleküllerin bol olması, bir hücreyi üremek için tetikleyebilir.³ Veya zarın dış tarafından gelen su moleküllerinin azlığı, hücreye kuruma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu yönünde bir uyarı olabilir. Bu durum, hücre içinde bir kimyasal tepkime zincirini tetikleyebilir ve DNA’nın bir kısmının RNA (ribonükleik asit) moleküllerine kopyalanmasına yol açar. RNA molekülleri ribozom adı verilen nanomakinelere ulaştığında, ribozomlar RNA’lardaki şablondan yararlanarak hücreyi su kaybından koruyacak mukusun bileşenleri olan proteinleri üretirler.⁴ Fakat milyonlarcası üretilerek sitoplazma içinde salınan protein molekülleri, hücre zarından geçemeyecek kadar büyüktür. Bu proteinler “vezikül” adı verilen, zardan yapılmış kesecikler içinde paketlenir. Veziküller zarla kaynaşır ve böylece zarı parçalamadan ve yapısal bütünlüğünü bozmadan içindeki proteinleri dış dünyaya salabilir.

Ancak hücreler, kendi ortamları içinde bulunan moleküllerin dışında, diğer hücelere ait moleküllere de yanıt verirler. En basit ve en ilkel prokaryotlar bile birbirleriyle işbirliği içinde olmuşlardır. Bunu büyük mikrobiyal topluluklara ait fosiller olan “stromatolitler”den anlıyoruz. Canlı durumdaki stromatolitlere bugün bile (örneğin Avustralya’nın batı kıyısı açıklarındaki sığ tropik sularda) rastlanmaktadır ve bu fosil toplulukların en eskisi yaklaşık 3,5 milyar yaşındadır.

Hücre bir yandan kendini çevresel değişimlerden korumak diğer yandan kendi türünden diğer hüceleri de aynı şeyi yapmaları için uyarmak üzere protein üretebilir. Bu türden kimyasal sinyaller, devasa koloniler halinde yaşayan basit prokaryotlar için hayati önemdedir. “Biyofilm” adı verilen devasa prokaryot kolonileri, büyük olasılıkla yeryüzünde beliren ilk organize yapılardır. Böyle bir biyofilmin iç kısmındaki hücreler, kendi zarlarının başka hücrelerin zarlarına yapışmasını sağlayan şekersi bir protein salgımlarken, filmin dışındakiler ise kendilerini çevresel toksinlerden korumaya yardımcı olan başka proteinler üretecekler, hatta bazı hücreler, değerli nitrojeni yoldaşlarının kullanımına sunma uğruna intihar bile edecektir. Belirli bir gruptaki hücrelerin farklı görevleri yerine getirmek üzere farklılaşma yoluna gittiği böylesi bir işbirliği, vücudumuzdaki hüceleri akla getirir. Bir yandan da, bu türden üst düzeyli bir hücresel işbirliğinin milyarlarca yıl önce nasıl başlamış olabileceğinin ipuçlarını verir.

Prokaryotların büyüklük ve karmaşıklıklarının sınırları vardır. Bir kere, DNA’ları aracılığıyla birleştirilen ve ifade edilen* proteinler hücre boyunca ancak yavaşça yayılarak, yani “difüzyon” yoluyla ilerleyebilir. Dolayısıyla belirli bir büyüklüğü aşan bir prokaryot, çevresel tehlikelere tepki vermek açısından ölümcül düzeyde yavaş kalacaktır. Bu sorunun, ancak 1997’de keşfedilebilen *Thiomargarita namibiensis* gibi ender rastlanan prokaryotlar üstesinden gelebilmiştir. Genişliği 0,75 milimetre olan ve gözle rahatça görülebilen dev kükürt bakterisi bir değil, sitoplazma boyunca eşit biçimde dağılmış *binlerce* DNA halkası içerir. Bu durum, bölgesel

* “Gen ifadesi”, DNA’nın belirli bir parçasının belirli bir proteini üretme sürecidir. (ç.n.)

DNA parçaları tarafından üretilen proteinlerin, yavaş bile yayıl-salar hücrenin her tarafına hızlı biçimde ulaşabilmeleri anlamına gelir.

Ancak prokaryotları boyutça küçük kılan önemli bir sorun daha vardır. Bir prokaryot büyüdükçe enerji gereksinimi de artar. Eğer *T. namibiensis*'in stratejisini kullanırsa, enerjisinin giderek artan bir bölümünü büyük miktardaki DNA'yı idare etmek için kullanması gerekir. Bu da diğer hücresel süreçler pahasına olaca-ğından, artmış karmaşıklığa giden yol gerçekten ve tümüyle ka-panmış durumdadır.

Ama boyutça büyümenin bir yolu daha vardır: yamyamlığa başvurmak.

Ökaryotlar: keselerin içindeki kentler

Günümüzden yaklaşık 1,8 milyar yıl önce bir prokaryot, bir baş-ka prokaryotu yuttu. Prokaryotlar aslında bakteridirler ve daha egzotik “arkebakteri”leri zaten içerirler. Arkebakteriler, kaynar durumdaki kükürt kaynakları gibi aşırı koşullarda hayatta kala-bilen mikroorganizmalardır ki bu yüzden yeryüzündeki ilk yaşam biçimlerinden oldukları düşünülüyor.⁵ 1,8 milyar yıl önce gerçekleş-en şey ise, *bir arkebakterinin bir bakteriyi yutması* olmuştu.

Böylesi bir olay bundan önce de sayısız kez gerçekleşmiş ol-malıydı. Ama daha önceleri bakteri ya yutulup yok edilmiş ya da dışarı tükürülmüştü. Bu seferse, bakteri, bilmediğimiz bir nedenle hayatta kalmayı başardı. Hatta bununla kalmayarak *gelişip ser-pildi*. Yutan ve yutulan arasında karşılıklı yarar söz konusuydu. Yutulan, acımasız dış dünyaya karşı güvende olacağı korunaklı bir ortam, yutan ise yeni bir güç kaynağı bulmuştu.

Böyle bir şeyin gerçekten olduğuna dair kanıtlar, televizyon programlarıyla tanınan gökbilimci Carl Sagan'ın ilk eşi, Ameri-kalı biyolog Lynn Margulis tarafından bir araya getirilmiştir. Bu olayın kanıtlarını bugün bile bulmak mümkündür. Bütün hay-vanların ökaryotik hücrelerinde bulunan enerji üretici mito-kondrilerin, serbest yaşamalı bakterilerle aynı boyutta olmalarının

ötesinde, *görünüşleri de onlara benzer*.⁶ Daha da ilginç, ana hücrenin DNA'sından farklı ve ayrı olan ve tıpkı prokaryotlardaki gibi halka biçiminde olan kendi DNA'ları vardır.

Aslına bakılırsa ökaryotlarda bunun gibi yüzlerce, hatta binlerce mitokondri bulunabilir. Mitokondriler, kendi işlerinde birer güç istasyonudur; hayatın gezici güç kaynakları ATP (adenozin trifosfat) moleküllerini yapmak üzere, besinlerdeki hidrojeni çılgınca bir tempoda oksijenle tepkimeye sokarlar.⁷ “Oldukça büyük bir bölümüm mitokondrilerimden oluşuyor,” diye yazmıştı Amerikalı biyolog Lewis Thomas. “Kuru ağırlık bakımından, vücudumun geri kalanından aşağı kalır yanırları olmasa gerek. Bu açıdan kendimizi solunum yapan bakterilerden oluşmuş kocaman, hareketli bir koloni olarak düşünebiliriz.”⁸

Böyle yarı-özerk biçimde çalışan mitokondrilere sahip bir hücrenin, artık DNA'sının eskisi kadar büyük bir bölümünü enerji üretimine adanması gerekmez. DNA başka şeyler, başka protein nanodüzenekleri kodlamakta özgür kalmıştır. Bu nedendir ki, hücreler 1,8 milyar yıl önce mitokondriye kavuştuklarında, çok daha büyük boyutlara ve daha büyük bir karmaşıklığa ulaşma özgürlüğünü de bir anda kazanmış oldular.

Büyük bir ökaryotu tipik bir prokaryotla karşılaştırmak, ke-diyle pireyi karşılaştırmak gibidir. Böylesi bir megahücre, zarla çevrili yüzlerce, hatta binlerce kese içerebilir. Bu organeller, hücrede yapılacak işler için işbölümüne giderek, günümüz kentlerindeki fabrikalar, postaneler ve diğer özelleşmiş binalar gibi işlev görürler.

Sözgelimi lizozomlar, hücrenin çöp imha birimleridir. Proteinleri yapıtaşlarına parçalayarak yeniden kullanılmalarını sağlarlar. Hamburgerinizin içindeki marul yaprağının solup pörsümesinin nedeni, köftenin ısısının marul hücrelerindeki lizozom zarlarını parçalamasıdır. Bunun sonucunda marulu parçalayıp sindiren enzimler serbest kalır. Bir başka organel, hücresel bir kargo şirketi gibi iş gören granüllü endoplazmik retikulumdur. Ribozomlarla bezenmiş bu organel, çekirdekten gelen RNA'yı, hücre dışındaki yabancı birimlere gönderilmek üzere proteinlere çevirir. Bir diğer organel de, paketleme merkezine benzeyen Golgi cisimciğidir. Golgi cisimciği proteinleri, sözgelimi dışlarını su emebilen bir şeker katmanıyla kaplamak yoluyla değişime uğratabilir. Bu proteinler

daha sonra kan hücrelerinin yüzeyini sümüksü ve kaygan hale getirip daha kolay hareket etmelerini sağlayacaktır.⁹

İşin gerçeği, ökaryotik hücre, tek bir organizmadan çok, her bir bireyi tek başına yaşama yetisini çoktan yitirmiş bir organizma kolonisini andırır. “Jeolojik zamanın ilk yarısı boyunca atalarımız bakteriydi,” der Richard Dawkins. “Canlıların çoğu hâlâ bakteridir ve sahip olduğumuz trilyonlarca hücreden her biri, aslında birer bakteri kolonisidir.” Ve bunların hepsi şans eseri olmuştur. “Bir başka hücreye giren ilk mitokondrinin derdi, işbirliği ve bütünleşmenin gelecekte sağlayacağı yararlar değildi,” diye açıklar Stephen Jay Gould. “Tek derdi, çetin koşulların hüküm sürdüğü Darwinci bir dünyada yaşamını sürdürebilmektir.”¹⁰

Organeller, hücrenin DNA’sını içeren ve hücresel etkinliğin büyük çoğunluğunu yönlendiren çekirdeğin emri altındadır. İngiliz botanikçi Robert Brown 1833’te, çekirdeğin karmaşık hücrelerde ortak bir özellik olduğunu fark etmişti.¹¹ Çift zarla çevrelenmiş çekirdek, hücre adını verdiğimiz kenti çevreleyen surların içinde, kendisi de surlarla çevrili bir kale gibidir. Bu zar, moleküllerin çekirdek içine girişlerini ve DNA tarafından ifade edilen proteinlerin çekirdekten çıkışlarını denetler.

Çekirdeğin varlığı, organel bolluğuyla birlikte, bir ökaryotun tanımlayıcı özelliklerinden biridir. Prokaryotlarda ne çekirdek vardır, ne de organel. Zaten *prokaryot* sözcüğünün kendisi de “çekirdek öncesi” anlamına gelir; *ökaryot* ise köken olarak “gerçek çekirdek” demektir. Çekirdek muhtemelen ökaryotun karmaşıklığındaki bir hücre için bir zorunluluktur, çünkü değerli DNA’nın hücrenin her bir köşesinde devam eden faaliyet kargaşasından korunması gerekir.¹²

Çekirdeğe ve çok sayıda organelle sahip olmasının yanında, ökaryotu prokaryottan ayıran bir özellik de hücre iskeletine sahip olmasıdır. Tübülün gibi proteinler, hücreyi bir baştan diğerine kat eden uzun iskele direklerini oluşturur. Bu mikrotübüller hücrenin yumuşak kese yapısına sertlik katarak hücreye biçim verirler. Bunun dışında, organellerin zara tutunmasını da sağlarlar. Böylece tüm insanlarda iç organların benzer biçimde düzenlenmiş olması gibi, organellerin de tüm ökaryotlarda benzer biçimde düzenlenmesi sağlanır. Ancak mikrotübüller, bir iç iskele olmanın ötesinde,

maddelerin hücrenin bir tarafından diğerine ulaşımını sağlayan bir iç demiryolu ağı işlevi de görürler. Bunu bir uçta büyürken diğerinde parçalanarak gerçekleştirdikleri için de diyebiliriz ki, *itici gücü sağlayan şey, tuhaf da olsa, trenden çok demiryolunun kendisidir*. Yapımları yeni tamamlanmış ve keselere (veziküllerle) sarılmış proteinlerin tek yapacakları, uygun bir mikrotübülün üzerine atlayıvermektir; bundan sonra hücre içindeki uzak bir hedefe hızla taşınabilirler.

HücreSEL demiryolu ağı, ökaryotun, bir prokaryotu büyümekten alıkoyan en büyük engeli aşmasını mümkün kılar: maddeleri hücre içinde bir yerden diğerine ulaştırmasını. Ökaryot, proteinlerin sitoplazma içinde yavaşça yayılmasını beklemek zorunda kalmak yerine, onları bu hızlı transit ağ yoluyla oradan oraya süratle taşıyabilir.

Prokaryotlara kıyasla çok daha gelişmiş olsalar bile ökaryotların da sınırları vardır. Organellerin etkinliğini düzenlemek karmaşık bir iştir. Birkaç binden fazla organeli olan bir hücreyi düzenleme işi çekirdeğin kapasitesini aşacaktır. Sonuçta ökaryotlar da prokaryotlar gibi biyolojik birer çıkmaz sokaktır. Artan karmaşıklığa giden yol, başka bir yönde uzanır: benzeri görülmemiş bir ölçekte işbirliği.

Çok hücreli canlılar

Ökaryotlar, ortaya çıktıkları andan itibaren, neredeyse kesin olarak, gitgide daha da sofistike hale gelen yollarla, birbirleriyle işbirliği yaparlar. Ancak bundan yaklaşık 800 milyon yıl önce kritik bir eşiği geçtiler. Doğa, ökaryotları oluşturmak üzere simbiyotik prokaryot kolonilerini bir araya getirmişti. Aynı numaraya bir kez daha başvurdu ve çok hücreli canlıları oluşturmak üzere simbiyotik ökaryot kolonilerini bir araya getirdi.

Yeryüzündeki yaşamın çok hücreli aşamaya adım atmadan önce tek hücreli aşamada yaklaşık 3 milyar yıl geçirmiş olması, muhtemelen, bu adımı atmanın ne denli güç olduğunu gösterir. Bu durumun Dünya-dışı yaşam arayışımızla ilgili çıkarımları da olabilir. Gökbilimcilerin elli yıldır süren araştırmalarına rağmen,

galaksimizde herhangi bir zekâ formunun izine henüz rastlamadık. Bu durumun bir açıklaması şu olabilir: Belki Samanyolu'nda yaşam yaygındır ama yalnızca tek hücreli mikroorganizmalarla sınırlı kalmıştır.

İnsanlar; tıpkı hayvanlar, bitkiler ve mantarlar gibi çok hücreli canlılardır. Her birimiz, 100 milyon kere milyon hücreden oluşmuş birer koloniyiz. Bunlar, beyin ve kan hücrelerinden kas ve cinsiyet hücrelerine kadar uzanan yaklaşık 230 farklı tip içerir. Ve hepsi, deri hücrelerinden yapılmış bir keseyle sarılmıştır. Bu keseyi, muhafaza işlevi açısından tek bir hücrenin zarına benzetebiliriz.

Her hücre, aynı DNA'nın birer kopyasını taşır (Olgun haldeki kan hücreleri hariç; bunların, pratik faydalarından dolayı çekirdekleri bile yoktur). Ancak bir hücrenin böbrek hücresine mi yoksa pankreas hücresine mi dönüşeceği, DNA'nın hangi kısmının okunduğuna ya da ifade edildiğine bağlıdır. Hangi kısmın okunduğunu belirleyen şey ise düzenleyici (regülatör) genlerdir. Kendileri de aslında birer DNA parçası olan düzenleyici genler, sözgelimi belirli bir kimyasalın ortamdaki derişimine göre DNA'nın okunmasını başlatıp durdurabilen genlerdir.

Bir insanı oluşturan 100 trilyon hücreden her biri, milyarlarca nanomakinenin durmaksızın vızır vızır çalıştığı ve karmaşıklık bakımından büyük bir kentten geri kalır yanı olmayan birer mikro-dünyadır. Bu dünya depolar, atelyeler, idari merkezler ve trafikle tıklım tıklım dolu sokaklar içerir. Amerikalı gazeteci Peter Gwynne'in sözleriyle, "Enerji santralleri hücrenin enerjisini sağlar; fabrikalar, kimyasal ticaretin vazgeçilmez birimi proteinleri üretir; karmaşık nakliye sistemleri belirli kimyasalları hücre içinde bir noktadan diğerine ve hücre dışına yönlendirir; barikat muhafızları ithalat ve ihracatı denetlemenin yanı sıra tehlike işaretlerine karşı dış dünyayı gözlem altında tutar. Disiplinli biyolojik ordular, işgalcilerle mücadele etmeye hazır ve nazırdır. Merkezi konumdaki genetik hükümet ise, düzeni korumaktan sorumludur."¹³

Ve bütün bunlar, yaşamımızın her gününün her anında, üstelik de biz olup biten her şeyden tümüyle habersizken gerçekleşmektedir. Biyolog ve yazar Adam Rutherford bunu şöyle ifade eder: "Yaptığınız her hareket; her bir kalp atışınız, düşünceniz, duygunuz; yaşadığınız her aşk, nefret, sıkıntı, heyecan, acı, hüsrân ya

da neşe duygusu; her bir sarhoşluk ve akşamdan kalmalık; her bir yara, hapşırık, kaşıntı, burun akıntısı; içtiğiniz, kokladığınız ya da tattığınız her şey, aslında *hücrelerinizin birbirleriyle ve evrenin geri kalanıyla kurduğu iletişimin bir sonucudur.*"¹⁴

Hepimiz yaşama tek bir hücre olarak başlarız. Bu hücre, vücuttaki en küçük hücre olan spermin, vücuttaki en büyük hücre olan ve çıplak gözle bile görülebilen yumurta hücresi ile kaynaşmasının ürünüdür. Her insan, yaklaşık yarım saatini tek bir hücre olarak geçirir ve ardından bu hücre ikiye bölünür. Bu başlı başına olağanüstü bir süreçtir. Hücre, yalnızca otuz dakika gibi kısa bir süre içinde DNA'sını kopyalamakla kalmayıp (bu işlem, hız kazanmak adına DNA'nın birden fazla bölgesinde eşzamanlı olarak gerçekleşir) 10 milyar kadar da karmaşık protein inşa etmek zorundadır. Bu, *saniiyede 100.000'den fazla* protein anlamına gelir.

Altmış dakika içinde bu iki hücre bölünerek önce dört, sonra sekiz hücre oluşturur ve bölünmeler bu şekilde devam eder. Birkaç bölünmeden sonra, gelişmekte olan embriyo içinde beliren kimyasal farklılıklar, hücrelerin de farklılaşmasına neden olur. Bu süreçte hücreler böbrek, beyin, deri vs. hücrelerine dönüşmeleri gerektiğini "öğrenirler". Yıllar içinde tek bir hücre, hücrelerden oluşan bir galaksiye dönüşür; daha doğrusu, *hücrelerden oluşan binlerce galaksiye.*

Beyin hücreleri dışında vücudunuzdaki hücrelerden hiçbiri kalıcı değildir. Mide duvarını döşeyen hücreler, bir jilet bıçağını bile eritebilecek güçteki hidroklorik asitle yıkanıp durdukları için sürekli olarak yenilenmek zorundadır. Bu yüzden her üç-dört günde bir yeni bir mide astar dokusuna sahip olursunuz. Kan hücrelerinin ömrü daha uzun olsa bile onlar da dört ay sonra kendilerini imha eder. Her yedi yılda bir yeni bir insan olduğunuzu söylemek pek de yanlış sayılmaz. Hatta "yedi yıl kaşıntısı" dedikleri durumu da böyle açıklayabiliriz belki. Eşinize bakarsınız ve bir anda aklınıza şöyle bir düşünce geliverir: "Bu benim birlikte yaşamaya başladığım insan değil!"

Vücudunuzda ölen hücrelerin sayısı öylesine olağanüstüdür ki, sırf yerlerine yenilerini koymak için her gün yaklaşık 300 milyar

* İngilizcesi "seven-year-itch": Evlilik ya da ilişkilerin yedi yılın sonunda sıkıcı hale gelip yeni arayışların başladığını ima eden bir deyim. (ç.n.)

hücre üretmeniz gerekir. Bu sayı, galaksimizdeki yıldızların sayısından fazladır. Hiçbir şey yapmadan durmanın bu kadar yorucu olmasına şaşmamak gerek.

Yabancılar

Vücudunuzdaki hücrelerin sayısı astronomik ölçekte olabilir. Ama ne kadar çok olurlarsa olsunlar, bu hücreler hayatta kalabilmeniz için gerekli tüm işlevleri yerine getiremez. Bunun için prokaryotlar, mantarlar ve protozoa adı verilen tek hücreli canlılardan oluşan bir yabancı hücreler ordusunun yardımı gerekir.¹⁵ Sözelimi mide-nizde, tükettiğiniz gıdalardan besinleri almak için yüzlerce bakteri türü durmaksızın çalışmaktadır. Bu “iyi” bakterilerden bir kısmı antibiyotikler tarafından kazara öldürülürse, ishal gibi istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalınabilir.

Yabancı bakteriler, hastalık yapıcı (patojen) etkenlerle dolaabilecek boşluklara yerleşerek sizi hastalıktan korur. ABD hükümetince desteklenen beş yıllık bir çalışma olan İnsan Mikrobiyom Projesi’nin 2012’de yayımladığı bulgulara göre, insanların yaklaşık yüzde 29’unda burun boşluğu ve bağlı geçitler, daha çok MRSA (metisiline dirençli staphylococcus aureus) süperböceği olarak bilinen *Staphylococcus aureus* bakterisini barındırır. Bu kişiler herhangi bir olumsuz etki yaşamadıklarından, sağlıklı insanlarda bu canlıların “iyi bakteriler” olarak işlev görüp, zararlı hastalık yapıcıları uzakta tuttuğu yolunda bir sonuç çıkarmak mümkündür.

İnsan Mikrobiyom Projesi, vücudunuzda 10.000’den fazla yabancı hücre türü olduğunu göstermiştir – yani gerçek anlamıyla size ait olan hücrelerin 40 katı. Yalnızca yüzde 2,5’unuz insandır. Hatta derinizin her bir santimetrekaresi, yaklaşık 5 milyon bakterinin evidir. En yoğun bölgeler ise kulaklarınız, enseniz, burun kenarlarınız ve göbek deliğinizdir. Bunca yabancı bakterinin ne yaptığı ise sır. Örneğin, insan Mikrobiyom Projesi’nin ortaya çıkardığına göre, burnunuzdaki türlerin yüzde 77’sinin işlevleri hakkında hiçbir şey bilmiyoruz.

Vücudunuzdaki yabancı bakterilerin sayısı, önemlerinin azımsanmasına neden olabilir. İnsan Mikrobiyom Projesi’ne göre,

vücudunuzda yaşayan mikroorganizmalar, her biri belirli bir amaçla hizmet eden bir proteini kodlayan, en az 8 milyon gen içerir. İnsan genomundaki genlerin sayısı ise yalnızca 23.000'dir.¹⁶ Bir başka deyişle, vücudunuzda etkisini gösteren mikrobik genler, insan genlerinin sayıca 400 katıdır. Dolayısıyla insan olan kısmınız yüzde 2,5 bile değildir aslında, hepi topu yüzde 0,25'tir.

Vücudunuzdaki yabancı hücrelerin çoğu, ökaryotlardan çok daha küçük olan prokaryotlardan oluştuğu için, bunlar toplamda olsa olsa birkaç kilogramdır ya da kütlenizin yüzde 1 ila 3'ü arasında yer tutar. Bu hücreler DNA'nız tarafından kodlanmayıp, doğumdan sonra ya anne sütü ya da çevre aracılığıyla vücudunuza geçer, üç yaşına geldiğinizde ise aşağı yukarı şimdiki oranlarına kavuşurlar. Öyleyse yüzde 100 insan olarak doğduğumuzu ama yüzde 97,5 yabancı olarak öldüğümüzü söyleyebiliriz.

Biyolojik olay ufku

Her hücre bir başka hücreden doğar. François-Vincent Raspall'ın 1825'te ilk kez fark ettiği gibi, "*Omnis cellula e cellula*". Dolayısıyla vücudumuzdaki her hücrenin –Dünya'daki her hücrenin– soyunu, 4 milyar yıl kadar önce ortaya çıkan ilk hücreye kadar kesintisiz bir hat üzerinden sürebiliriz. Bu ilk hücreye "son evrensel ortak ata" (SEOA) denir. Nasıl ortaya çıktığını kimse tam olarak bilmiyor. Şurası kesin ki, doğa istediği tasarımı bulana kadar epeyce bir deneyden –devasa bir ön-evrim sürecinden– geçmiştir.

Genlerdeki hatalar ya da mutasyonlar, zaman içinde sabit bir hızla birikir. Böylece, örneğin, bir canlı türündeki belirli bir gene ait mutasyonlar diğer türdekinin iki katıysa, ilk türün ortak atadan diğerinden iki katı süre önce ayrıldığını söyleyebiliriz. İlk olarak Charles Darwin tarafından kurgulanan hayat ağacını çizebilmek bu sayede mümkün olur. Gelgelelim, bakteriler DNA'larını yeni nesillere aktarmakla kalmaz, birbirleriyle DNA takası da yaparlar. Bu yüzden SEOA'nın yakın çevresinde hayat ağacı, bir ağaçtan çok içine girilmez bir çalılığı andırır.

Fizikte kara deliğin "olay ufku" terimi vardır; yani içeri düşen madde için dönüşü olmayan nokta. Kara deliğin "kara" olmasının

nedeni, olay ufkunun kara deliği sarmalamasıdır – içinde hiçbir şey görülmez. Biyologlar da benzer şekilde, ötesindeki hiçbir şeyin bilinemeyeceği bir biyolojik olay ufkundan söz eder. Ne yazık ki SEOA da bu bölgede yer alır.

SEOA'dan bu yana Dünya, çok hücreli hayata da ev sahipliği yapmış olsa bile, asıl olarak bakteriyel bir dünya olmuştur. Gezegenimizde 10.000 milyar kere milyar kere milyar civarında, bir başka deyişle gözlenebilir evrendeki yıldızlardan milyar kat daha fazla bakteri olduğu düşünülüyor. Ancak bu, yeryüzü biyolojisinin gerçek resmini çizmeye yetmez. Virüsleri düşünün. “Dans eden bir virüs matrisinin içinde yaşıyoruz,” diye yazmıştı Lewis Thomas. “Bu virüsler, arılar gibi oradan oraya atlayıp durur; canlıdan canlıya, bitkiden böceğe, böcekten memeliye, memeliden bana, sonra tekrar geriye, derken denize. Ve bu arada biraz o canlının genomundan, biraz bu canlının gen iplikçiklerinden topladıkları parçaları da beraberlerinde sürüklerken bir yandan da DNA parçalarının çevrimini yapar ve büyük bir partide hizmet edercesine kalıtımı da bireyler arasında dağıtırlar.”¹⁷ Virüsler, hücrelerin makinelerini kullanmaksızın üreyemedikleri için hücresel yaşamın öncülleri olarak görülmezler. Ama kimbilir?

2:

ROKET YAKITLI BEBEK

Solunum

Tüm enerjimiz, gıdaların içindeki
tutsaklığından kurtulup serbest kalmış bir
güneş ışığı demetidir.

NICK LANE, *Yaşamın Yükselişi - Evrimin On
Büyük İcadı*

Yaşamımızı sağlamak için bulduğumuz yol,
elektronları Güneş'ten gelen fotonlarca
uyarıldıkları anda yakalamak, her sıçrayış
anında salınan enerjiyi ele geçirmek ve bunu,
kendi kullanımımız için çapraşık döngüler
içinde depolamaktır.

LEWIS THOMAS, *Bir Hücrenin Yaşamları*

Bir roket, beyaz duman sütunu ve turuncu alevler üzerinde yükselir. Bir bebek mutluluk anında dışarı doğru tekmeler savurur. Bu iki olay birbirleriyle ilişkisiz gibi görünebilir. Ama görünüş aldatıcıdır. Hem roket hem de bebek, temelde aynı kimyasal tepkimeyle enerji sağlar. İkisinin de güç kaynağı roket yakıtıdır.

Üzerinde şöyle bir düşünüldüğünde bunun çok da şaşırtıcı olmadığı görülür. Ağır bir roketi uzaya fırlatmak en güçlü (kilogram başına en büyük itkiyi sağlayan) yakıtı gerektirir. 3,8 milyar yıldır deneme-yanılmayla uğraşan yaşamın, canlılara güç sağlama çabaları sırasında eldeki en güçlü enerji kaynağına rastlamamış olması doğrusu biraz tuhaf olurdu.

Bu enerji kaynağı, hidrojen ile oksijen arasındaki kimyasal tepkimedir. Tepkimenin katılımcıları, hayvanlar söz konusu olduğunda, gıdalardan alınan hidrojen ve havadan alınan oksijendir; roket söz konusu olduğunda ise sıvı hidrojen ve sıvı oksijen.

Hidrojen ve oksijen arasındaki tepkime nasıl işler? Ve böylesine muazzam bir enerji tam olarak nereden gelir? Bunun için biraz ön bilgiye ihtiyacımız var.

Hidrojen ve oksijen atomları da dahil tüm atomlar, küçücük bir çekirdek ve ondan da küçük olan elektronlar içerir. Gezegenlerin, kütleçekim gücünün etkisiyle Güneş'in çevresinde dolanmaları gibi, elektronlar da elektrik kuvvetinin etkisiyle çekirdeğin yörüngesinde dolanırlar. Elektronlar atomun çevresinde dolanırken birçok farklı yörünge benimseyebilir. Ancak genelde en mutlu oldukları yer, enerjilerini asgariye indirmek adına, çekirdeğin olabildiğince yakınlarıdır.

Bu, fiziğin genel ilkelerinden biridir. Örneğin bir tepenin üstünde duran bir top için “yüksek yerçekimi enerjisine sahip” denir. Bu enerjii ilk fırsatta en aza indirmeye çalışacak, yani yerçekimi enerjisini azaltacak şekilde aşağı yuvarlanacaktır. Benzer şekilde

bir atomdaki elektronlar da, tıpkı tepeden aşağı yuvarlanan top gibi enerjilerini en aza indirmeye çalışır.

İki atom bir araya geldiğinde, elektronları kendilerine yeni düzenlenme biçimleri bulabilir. Eğer iki atomun ayrı kaldığı durumdakinden daha az enerjiye sahip bir düzenlenme biçimi varsa, tıpkı aşağı yuvarlanan top gibi kaçınılmaz olarak, bu iki atom birleşip bir molekül oluşturur. Kimya da bundan ibarettir: elektronların yeniden düzenlenmeleri.

Molekülün enerjisi, onu oluşturmak üzere bir araya gelen atomların enerjisinden düşük olduğu için, ortada fazladan bir enerji vardır. Fiziğin temel ilkelerinden biridir: Enerji var ya da yok edilemez; yalnızca biçim değiştirebilir (örneğin, elektrik enerjisinden ışık enerjisine dönüşebilir). Sonuç olarak, kalan bu enerji fazlası da *bir şeyler yapmak* için kullanılabilir.'

Sözgelimi bir rokette, bir hidrojen atomuyla bir oksijen atomu arasındaki tepkime (aslında H_2O , yani su oluşturmak için oksijenle tepkimeye giren hidrojen sayısı *ikidir*) büyük miktarda enerji açığa çıkarır. Bu enerji suyu ısıtır ve beyaz buharın roketin arkasından büyük hızla çıkmasını sağlar. Etki ve tepki eşit ve ters yönde olduğuna göre, roketi ileri iten de bu yüksek hızdaki egzozdur.

Bir roketin uzaya taşınabilmesi, hidrojen ve oksijen arasındaki tepkimeden bu denli çok enerji açığa çıkması sayesinde mümkün olur.² Bir maraton koşucusunun tek bir porsiyon makarnayla 42 kilometre koşabilmesi de yine bu sayededir. Yeryüzündeki istisnasız her canlı bu tepkimeden yararlanır.

Aslında enerji açığa çıkaran tek tepkime hidrojen ve oksijen arasındaki tepkime değildir. Oksijen Dünya'nın atmosferinde böylesine büyük miktarlarda bulunmazken canlılar kendileri için gereken enerjiyi fermantasyon gibi verimi çok daha az olan süreçlerle topluyordu. Maya hücreleri alkolü fermantasyon yoluyla üretir. Koşucuların kasları da oksijenleri azaldığında fermantasyon yaparak laktik asit üretir. Fermantasyon sürecinde iş yapmak için elde edilen enerji, açığa çıkan enerjinin ancak yüzde 1'i kadardır. Halbuki hidrojenin oksijenle girdiği tepkimede bu oran yüzde 40'tır.

Bu iki sayı bize biyolojik dünyayla ilgili ilginç ve derin bir şey söylüyor. Etoburların var olabilmesi için, besin zincirinde en az üç basamağın bulunması gerekir: bitkiler, bitkileri yiyen hayvanlar ve

bitkileri yiyen hayvanları yiyen hayvanlar. Fakat bitkiyle beslenen hayvanlar bitkilerin enerjisinin ancak yüzde 1'ini kullanabilirse, bu hayvanları yiyen hayvanlar da yalnızca yüzde 1'in yüzde 1'ini, yani yüzde 0,01'i kullanabilir vs.

Bu verimsizlikten dolayı, oksijenin aşağı yukarı bugünkü düzeylere ulaştığı 580 milyon yıl öncesine kadar etoburların var olabilmesi mümkün değildi. (Aslına bakarsak bakteriler 2 milyar yılı aşkın bir zaman önce işin hilesini öğrenmişti, ancak o zamanlar kullanabilecekleri O_2 miktarı çok düşüktü.) Oksijen sayesinde Dünya'daki biyokütlenin yaklaşık bin kat arttığı tahmin ediliyor. Besin zinciri böylece iki basamak, yani "trofik düzey" içermek yerine, birdenbire beş ya da altı basamak içerebilir hale gelmiştir. Özetle, bugün Dünya üzerindeki bu olağanüstü karmaşık yaşam, her şeyini oksijen kullanımına borçludur.

Pille çalışan biyoloji

Peki bu oksijen hilesi nasıl işler? Rokette hidrojen ve oksijen su oluşturmak üzere bir araya gelir ve sonuçta büyük miktarda ısı enerjisi patlarcasına serbest kalır. Canlıların kendilerini paramparça edecek böylesi şiddetli bir süreci kullanmadığı ortadadır. Onun yerine enerjii çok daha az yıkıcı olacak biçimde adım adım ve azar azar serbest bırakırlar.

Aslında hidrojen ve oksijen roket içinde tepkimeye girdiklerinde ne oluyorsa, tüm kimyasal tepkimelerde olan da budur: Elektronlar sandalye kapmaca oyunu oynar. Bir oksijen atomu, iki hidrojen atomunun elektronlarını yakalar.³ Bu süreçte oksijen ve hidrojen atomları birleşerek bir su molekülü oluşturur.⁴ Ama diyelim ki hidrojen atomları oksijen atomuna elektron verdiler *ancak hidrojen atomları ve oksijen atomu gerçekte hiç bir araya gelmediler*. İşte bu, oksijen-hidrojen tepkimesinin biyoloji tarafından kullanılan patlamasız hilesidir.

İlk iş, hidrojen temin etmektir. Bu gaz yeryüzünde serbest halde bulunmaz. Tüm gazların en hafifi olduğu için, ne kadar üretilirse üretilsin uçup gidecektir. Ancak hücrenin içinde "Krebs Döngüsü" adı verilen, son derece incelikli ve enerji açısından son

derece verimli bir süreç, hidrojeni gıdalardan –yani şeker (glukoz – $C_6H_{12}O_6$) ya da yağ moleküllerinden– söküp alır. Ardından iki hidrojen atomu elektronlarını bir oksijen atomuna verir. Ancak bu olay rokette olduğu gibi doğrudan gerçekleşmez. Hidrojen atomlarıyla oksijen atomu arasında protein komplekslerinden oluşmuş uzun bir “tel” gerilir.⁵ Oksijene bağışlanan ve fazladan enerjiyle yerinde duramayan elektronlar da, bir noktadan diğerine zıplayarak tel boyunca ilerler.

Şimdi tek bir elektrona yoğunlaşalım. Elektron tel boyunca zıplaya zıplaya ilerlerken (topun kaçınılmaz olarak tepe aşağı yuvarlanması gibi) hidrojen çekirdeklerini, yani protonları⁶ da hücre zarında bulunan kanalların, yani “por”ların içine yönlendirir.⁷ Protonlar bir elektrik yükü taşıdıklarından (elektronların yükünün tersi), zarın bir yüzeyi diğerine göre yüklenmiş hale gelir. Benzer bir olay pillerde de olur; kutuplar arasında bir elektrik kuvvet alanı oluşur. Bu da süper-enerjik elektronun, oksijene ulaşmak için protein tel boyunca koştururken ne yapmakta olduğu konusunda bir ipucu verir: Elektron, hücre zarını dolu bir pile çevirmiştir. Hücre zarının genişliği boyunca oluşan elektrik kuvvet alanı şaşırtıcı ölçüde güçlüdür. Öyle ki, bu elektrik alanını, fırtına sırasında havadaki atomları parçalayıp milyonlarca voltluk bir yıldırıma yol açan elektrik alanıyla kıyaslamak mümkündür.⁸

Vücudunuzdaki hücrelerde şimşekler çakıyor olması gerektiğini düşünüyor olabilirsiniz. Ama bu muazzam elektrik kuvvet alanı yalnızca hücre zarının kalınlığı (milimetrenin yaklaşık 5 milyonda biri) kadarlık bir mesafeyi kaplar; ayrıca bu alanı yapabileceklerinden alıkoyan başka moleküller de vardır. Şu da var ki programlı hücre ölümü (apoptoz) sürecinde bu koruyucu mekanizma kapatılır ve hücreler bir bakıma kendi içlerinde çakan şimşeklerin etkisiyle ölürler.

Hücre zarı pilinin sahip olduğu güçlü elektrik kuvvet alanı, adenosin trifosfat, yani ATP oluşumuyla sonuçlanan bir kimyasal tepkimeye neden olur. ATP’ler enerji depolarıdır; bunları taşıyabilir pil gibi de düşünebilirsiniz. Elektron protein tel boyunca zıplayıp enerjisini kaybederken, ardında bir sürü enerji yüklü ATP molekülü bırakır. Ortalığa salınan bu moleküller, gerektiği yer ve zamanda hücresel süreçlere enerji sağlama yetisine sahiptir.

İşin özeti, pille çalışırsınız. Bedeninizde yaklaşık bir milyar ATP molekülü vardır ve bunların hepsi 1-2 dakika içinde kullanılıp geri dönüştürülür. Bazı oyuncakların birkaç saat içinde boşalan bir avuç pille çalışmasını, *her saniye* 10 milyon güç birimi tüketen vücudunuzla kıyaslayın. Neyse ki biz insanlar, “pilleri içinde” olarak dünyaya geliyoruz.

Sonunda elektron, enerjisini tüketmiş halde telin sonuna ulaşır ve burada kendisini bekleyen oksijen atomuyla bir araya gelir. Bir başka hidrojen atomundan ikinci bir elektron daha kendisine katıldığında, oksijen artık istediği duruma gelmiştir: Dış kabuğu elektronlarla tam doludur. Ama hikaye burada bitmez. Eğer oksijen atomu, elektronları bir karbon atomuna iletecek olursa, ortaya son derece kararlı bir karbondioksit molekülü çıkar. (Karbon atomu Krebs Döngüsü sırasında besinden hidrojen koparılmıca geriye kalmıştır.) Karbondioksit ise –su buharıyla birlikte– oksijen soluyan canlıların nefes verirken dışarı attıkları şeydir.

Soluma

Bu kadar solunum kimyası yeter. Peki ya solunumun fizyolojisi? Soluduğumuz havanın yaklaşık yüzde 20’si oksijenden oluşur. Bunun da ancak dörtte birini kullanırız; dolayısıyla dışarı verdiğimiz havada hâlâ yüzde 15 kadar oksijen vardır. Bilincini yitirmiş bir insanı ağızdan ağıza yapay solunumla kendine getirebilmemiz, bu yüzde 15’lik oksijen sayesinde olur.

İçeri çektiğimiz hava derinlere, akciğerlerimizin içine kadar ulaşır. Akciğerlerin iç kısmının en küçük ölçekte yapısı dallanan bir ağaç gibidir. Alveol adı verilen bu dallar, ince kan damarlarıyla yan yana uzanır ve oksijen molekülleri alveollerden alyuvarlara geçer. Alveollerin bu ağaca benzer yapısı, oksijen aktarımının gerçekleşebileceği alanı arttırarak kan dolaşımına katılan oksijen miktarını en üst düzeye çıkarır. Bir insan akciğerinin toplam yüzey alanı, inanılmaz biçimde, bir tenis kortunun alanı kadardır.

Oksijen molekülü kan hücresine aktarıldığında hemoglobin adı verilen dev bir proteince yakalanır. Ardından hücreye enerji sağlamak için, besinden ayrılmış hidrojenle birleşmek üzere başka

bir hücreye nakledilir. Hemoglobinin kilit özelliği, davranışlarını çevresindeki asitlik düzeyine göre değiştirmesidir. Gittiği hücredeki asitlik derecesi, hemoglobinin davranışında ince bir değişikliğe neden olur: Artık hemoglobin yolcusunu çekmek yerine *iter* ve değerli oksijen molekülünü bırakır. Ayrıca bu değişim sayesinde hemoglobin şimdi de bir karbondioksit molekülünü kendine çeker. Bir tanesi yapışır yapışmaz gerisingeri akciğerlere taşınır ve orada kan damarlarından alveollere geçerek soluk verme sırasında dışarı atılır.

Vücudumuzdaki tüm biyolojik süreçlere güç kaynaklığı yapan oksijen, hayatta kalmamız için zorunludur. Besin almaksızın bir ay, su içmeksizin bir hafta kadar hayatta kalabiliriz ama hava kaynağımız kesildiğinde ancak yaklaşık üç dakika yaşayabiliriz.⁹ Yaşamımızın her anında ölüme yalnızca üç dakika uzaklıktayızdır. Bir kalp krizi kurbanı, kalbi durup da kan damarlarına oksijen pompalamayı bıraktığında bu gerçeği çok net fark eder.¹⁰

Fotosentez

Peki ama soluduğumuz oksijen nereden geliyor? Elbette bitkilerden. Bitkiler oksijen alıp karbondioksit vermek yerine, karbondioksit alıp oksijen verirler.

Yeryüzündeki yaşamın kullandığı enerjinin neredeyse tamamı, bitkilerin doğrudan Güneş'ten yakalayıp çektiği güneş ışığının enerjisidir.¹¹ Bu süreç, insan aklının almakta zorlanacağı derecede dâhiyanedir. Zaten öyle olmasaydı bu yöntemi şimdiye kadar çoktan taklit eder, uygarlığımızın güç kaynağı olarak doğrudan güneş ışığını kullanırdık. Bir ışık parçacığının, yani fotonun enerjisi, “klorofil” adı verilen dev bir proteinin elektronlarından birine aktarılır. Bitkilerin yeşil rengi de klorofil molekülünden gelir. (Gerçi yaşam, yeşil olmayan ikinci bir versiyonu da kullanır.) Enerjiyle dolup taşan bu elektron, artık kimyasal süreçlere enerji kaynaklığı yapabilir.

Fotosentez inanılmaz karmaşıklıkta bir süreç olmakla beraber, özünde solunumun tam tersidir. Solunumda hidrojen, örneğin şeker gibi besinlerden ayrılır ve elektronunu oksijene aktarır; bu

sırada karbondioksit açığa çıkar. Fotosentezde ise hidrojen sudan ayrılır ve karbondioksitteki karbonla birleşerek şeker yapar; bu sırada oksijen açığa çıkar. Şimdi burada biraz durup bunun ne müthiş bir numara olduğunu düşünelim. Bitkiler, havadan alınan karbondioksit, su ve güneş ışığı dışında hiçbir şey kullanmadan, zengin enerjili besinler sentezleyebilir.

Bitkilerce yapılan şekerler özünde, yakalanmış güneş ışığından ibarettir. Ne zaman bitki yesek, aslında bu yakalanmış güneş ışığının enerjisini serbest bırakırız. Ama mucize bununla kalmaz. Ağaç gibi bazı bitkiler öldükten sonra, zamanla toprak altına gömülüp, derinlerdeki ısı ve basıncın etkisiyle kömür gibi fosil yakıtlara dönüşür. Kömürü yaktığımızda aslında yaptığımız şey, geçmişin güneş ışığını serbest bırakmaktır. Sonuçta yeryüzündeki her şey, gücünü yakalanmış bir güneş ışığı demetinden almaktadır.

Fotosentez aslında oldukça verimsiz bir süreçtir. Bitkilerin çoğunda, gelen ışığın şekere dönüşen kısmı yüzde 1 civarındadır. Dolayısıyla, yalnızca yapay fotosentez gerçekleştirmek için değil, bunu doğadan *kayda değer ölçüde daha iyi* yapmak (mesela güneş ışığının yüzde 20'sini hidrojene dönüştürebilmek) için de yarış sürmektedir.

Hidrojen oksijenle birleştiğinde –roket yakıtı ya da solunumda olduğu gibi– büyük miktarlarda enerji açığa çıkar. Dolayısıyla bu enerji, arabadan bilgisayara her türlü makineye güç sağlamak üzere yakıt hücrelerinde kullanılabilir. Yapay fotosentezi gerçekleştirmek için üç kritik adım gerekir. Öncelikle, ışığın yakalanması ve enerjisinin bir elektrona aktarılması gerekir. İkincisi, elektronu bağlı olduğu atomdan ayırmak gerekir. Son olarak, bu süper-enerjik elektronu kullanarak suyu parçalamak ve içindeki hidrojeni serbest bırakmak gerekir. Güneş ışığından hidrojen yakıtı üretebilen yapay fotosentez, insanoğlunu petrol gibi hızla tükenen kaynaklara bağımlılıktan kurtarabilir. Böylesi bir teknoloji, oyunun kurallarını tümünden değiştirecektir. Bu da dünyanın tümünden değişmesi demektir.

3:

GELECEĞE GERİ GERİ YÜRÜMEK

Evrım

Evrım, deneye yanıla iş gören bir ustadır.

FRANÇOIS JACOB, “Evolution and tinkering”

Gözümüzün içine bakan bir domuz,
karşısında dengini görecektir.

WINSTON CHURCHILL

Soru: Uçak, televizyon ve lamba direklerinin kurbağa, balina ve insanlarla ortak yanı nedir? Yanıt: Hepsi maddenin son derece düşük ihtimalli birer konfigürasyonudur ve hepsi de yaptıkları işler için biçilmiş kaftandır. İlk gruptaki teknolojik nesneler insanlarca tasarlanmıştır. İki grup arasındaki benzerliklerden yola çıkarsak, ikinci gruptakilerin de tasarlanmış olduğu sonucuna varırız. Gelgelelim, bu sonuç yanlıştır.

Doğadaki tasarım illüzyonu öylesine güçlüdür ki, bunun bir illüzyon olduğu on dokuzuncu yüzyıla kadar fark edilmemiştir. O sıralarda Avrupa’da hakim olan genel inanişâ göre canlılar bir Üstün Varlık tarafından şimdiki biçimleriyle yaratılmış ve yeryüzüne yerleştirilmişlerdi. Çağın bilim insanlarının çoğu dindardı ve isteye-bilecekleri son şey bu fikri sorgulayıp Kilise’nin gazabına uğramak olurdu. Ancak bilim insanlarının kanıtlar ışığında yol almaktan başka seçenekleri yoktur. Kanıtlar ise, Dünya’daki bu inanılmaz canlı çeşitliliğinin –bakterilerden mavi balinalara, mantarlardan uçan tilkilere, gorillerden sekoya ağaçlarına kadar her şeyin– tümüyle doğal bir mekanizmanın sonucu olduğunu gösteriyordu.

Önemli bir ipucu fosillerdi. Bunlar kadim canlıların kalıntılarına benziyordu; göl ve deniz diplerine çöken tortullarla örtölüp gömülmüş ve kimsenin tam olarak nasıl olduğunu bilmediği bir biçimde taşlaşmışlardı. Fosiller, günümüzde yaşayan canlıların bir zamanlar yaşamış olanlarla aynı olmadığını gösterir. Dinozor gibi bazı kadim canlılar tümüyle yok olmuşken, yok olan bazı canlılar ise bugünkülerle akraba görünmektedir. En basit ve en ilkel canlılar, en eski tortullar içinde fosilleşmiştir. Kaya katmanları gençleştikçe, fosillerin de giderek daha karmaşık ve sofistike hale geldiği görülür.

Bilim insanları, fosil kayıtların, Dünya üzerindeki yaşamın *zaman çizelgesi* olduğunun farkına vardı. Kayıtlar bize şunu söylüyordu: Canlı türleri uzun zaman aralıkları içinde görünüşlerini

kademeli olarak değiştirerek bir türden diğerine dönüşmüş, sonunda günümüzde çevremizde gördüğümüz türleri oluşturmuşlardır. Yaşam, bir Yaratıcı tarafından birinci günde yaratılıp o günden bu yana değişmeden kalmamıştır. Aksine, daha basit atasal türlerden adım adım evrilmiştir.

Evrin bu sayede insan ve şempanze gibi canlılar arasındaki çarpıcı benzerlikleri de açıklayabilir. Yeryüzünde var olagelmiş bütün yaşam, uzak geçmişteki bir ortak atadan geliyorsa, günümüzdeki bütün canlıların akraba olduğu da açıktır. Peki ama evrimin itici gücü nedir? Türlerin kuşaklar içinde değişmesinin sebebi nedir? Ve bütün bu canlılar, nasıl olup da yaptıklarını, bu ölçüde, tasarlanmış oldukları düşüncesini her halleriyle doğrularcasına iyi yapar hale gelmişlerdir? Bu soruların yanıtını bulan kişi Charles Darwin'dir.

Darwin, 1831 yılında *HMS Beagle* gemisinin mürettebatına dahil oldu. Geminin doğabilimcisi olarak geçirdiği beş yıl boyunca biyolojik dünyayla ilgili çarpıcı gözlemlerde bulundu. Güney Amerika'nın batı kıyısının 1.000 kilometre kadar açıklarında bulunan Galápagos takımadalarındaki ispinozların gagaları her adada farklı biçimdeydi. Ama her durumda gagalar, bölgedeki yemişlerden yararlanmalarına olanak tanıyacak kusursuz biçimi almıştı: bazı adalarda büyük fıstıkları kırıp açmaya yarayan kısa ve küt gagalar, bazı adalarda ise daha kolay açılır tohumlar için uzun gagalar.

Galápagos'lardaki kuş ve diğer hayvanların, Güney Amerika anakarasında yaygın olarak yaşayanlardan yalnızca küçük farklarla ayrıldıklarını fark ettikten sonra, Darwin'in zihninde bir açıklanma şekillenmeye başladı. Görünüşe göre komşu kıtadaki canlılar Galápagos adalarına gelip yerleşmişti. Yaşamlarını Galápagos'larda rahatça sürdürebilecek olan bazı Güney Amerika kuş ve hayvanlarının buradaki yokluğu ise dikkat çekiciydi. Bunlardan, okyanus engelini rüzgârlar ya da yüzen bitkiler aracılığıyla geçebilenler, yalnızca küçük bir gruptan ibaretti. Boş kalmış tüm alanları doldurmak üzere her tarafa yayılanlar, işte bu dirençli canlılardı. Sonuçta tek bir ispinoz türü tüm adalara dağılmış ve oradaki yerel tohumlardan yararlanmasına elveren gagalara sahip olacak şekilde evrilmişti.

Darwin artık evrimle ilgili yeni ve önemli ipuçlarına sahip olsa da, türlerdeki bu değişimleri yönlendiren, her birini çevresiyle bariz kusursuzluktaki bir uyuma iten şeyin ne olduğunu bilmiyordu. İngiltere'ye döndükten sonra 1836'da, henüz 27 yaşındayken masa başına oturdu, topladığı bulguları önüne serdi ve düşünmeye başladı.

Darwin, canlıların kuşaklar içinde biçimlerini değiştirmede kullanılan yaygın bir yöntemin farkındaydı: seçici çiftleştirme. Bitkiler ve evcil hayvanlar, fiziksel özelliklerini anne-babalarından alır ve bu özellikler ıslah yoluyla geliştirilebilir. Sözelimi, olabilecek en kalın posta sahip koyunları elde etmek için üreticiler kalın postlu koyunları seçer, birbiriyle çiftleştirir ve bu süreci kuşaklar boyunca tekrarlarlar.

Bir bakıma, insanların, bir hayvan veya bitkide olmasını istediği özellikler için seçim yapması gibi, doğa da canlının yaşadığı çevrede hayatta kalma şansını en yükseğe çıkaran özellikler için seçim yapar. Doğal seçim denen bu olgu, üreticilerin benimsediği yapay seçim kadar hızlı olmasa da onun kadar etkilidir.

18 aylık yoğun bir düşünme sürecinin ardından, Darwin'in zihninde bir ışık çıktı. İyi saklanan doğal seçim mekanizmasını birden görüverdi. Üstelik şaşılası ölçüde basit bir mekanizmaydı bu.

Doğal dünyanın çarpıcı özelliklerinden biri, canlıların savurganlıklarıdır. Hayvanlar genellikle çok sayıda yavru dünyaya getirirken bitkiler de büyük miktarlarda tohum üretir. Ancak dünyada bunca yavruyu besleyecek kadar çok gıda yoktur. Bu yüzden canlıların çoğu kaçınılmaz olarak açlıktan ölür. Darwin burada şu kilit noktayı fark etmişti: Üreyecek kadar hayatta kalmayı başarabilen canlılar, bulundukları çevrede yaşamlarını sürdürebilmek için en uygun niteliklere sahip olanlardır. Ve bu nitelikler bir sonraki kuşağa aktarılır. Zaman içinde bu nitelikler nüfus içinde artarken, sağlamamayan özellikler ise azalır.

Yapbozun eksik parçasını bulmuştu: *doğal seçim* yoluyla evrim. "Bunu akıl edememiş olmak ne büyük aptallık," demişti Darwin'in hem dostu hem de destekçisi Thomas Huxley. Ama bunu akıl edebilmek için doğal dünyanın baş döndürücü karmaşıklığının ötesine bakabilmek, merkezinde işleyen ve tüm bu

karmaşıklığı ağır ağır, sessiz sedasız üreten mekanizmayı görebilmek gerekiyordu. Ve bu da hiç kolay bir iş değildi.

Richard Dawkins doğal seçim yoluyla evrim fikrini, bilim tarihinde en büyük fikir olarak nitelemiştir. Gerçekten de bu basit fikir müthiş bir açıklayıcı güce sahiptir. Modern biyoloji, gerçek anlamıyla doğal seçim yoluyla evrimin öyküsüdür. Theodosius Dobzhansky'nin 1937'de yazdığı gibi, "Evrimin ışığı altında bakılmadıkça biyolojide hiçbir şey anlam ifade etmez."

Biyografi yazarlarının ifadelerine bakılırsa, Tanrı'nın bütün canlıları nihai biçimleriyle yarattığı yolundaki Kilise öğretisine ters düşeceğinin son derece farkında olan Darwin, bu fikrini duyurmak için hiçbir çaba göstermemiştir. Ancak 1858'de, bu patlamalara gebe fikrin üzerinde yirmi yıl oturduktan sonra harekete geçti. Alfred Russell Wallace adlı kişiden gelen bir mektup, Endonezya ve Malezya'da doğa gözlemleri yaparken, Wallace'ın da aynı birleştirici fikre, yani doğal seçim fikrine ulaştığını gösteriyordu.² Mektup üzerine donakalan Darwin, çalışma odasına kapandı ve çılgıncasına yazmaya başladı.

Darwin'in 1859'da yayımlanan çığır açıcı çalışması, evrensel olarak *Türlerin Kökeni* adıyla bilinir. Gerçi kitap, yaşamın bugüne kadar derin bir sır olarak kalmış nihai kökeni hakkında bir şey içermez. Kitabın çok daha dolambaçlı sayılabilecek tam başlığı ise bu açıdan belki daha yerinde sayılabilir: *Doğal seçim yoluyla türlerin kökeni veya yaşam mücadelesinde avantajlı ırkların muhafazası*³

Darwin'e göre yeryüzündeki tüm yaşam, çok uzun bir süre içinde ortak ata bir canlıdan doğal seçim yoluyla evrilmiştir. Bu fikir, yaratılışın tek seferlik bir olay olarak betimlendiği İncil ile olduğu kadar, Kilise'nin, insanın benzersiz olarak Tanrı'nın suretinde yaratıldığı yolundaki iddiasıyla da çelişmekteydi. Yine Darwin'e göre insanlar ne yaratılışın tepe noktasındaydı ne de herhangi bir biçimde özeldi. İnsan da yalnızca bir başka hayvandı, o kadar.

Nasıl on altıncı yüzyılda Polonyalı gökbilimci Nikola Kopernik Dünya'nın her şeyin merkezinde olmadığını, evrende özel bir yere de sahip olmadığını gösterdiyse, Darwin de aynı şekilde, insanların her şeyin merkezinde olmadığını ve canlılar dünyasında özel bir yere sahip olmadığını göstermiştir.⁴

Darwin'in kemikleşmiş dinsel tutuculuğa meydan okuyan bir kuram sunması cesurca bir eylemdi. Ayrıca kuramın eksiklikleri konusunda da oldukça dürüst bir tutum takınmış ve kuramın tamamlanmış olmadığını açıkça itiraf etmişti. İnsanlardan istediği, kendisinin de bilmediği ancak gelecek biyolog kuşaklarının bulacağından emin olduğu ince ayrıntılar üzerinde durmaları değil, kuramı, doğru olduğundan kuşku duymadığı ana hatlarıyla ele alıp değerlendirmeleriydi.

Eksiklikleri bariz biçimde hissedilen iki şeyden birincisi, çeşitlilik mekanizmasıydı. İnsanlar hem anne hem de babalarından özellikler alır: Bir çocukta annesinin kızıl saçlarını ya da babasının geniş çenesini görmek mümkündür. Peki ama yeni özellik nasıl ortaya çıkıyordu?

Darwin'in kuramındaki ikinci eksiklik, kalıtımın mekanizmasıydı. Darwin'in başlangıçtaki düşüncesi, anne ve babadan gelen bir tür sıvı karıştığında özelliklerle ilgili bilgilerin aktarıldığıydı. Ancak kırmızı ve sarı boyayı karıştırıp turuncu renkli boya oluşturduğunuzda, kırmızı ve sarı boya artık nasıl sonsuza kadar ortadan kalkmış oluyorsa, bu tür biyolojik sıvıların bir araya gelmesiyle de bazı özellikler birbirine karışacak ve ilk durumlarını sonsuza dek kaybetmiş olacaklardı. Örneğin göz renkleri mavi ve kahverenginin karışımı olan insanlar görecektir, ama salt mavi ya da salt kahverengi gözlü insanlar görmeyecektik; ne var ki gerçek hayatta böyle olmaz. Dahası, bu tür biyolojik sıvıların karışmasıyla zamanla nüfustaki tüm canlıların birbirine benzemesi gerekirdi. O zaman da doğal seçilimin işlemesi için gerekli çeşitlilik olmazdı. Darwin sıvılarla ilgi fikrindeki hatayı gördükten sonra derin bir çaresizliğe kapılmıştı.

Kalıtım ve çeşitlilik mekanizması

Kalıtımın gözlerden kaçan mekanizmasını görmeyi başaran ilk kişi, bugünkü Çek Cumhuriyeti'nin Brno kentinde yaşamış olan Gregor Mendel isimli rahiptir. Mendel, 1856 ile 1863 yılları arasında bezelye bitkisinin farklı çeşitlerini bir araya getirip üreterek elde ettiği on binlerce bitkide olduğu gibi kalıtılan bazı özelliklerin

listesini çıkardı. Sözgelimi mor çiçekli bezelye bitkilerini beyaz çiçeklilerle çaprazladığında sonuç, eflatun çiçekli bitkiler değil, belirli oranda beyaz ve belirli oranda mor bitkiler oluyordu. Mendel şunu fark etmişti: Özellikler, biri anneden ve biri babadan olmak üzere eşit biçimde kalıtılıyor ve bazı özellikler diğerlerinden daha baskın oluyordu. Ancak asıl kilit nokta, bu özelliklerin sıvı gibi karışabilen değil, asla bölünemeyecek *parçacıklar* olarak kalıtılmasıydı. Mendel, farkında olmasa da bugün gen adını verdiğimiz şeyi keşfetmişti.

Mendel bulgularını 1866'da *Brünn Doğa Tarihi Derneği Dergisi*'nde yayımladıysa da dergi o kadar yerel ve az tanınmıştı ki, çalışmalarının tanınmış hale gelmesi yirminci yüzyılı buldu. Rivayet olunduğu ve sıkça tekrarlandığı üzere, Mendel'in bezelyelerle ilgili makalesinin 115 kopyasından biri bizzat Darwin'e kadar ulaşmıştı. Makale, ölümünden sonra Darwin'in kütüphanesinde, mühürlü ve okunmamış halde bulunmuştu. Doğru olsa oldukça hazin sayılabilecek bu rivayet, romantik bir mitten öteye gitmemektedir. Darwin'in devasa koleksiyonunda Mendel'in herhangi bir çalışmasına rastlanmamıştır. Her biri, bulmacanın diğerinde olmayan parçasını elinde bulunduran bu iki biyoloji dehası, birbirlerini kılpayı değil, kayda değer bir uzay ve zaman farkıyla kaçırmıştı.

Mendel'in çalışmaları ancak 1900'de, Darwin öldükten epeyce bir zaman sonra yeniden keşfedildi. Bundan kısa süre sonra meyve sineklerini benzer biçimde üretmeye başlayan Amerikalı biyolog Thomas Hunt Morgan, meyve sineklerinin, özelliklerini Mendel'in bezelyelerine benzer biçimde kazandıklarını gördü. Hatta kalıtılan özelliklerden sorumlu fiziksel unsurların, yani genlerin, kromozom adı verilen ufacık ipliksi yapılar içinde bulunduğunu da gösterdi. Bu yeni bir bilimin doğuşuydu: genetik.

Kalıtımın büyük resmi, ancak yirminci yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkarılabildi. Tüm yaşamın yapıtaşı hücrelerdir – içindeki kimyasal nanodüzeneklerin vızır vızır işlediği küçük kesecikler.⁵ Her hücrenin merkezinde bir hücrecik, yani çekirdek; her çekirdeğin içinde de DNA'dan yapılmış kromozomlar bulunur.

DNA, birbirine dolanmış iki sarmal merdivene benzeyen bir moleküldür. Bu "çift sarmal"ın omurgası, hepi topu dört molekül

ya da bazın dizilimlerinden oluşur. Adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T) adını alan bu bazlar, birbirleriyle çiftler halinde birleşir. Genetik kod dört harften oluşur: A, G, C ve T.⁶ Her bir baz üçlüsü belirli bir amino asidi kodlar. Amino asitler proteinlerin yapıtaşlarıdır; yaşamın kimyasal tepkimelerini hızlandırmaktan gözünüze giren güneş ışığını algılamaya, vücudunuza sertlik kazandırarak jel ve sudan oluşmuş bir bulamaç halinde yere yığılmanızı engelleyen yapı iskelesini oluşturmaya kadar her türlü biyolojik görevi üstlenebilen mucizevi moleküllerdir.

Proteinlerin kodlarını taşıyan DNA parçalarına “gen” adı verilir. Konunun Mendel ile bağlantısı da buradadır. Mendel’in tanımladığı, kalıtımla iletilen özellikler genlerce belirlenir. Örneğin belirli bir gen, bir bezelyenin pürüzlü mü yoksa düzgün mü olacağını belirleyen proteinin üretimini sağlar.

İnsan DNA’sının bir iplikçiğinde yaklaşık 3 milyar harf bulunur, ki bunlar da yaklaşık 23.000 gene karşılık gelir. Bir insanı yaratmak için hiç de yeterli görünmeyen bu sayı, biyologları bile oldukça şaşırtsa da, bu gerçeği kabul etmekten başka şansları yoktur: Sonuçta hepi topu 23.000 gene sahibiz.

Bu genlerden bir kısmı diğer genleri denetlemekten sorumludur. Denetledikleri genlerin gelişmekte olan embriyoda protein yapma becerilerini belirli zamanlarda açıp kapatırlar. Bunu, hücredeki belirli bir kimyasalın derişimi gibi etkenlere bağlı olarak yaparlar.⁷ Bu tür kontrol genleri, farklı hücre tiplerinde DNA’nın farklı bölümlerinin okunmasını sağlar. İnsan vücudundaki her hücrenin, tıpatıp birbirinin aynı DNA kopyasını içermesine rağmen bazı hücrelerin kan, bazılarının karaciğer, bazılarının beyin hücrelerine dönüşmesi bundandır.

Ama DNA yalnızca kalıtımın değil, çeşitliliğin (varyasyonun) mekanizmasını da açıklar. Bir yavrunun anne ve babasından bir takım özellikler alması için her ikisinin de DNA’larının kopyalanması gerekir. İnsan DNA’sı söz konusu olduğunda 3 milyar harfin doğru biçimde kopyalanması gerektiği düşünülürse, kopyalama işleminin bu ölçüde iyi işlemesi şaşırtıcıdır.⁸ Ancak süreç kusursuz değildir; yaklaşık olarak her 1 milyar baz çiftinde bir hata meydana gelir. Kimi zaman harflerden biri yanlış kopyalanır, kimi zaman da DNA’nın belirli bir dizilimi içeren bir parçası olduğu gibi

çıkarılır ya da parçanın fazladan bir kopyası oluşturulur. Çeşit çeşit transkripsiyon (yazılım) hataları meydana gelebilir. Buna ilave-ten kanser yapıcı kimyasallar, virüsler, morötesi ışınım ve nükleer radyasyon da genlerde değişikliklere yol açabilir.

Sonuç olarak *genler zaman içinde değişir*.

DNA içinde, kopyalama hatalarını en aza indiren birçok fazladan tekrar vardır. Bu yüzden değişimler çoğu durumda tek başlarına önemli bir fark yaratmaz ve genin kodladığı protein, işlevini normal biçimde sürdürür. Bazı değişimlerse zararlı olup, kistik fibroz gibi kalıtsal hastalıklara yol açar. Ancak çok nadiren, DNA'daki bir değişimin canlıya yararı dokunduğu olur; söz-gelimi onun sıtmaya karşı direncini artırır. Tabii canlı için neyin *yararlı* olduğunun belirleyicisi çevredir. Kalın ve sıcak tutan bir post, buz çağına girmekte olan bir dünyada yaşayan canlı için yararlı, tropik kuşakta yaşayan canlı için zararlıdır.

Bu değişimlerin, yani mutasyonların, tüm canlıların DNA'sında gerçekleştiğini belirtmekte yarar var. Ancak bakteri gibi basit canlı-ların üremesi için kopyalarını, yani klonlarını oluşturmaları yeterli iken, bazı canlıların çiftleşerek, genlerinin yarısını anne, yarısını babadan alan yavrular üretmesi gerekir. Anne ve babanın soyun-dan gelen farklı özelliklerin birleşimi, doğal seçilimin üzerinde ça-lılabileceği yeni gen kombinasyonlarını büyük ölçüde artırır.⁹

Mutasyonlar *türlerin* varlığını açıklar. Türler, kabaca tanımlar-sak, bireyleri arasında sağlıklı üremenin gerçekleşemediği hayvan gruplarıdır. Türler birçok şekilde ortaya çıkabilir. Örneğin nehir ya da sıradağ gibi bir coğrafi bariyer bir nüfusu ikiye bölebilir. Ya da bir okyanus, Galápagos'larda olduğu gibi canlıları anakarada-ki akrabalarından ayırabilir. Bu şekilde ayrılan ve farklı sağkalım baskılarına maruz kalan grupların DNA'larında farklı mutasyon-lar birikecek, nüfuslar böylece zaman içinde ıraksayacak ve bir noktadan sonra aralarında üreyemez hale geleceklerdir.

Aralarında üreyememenin birçok nedeni olabilir. Motosiklet motoru takılmış bir Rolls-Royce nasıl işe yaramaz hale gelirse, iki grubun genlerinin karışımı da hayatta kalabilecek bir canlının var-lığına olanak tanımayabilir. Ya da mesela bir grubun üyeleri bir meyve çevresinde takılıp o bölgede çiftleşecek eş bulurken, diğer grup bambaşka bir meyveyi yeğliyor olabilir. Bu iki grup birbiriyle

pekâlâ çiftleşebilecekken, gecenin içindeki gemiler gibi birbirlerini kaçırmazlar. Karmaşık üreme organlarına sahip olan böceklerde ise iki grubun yavru meydana getirememesinin nedeni üreme organlarının biçimsel uyumsuzluğudur – tıpkı birbirine uymayan anahtar ve kilit gibi.

Canlı gruplarının birbirinden ıraksamasının nedeni ne olursa olsun, doğal seçim dünyayı birbirinden farklı, sayısız türle donatmıştır ve insanlarla meşe ağaçlarının birbirleriyle üreme olanakları ne kadarsa bu türlerin birbirleriyle üreme olasılığı da o kadardır.

Darwin'in kuramının açıklayıcı gücü

Darwin'in kuramı dünyayla ilgili o kadar çok şeyi açıklamaktadır ki... Örneğin yeryüzünde yaşamın 5 milyondan fazla canlı türüyle neden böylesi bir çeşitlilik içerdiğini açıklar. Ayrıca neden DNA'mızın yüzde 99 kadarını şempanzelerle, hatta üçte birini de mantarlarla paylaştığımızı açıklar. Ortak bir atadan evrilmişsek tam da böyle olmasını bekleriz. Genlerdeki değişiklikler zamanla biriktiği için, DNA'daki farklılıklar, insanlarla şempanzelerin ortak atalarının daha yakın, insanlarla mantarların ortak atalarının ise çok daha uzak bir geçmişte yaşamış olduğu gerçeğini gösterir.

Muhtemelen Dünya'daki en takdire şayan DNA dizilimi şudur: GTG CCA GCA GCC GCG GTA ATT CCA GCT CCA ATA GCG TAT ATT AAA GTT GCT GCA GTT AAA AAG.¹⁰ Yaşayan her canlıda, hatta dev mimivirüsler gibi teknik olarak canlı sınıfından sayılmayan kimi organizmalarda bile bulunur. Dizilimin bu yaygınlığının nedeni, tüm yaşamın ortak atasından geliyor olmasıdır. Hayati bir süreci yerine getiren bu dizilim, 3 milyar yıldır değişmeden kalmıştır. İşte size vücudunuzdaki en eski fosil.

Darwin'in kuramının açıklık getirdiği bir başka şey de antibiyotiklerin etkinliklerini zaman içinde neden kaybettiğidir. Başlangıçta bir insana bulaşan bakterilerin çok büyük çoğunluğu antibiyotiklerce öldürülebilse de, bakteri nüfusundaki çeşitlilik, bazılarının hayatta kalıp üreyecekleri anlamına gelir. Böylece her kuşakta antibiyotiğe dirençli bakterilerin oranı artar; ta ki antibiyotik neredeyse işe yaramaz hale gelene kadar. "Evrin ... masada

yalnızca galiplerin kaldığı, bitmek tükenmek bilmeyen, yorucu bir oyundur,” der Lewis Thomas.¹¹

Ancak hepsinden önemlisi, Darwin’in kuramı tasarım illüzyonuna açıklık getirir – canlıların nasıl böylesine kusursuzca çevreleriyle uyumlu olduklarına. Galápagos adalarından birindeki bir ispinozun, beslendiği fıstıkları kırıp açmak için kusursuz bir gagaya sahip olmasının nedeni, atalarının başarıyla hayatta kalıp, gagası daha az etkili ispinozlara göre daha fazla yavru dünyaya getirmiş olmasıdır. Anlaşıldığına göre gaganın şekli tek bir genle denetlenir ve bu genin küçük varyantları, ispinoz embriyosunun gelişmekte olan çene bölgesinde farklı proteinlerin ifade edilmesi- ne neden olur.

İşin olağanüstü yanı, canlıyla çevresi arasındaki bu inanılmaz uyumun bir “tasarımcı” olmaksızın gerçekleşmesidir. Ama Darwin’in ortaya koyduğu bu doğal süreç, rassal da değildir. “Mutasyon rassaldır,” der Richard Dawkins; “ama doğal seçim, rastlantı kavramının taban tabana *zıddıdır*.”¹² Doğal seçim, sahibine üremeye de olanak tanıyan bir sağkalım becerisi bahşeden varyantlar dışındaki tüm varyantları ayıklayıp atar. Canlı yararına olan değişimleri böylece adım adım, kuşaktan kuşağa biriktirir. Ağır ama emin adımlarla, insanoğlunun tasarlamış olduklarından çok daha incelikli ve karmaşık makineler meydana getirir. Amerikalı biyolog Gilbert Newton Lewis şöyle yazmıştır: “Yaşamın tüm gidişatı –giderek daha çeşitli ve karmaşık yapılar ortaya çıkaran ve evrim adını verdiğimiz bütün bu süreç– rastlantı yasalarının öngördüklerinin birebir zıddıdır.”¹³

Ancak doğal seçim yoluyla evrimin de sınırları vardır. Ortaya çıkabilecek canlılar, uzun bir avantajlı değişimler zinciri sonucu var olabileceklerden ibarettir. “Evrim, geleceğe geri geri yürür,” der İngiliz biyolog Steve Jones; “olacakları önceden bilmez.”¹⁴ Kimileri buradan hareketle, Darwin’in kuramının göz gibi çok sayıda bileşenden oluşan karmaşık organların varlığını açıklayamayacağına öne sürmüştür. Bu sava göre, tüm bileşenler (mercek, ışık algılayıcı yüzey vs.) yerli yerine oturmada canlıya herhangi bir avantaj sunmazlar. Bir gözün yüzde 5’i ya da yüzde 50’si bir işe yaramayacağına göre, küçük adımlarla ve ağır ağır ilerleyen evrim,

ancak bir bütün halinde işe yarayan göz gibi bir organı nasıl ortaya çıkarmış olabilir?

Gelgelelim, göze giden yolun her adımı gerçekten de canlıya avantaj sağlamıştır. Hayvanlar aleminin her köşesinde ilkel göz yapısının örneklerine rastlamak mümkündür. Bazı canlılarda yalnızca yukarı ve aşağıyı algılamalarını sağlayacak ışığa duyarlı bir hücre yaması vardır. Çingiraklı yılan gibi bazı canlılarsa derilerindeki bir çukurun dibinde ışığa –daha doğrusu ısıya– duyarlı hücreler taşır; bu sayede “gördükleri” şeyin ne yönde olduğunu tayin edebilirler. Bu noktadan sonraki küçük adım, çukurun üstünü saydam bir proteinle kapatıp lens dediğimiz yapıya geçiş yapmaktır.

Öngöründe bulunamaması bir yana, evrim illa daha karmaşık canlılar ortaya çıkarmaz. Bunu *yapabilir*, ama her zaman yapmaz. İlk hücre ortaya çıktıktan sonra, hem boyut hem de karmaşıklık bakımından *yukarı* çıkmak dışında yapılabilecek bir şey yoktu. Ancak daha büyük canlılar evrimleşir evrimleşmez, daha basit formlara geri evrilmek de mümkün hale gelmişti. Daha karmaşık yapıdaki konaklarından geçinen parazitler bu duruma örnek olarak verilebilir.

Dawkins’in “bilim tarihindeki en büyük fikir” olarak nitelendirdiği Darwin’in doğal seçim yoluyla evrim kuramı, tüm sınavlardan başarıyla geçmiştir. “Tek bir fosil bile tarih sıralaması bakımından yanlış bir yerden çıksa kuram çürürdü,” diye yazmıştır Dawkins.¹⁴ Bunun için, örneğin 500 milyon yıl önce, kambriyen-öncesi dönemde yaşamış bir tavşan keşfetmek yetecektir. Ancak bugüne kadar böyle bir şey olmamıştır.

4:

CİNSELLİĞİN BÜYÜK PATLAMASI

Cinsellik ve Eşeylilik

İtiraf edeyim, seks benim için inanılmaz bir yolculuk demek. Erkek arkadaşımın evi altmış kilometre uzakta.

PHYLLIS DILLER

Seks çok kötü bir şey; giysileriniz buruş buruş oluyor.

JACKIE KENNEDY

İngiliz biyolog Richard Dawkins 1986'da yayımlanan *Kör Saat-çi* kitabında, çağrışımlarla yüklü güzel bir tablo sunar. "Dışarıda DNA yağıyor," diye yazar Dawkins. "Oxford Kanalı'nın kıyısında, bahçemin dibindeki koca söğüt ağacı, havaya tüylü tohumlarını pompalıyor ... ve etrafa DNA'sını saçıyor. Kodlanmış harflerinde bir söğüt ağacının nasıl inşa edileceğinin talimatlarını heceleyen DNA'sını... ki o söğüt ağaçları da tüylü tohumların bir sonraki kuşağını etrafa saçacak... Dışarıda talimat yağıyor, program yağıyor; ağaç nasıl büyütülür, pamukçuklar nasıl etrafa saçılır algoritmaları yağıyor."

Tabii bu tüylü tohumların her birinin içindeki DNA, yeni bir söğüt ağacının varoluşunu tetiklemek üzere bir başka DNA yumağıyla çarpışıp birleşmediği sürece, durağan bir kimyasallar yumağı olarak kalacaktır. Cinsellik, Dawkins'in de belirttiği üzere, her yerdedir. Dünya bunun üzerinde döner. Karıncadan aslanagzına, çam ağacından karıncayıyene, ayçiçeğinden yelken balığına hemen hemen tüm canlılar cinsellikle haşır neşirdir. Gelgelelim, Winston Churchill'den alıntılacak olursak cinsellik, "bir muammanın içindeki gizemle sarmalanmış bilmecedir."¹

Cinselliğin merkezindeki gizemi takdir etmek için hikayeyi başından almak gerek. Evvel zaman içinde, yeni doğmuş Dünya yüzeyindeki bir gölette, kendilerini kopyalayabilen moleküller ortaya çıktı.² Bunlardan en başarılı olanlar sayıca üstünlük kurdu; en başarısız olanlar ise gerekli kimyasal yapıtaşları için süren rekabette saf dışı kalarak yok oldu. Akıllara durgunluk verecek sayıda adım ve çok çok uzun bir *ön-evrim* sürecinin ardından, molekül tiplerinden bir tanesi diğerlerine galip geldi, çünkü kendi kopyalarını yapma konusunda en beceriklileri oydu. İnşa ettiği moleküler makinelerle çevredeki enerji kaynaklarını sömürebiliyor, onlarla kendi kopyalarını üretebiliyordu. Bu molekül DNA'ydı

– bir genler kolyesi; bu genlerin de çoğu protein nanodüzeneklerinin parçalarını teker teker kodluyordu. Amerikalı biyolog Lewis Thomas’ın sözleriyle, “Dünya’daki hücrelerin hepsinde dizili olan tüm DNA’lar, o ilk molekülün uzantısından ve çeşitlemelerinden başka bir şey değildir.”³

Doğal seçim milyarlarca yıllık süreç içinde, genleri yaymak için hayret uyandırıcı hassaslıkta makineler üretmiştir. Ama özlerinde bundan başka bir şey değildirler. İster fil ister fok, ister mikrop ister antilop, ister yılan isterse insan olsun, bunların hepsi aslında birer *gen yayma makinesidir*. Samuel Butler’ın ifadesiyle, “Tavuk, yumurtanın yeni bir yumurta yapma yöntemidir, o kadar.”⁴

Bir canlının bunu yapmak için seçebileceği en dolaysız yol, kendisinin bir kopyasını, yani “klon”unu üretmektir. Bakteriler gibi en basit canlıların ve böğürtlen gibi daha karmaşık kimi canlıların yararlandığı strateji “eşaysız üreme”dir. Ancak gizemli biçimde, çok hücreli canlıların büyük çoğunluğu farklı bir üreme stratejisi kullanır. Kendi genlerinin *yarısını*, bir başka canlının genlerinin *yarısıyla* birleştirirler. Buna “eşeyli üreme” denir.

Eşeyli üremenin bariz dezavantajı, canlının genlerinin yüzde 100’ünün değil, yüzde 50’sinin bir sonraki kuşağa geçmesidir. Dawkins’in sözleriyle “Eşeyli üreme, çarkın her dönüşünde oyuncunun fişlerinin yarısını koyduğu bir rulet oyununa benzer.”

Eşeyli üremeyle çoğalan bir canlının, eşaysız üreyen bir canlıyla rekabet edebilmesi için *iki katı yavru* üretmesi gerekir. Fakat bu, enerji bakımından çok pahalıya mal olacaktır. Ve besin kaynakları için kıyasıya rekabetin sürdüğü bir dünyada enerjinin verimli kullanımı, hayatta kalabilmek için zorunludur. Üstelik eşeyli üreme için ödenen tek ek bedel, fazladan yavru üretmek zorunda kalmak değildir. Genlerini birleştirecek bir eş bulmak da enerji gerektirir. Dawkins’in bahçesindeki söğüt ağacını düşünün. Oxford’un havasına salmak üzere muazzam miktarda tüylü tohum üretmek zorunda. “İnsanoğlunun üretmesi son derece gizemli ve hayret edilecek bir süreç,” diye yazmıştır Martin Luther, “Tanrı bu konuda görüşümü sorsaydı, insanoğlunu kilden yaratma işini sürdürmesini tavsiye ederdim.”⁵

Ancak dünyanın çarpıcı özelliklerinden biri, eşeYLiliğın bu denli yaygın olmasıdır. Sırf kuşlar ve arılar değil*, neredeyse tüm bitkiler, sürüngenler ve memeliler de bulaşmıştır bu işe. Eşeylilik sırf varlığını sürdürmekle kalmayıp bir de böylesine yayıldığına göre mutlaka çok büyük bir evrimsel avantajı olmalıdır. Peki nedir bu avantaj? İlginçtir ki bu sorunun cevabı açık değildir. Hem de hiç.

Eşeyliliğın olası avantajlarına ilişkin bir ipucu, ortaya çıkan yavrulardaki çeşitliliğittir. Eşeysiz üreyen canlıların yavruları o canlının *birebir kopyası* değildir, çünkü DNA hiçbir zaman kusursuz kopyalanmaz. Ara sıra gerçekleşen kopyalama hatalarından, yani mutasyonlardan kaynaklanan çeşitlilik, eşeyli üremeden kaynaklanan çeşitlilikle kıyaslandığında hafif kalır. Bir organizmanın genlerini iskambil destesine benzetecek olursak, eşeysiz üremede yavrular hep aynı desteyi miras alır; belki kağıtlardan biri değişirse değişir. Ancak eşeyli üremede her yavru, karılmış iki ayrı destedeki kartların yarısını alır. Üstelik bu iki deste, her bir yavru için *farklı biçimde* karılır.

Bu durum, eşeyli üremede yavruların anne-babalarından *çok* farklı olmaları anlamına gelir.⁶ Eşeyli üreme, bir sonraki kuşakta azami yenilik üretir. Örneğın, iklimin hızla değişmesi gibi zorlu çevre koşullarının var olduğu durumlarda bu çeşitlilik, en azından bazı bireylerin hayatta kalmak için gerekli özelliklere sahip olmasını sağlar. Oysa eşeysiz üreyen canlılar değişime ayak uyduramayarak ölüp gideceklerdir. Ancak bu durum, eşeyliliğın varlığını sürdürmesini açıklamada yeterli bir avantaj mıdır? Biyologlar bundan tam emin değil.

Eşeyliliğın korunmasının muhtemel nedenlerinden biri de, *iki canlıdan* gelen avantajlı gen mutasyonlarını tek bir canlıda bir araya getirmesidir. Farklı genlerinde hayatta kalmaya yardımcı olacak birer mutasyon geçiren iki eşeysiz canlı düşünün. Bu iki mutant gen, kendi soy çizgilerinde sonsuza dek yalıtılmış kalmaya mahkumdur. Ama eşeylilik her şeyi değiştirir. İki ayrı canlıya ait iki faydalı gen, aynı DNA iplikçığında yan yana geldiğinde

* Cole Porter'ın "Let's do it, let's fall in love" şarkısında geçen "birds do it, bees do it..." ("bunu kuşlar da yapar, arılar da") dizesine atfen (ç.n.)

faydaları üst üste binerek yavrunun sağkalım şansını arttırabilir. Bu büyük bir avantajdır. Ne yazık ki eşeylilik bir canlıda yalnızca iyi genleri değil, kötülerini de bir araya toplayabilir. Avantajın dezavantaja yeterince üstün gelip gelmediğini henüz kimse tam olarak bilmiyor.

Öyleyse eşeyliliğin bu ölçüde güçlü ama bir yandan da gizemli avantajı nedir? Evrensel kabul görmese de popülerlik kazanmış bir görüş, eşeyliliğin ölümcül parazitleri şaşırttığıdır. Bu tür canlılar, tüm karmaşık canlılar için ciddi birer tehdittir. Dünya üzerinde 2 milyardan fazla insana sıtma yapıcı protozoonlardan bağırsak kurtlarına kadar çeşitli parazitler bulaşır. Evrim, tüm diğer canlıları etkilediği gibi parazitleri de etkiler. Fakat parazit, *konağının* üzerinde yaşar. Dolayısıyla çevresindeki kaynakları kullanmadaki başarısı, konağının kaynaklarını tüketme pahasına olur. Parazitler konaklarının yaşamlarını adeta emerek onu sonunda öldürebilirler bile. Üstelik genelde küçük ve hızlı oldukları, ayrıca konaklarının yaşam süresi içinde defalarca üreyebildikleri için bu süreç çok hızlı işleyebilir.

Konaklar böylesi sonu gelmez ve etkili saldırılardan nasıl sağ çıkabilir? Yanıt: Üyelerini, tümüyle yeni ve parazitlerin henüz tam uyum sağlamadığı yeni üyelerle sürekli değiştirerek. Amerikalı biyolog Lee Van Valen'in 1973'teki iddiasına göre, eşeyliliğin başardığı şey tam olarak budur.⁷

Evet, parazitler hızlı biçimde değişime uğrayabilir. Van Valen'e göre konak nüfusu, *daha hızlı* değişime uğrarsa hayatta kalabilir. Lewis Carroll'un *Alice Harikalar Diyarında*'nın devamı olarak 1871'de yazdığı *Aynanın İçinden* kitabında Kızıl Kraliçe'nin yanı başında koşmakta olan Alice, hiç ilerlemediklerini fark edince şaşkınlığa düşer.

"Bizim ülkemizde," dedi Alice, hâlâ biraz nefes nefese, "şimdi bizim yaptığımız gibi uzun süre çok hızlı biçimde koşarsanız – genellikle başka bir yere varırsınız."

"Yavaş bir ülkeymiş sizinkisi!" dedi Kraliçe. "Ama işte burada, *aynı yerde kalabilmek için koşabildiğiniz kadar koşmanız gerekir.*"

Bu yüzden Van Valen'in eşeylilik için getirdiği parazit açıklaması, "Kızıl Kraliçe Varsayımı" adıyla anılır.⁸

2011'de ABD'li biyologlar bu fikri kontrollü laboratuvar ortamında sınamak için *Caenorhabditis elegans* adlı yuvarlak solucanın çiftleşme sistemine müdahale ettiler ve farklı nüfusların ya kendi yumurtalarını dölleyerek eşeysiz ya da erkek solucanlarla çiftleşerek eşeyli üremelerini sağladılar.⁹ Daha sonra solucanlara patojen *Serratia marcescens* bakterisinden bulaştırdılar. Bakteri, kendini dölleyen *C. elegans* nüfusunu hızla yok oluşa sürükledi. Ancak eşeyli üreyenler için durum aynı değildi. Bu grup, kendisiyle birlikte evrilen parazitleri geride bırakmayı –onlardan sürekli olarak *daha hızlı koşmayı*– başarmış, görünüşe göre de Kızıl Kraliçe Varsayımı'nı doğrulamıştı. Eşeylilik, parazitlere karşı kullanılan bir silahtır.

Eşeyliliğin mekaniği

Cinsellik, iki canlının genlerinin bir araya gelip karışması yoluyla tümüyle yeni bir canlının ortaya çıkmasını içerir. Ancak şeytan ayırtıda gizlidir. Ayrıntılırsa hem ince hem de karmaşıktır.

Bunu anlayabilmek için önce biraz temel bilgiye ihtiyacımız olacak. Hücrelerinizden bir tanesindeki DNA tek bir düz parça halinde düzenlenebilseydi, başınızdan ayak parmaklarınıza kadar uzanırdı. Bunca DNA'yı gözle görülemeyen küçücük bir hücreye paketlemek, biyolojik açıdan hiç kolay değildir. Hücre, bu zorlu işin üstesinden gelmek için DNA'yı kromozom adı verilen kısa parçalar halinde paketlemiştir. ("Kromozom" adı, bu yapının ilk kez renkli ya da "kromatik" boyalar aracılığıyla görünür kılınmış olmasından gelir.¹⁰) İnsan hücrelerinde, özünde birbirinin aynı olan iki takım halinde 46 kromozom bulunur.

Köpekler 78, atlar 64, kediler ve domuzlar 38 kromozoma sahiptir. Görünüşe bakılırsa kromozom sayısının canlının karmaşıklığıyla doğrudan bir ilişkisi yoktur. Örneğin yılan dili olarak da bilinen *Ophioglossum vulgatum* (eğrelti otu) bitkisinin kromozom sayısı 1440'tır ki bu tüm canlılar arasında bilinen en yüksek kromozom sayısıdır.¹¹

İnsanlara dönecek olursak, vücudunuzun her gün 300 milyar, yani Samanyolu'ndaki yıldızların sayısından daha fazla yeni hücre ürettiğini hatırlayın.¹² Mitoz bölünme olarak bilinen bu süreçte hücre, öncelikle 46 kromozomunun tümünün birer kopyasını oluşturur. Böylece toplamda 92 kromozom olur. Hücre, daha sonra her biri ilkinin tıpatıp aynısı olan ve 46 kromozom içeren iki yavru hücreye bölünür.

Eşeyli üreme bunun tersidir. Tek bir hücrenin ikiye bölünmesi yerine, her biri bir ebeveynden gelen iki hücre, tek bir hücre oluşturmak üzere birleşir. Ancak yeni hücre, olması gerektiği gibi 46 kromozom taşıyacaksa, anne-babadan gelen hücrelerin (diğer adıyla eşey hücreleri veya “gamet”lerin) yalnızca 23, yani *normalin yarısı kadar* kromozom içermesi gerekir.

Dolayısıyla hem erkek hem de dişilerde eşey hücrelerinin ortaya çıkışı, mitozdan oldukça farklı bir süreç gerektirir. Mitozda olduğu gibi mayoz bölünmede de hücre önce 46 kromozomun hepsinin birer kopyasını üreterek sayıyı toplamda 92'ye çıkarır. Ancak daha sonra *bir değil, iki kez* bölünür. Böylece her biri 23 kromozom taşıyan 4 gamet ortaya çıkar.

Bununla beraber, mayoz sırasında genlerin belli oranda karışması da söz konusudur. Öyle ki, her gamet ana hücreden genetik farklılıklar taşır. Bu karışma süreci, kromozomların mayoz sırasında gerçekleştirdikleri karmaşık manevraların bir sonucu olarak zamanında belki bir rastlantı sonucu ortaya çıkmış, ama azami miktarda genetik yenilik taşımanın sağkalım değerinden dolayı sabitlenmış olabilir. Çeşitlilik yaratan bu takas süreci, eşey hücrelerinin daha fazla çeşitlilik üretmek üzere birleşmesinden de önce gerçekleşir.

Anne ve babadan gelen gametler elbette aynı büyüklükte olabilir. Zaten bazı canlılarda böyle olur. Fakat çoğu zaman biri diğerinden çok daha büyüktür, çünkü birleşmeden sonra gelişmeyi yönlendirecek olan yakıtı ve protein düzeneklerini içerir. Biyologlara göre cinsler arasındaki temel fark, gametlere dayanır. Hareket yeteneği olmayan –ve yumurta hücresi ya da ovum olarak bilinen– büyük gametleri üreten tarafa dişi, hareketli –ve sperm olarak bilinen– küçük gametleri üreten tarafa erkek denir. Cinsler arasındaki farklılıklarla ilişkilendirilen başka ne varsa –penis, vajina,

memeler, sakal vs.– özünde sperm ve yumurta hücresi arasındaki farklılıkların birer sonucundan ibarettir.

Biyologlar, eşeyli üreyen ilk canlıların aynı büyüklükte gametler oluşturduğunu düşünüyor. Bu ilginç, çünkü eğer öyleyse *eşeylilik cinsiyetlerden önce ortaya çıkmış* demektir.

Ve sonunda eşeyliliğin asıl olayına geldik: Biri anne, biri babadan gelen iki gametin birleşmesi. Bu noktada, her biri 23 kromozom taşıyan iki gamet, zigot adı verilen tek bir hücre oluşturmak üzere birleşir. Zigot, bundan sonra normal mitozla defalarca bölünecek ve yetişkin bir insanı oluşturacak yaklaşık 100 trilyon hücreyi üretecektir.

Zigot, 23 kromozomu anneden, 23 kromozomu da babadan alır.¹³ Dolayısıyla, genel anlamıyla her hücreniz, *aynı genlerin* ikişer kopyasını taşır. Sonuçta erkek ve kadın, örneğin insan ve şempanzelere oranla birbirlerine genetik açıdan daha çok benzer – Şempanzeler DNA'larının yüzde 98 ila 99'unu insanlarla paylaşıyor olsa da.¹⁴

Anne ve babanız size aynı genleri verse de, her ikisinin de aile soy çizgisinde gerçekleşmiş olan rassal mutasyonlara bağlı olarak, size o genlerin *farklı versiyonlarını* aktarmış olabilirler. İşte bütün fark da “alel” adı verilen bu varyantlarda yatar. Örneğin saç rengini belirleyen bir gen vardır. Annenizden gelen kopya, sizi kıvil saçlı ya da kumral yapacak bir varyant olabilir. Anne ve babadan gelen iki genden hangisinin sizde ifade edildiği, hangi genin baskın (dominant), hangisinin çekinik (resesif) olduğuna bağlıdır.

Bir genin bir kopyasının, yani alelinin, baskın ya da çekinik olması birçok nedene dayanabilir. Bu tamamen hangi genden bahsettiğimize bağlıdır. Biri annenizden, diğeri babanızdan gelen alellerin ürettiği proteinler arasında küçük farklar vardır. Ama bazı proteinler yoldaşlarına üstün gelir. En basit durumda, alellerden biri bir *kırık protein* üretir. Kırık protein hiçbir şey yapmadığından, işler durumdaki protein baskın hale gelir. Çekinik alellere iyi bir örnek kıvil saçtır. Görevi kırmızı pigmentleri yok etmek olan MC1R adında bir protein vardır. Bu protein çalışmadığında kırmızı pigmentler birikir ve saçınız kıvil olur.

Her genin anneniz ve babanızdan gelen versiyonlarını aldığınız için bazı özellikleriniz annenizden, bazıları babanızdan gelir.

Karışımın tam içeriği ise rastlantıya bağlıdır. Eşeyliliğin yavrularda azami yeniliği sağlaması bu şekilde olur.

Aslına bakarsak, iki adet birbirinin aynı, 23'er kromozomluk kromozom takımına sahip olduğunuz tam doğru değildir. Doğrusu, aynı olan kromozomlar 22 çifttir. 23. çiftteki kromozomlar erkek ve kadında farklıdır. Şöyle açıklayalım: Kromozomlar, genelde "X" biçimindedir ancak 23. kromozom "Y" biçiminde olabilir. İki tane X kromozomu varsa birey dişi, bir X bir de Y varsa erkek olur.¹⁵

Her insan embriyosu başlangıçta tümüyle aynı şekilde gelişir. Ancak kırk gün sonra, erkeğin Y kromozomunda "Y kromozomu üzerinde Cinsiyet Belirleyici Bölge" (SRY) adı verilen bir gen etkinleşir. Bu gen testosteron hormonunun yapımı için gerekli talimatları içerir. Testosteron, embriyonun gonad hücrelerini* testislere dönüştürür. Testisler ise erkek üreme organlarının gelişimini tetikler. Ancak SRY'nin ifadesi baskılanacak olursa, bu sefer embriyodaki gonad hücreleri ovaryumlara (yumurtalıklara) dönüşür ki ovaryumlar da dişi üreme organlarının gelişimini tetikler. Erkek ve dişiler arasındaki hormon farkları, memelilerdeki her altı genden birinin, cinsiyete bağlı olarak farklı ifade edilmesine neden olur.

Erkek, testosteronun bir ürünüdür, fazladan bir gene sahip değildir. Ve en maçoosu da dahil olmak üzere her erkek, varoluşunun ilk 40 gününde dişil yapıyla temasta olmuştur.

Cinselliğin büyük patlaması

En basit canlılar eşeysiz ürediklerinden ve Dünya'daki ilk canlılar da tek hücreli olduklarından, biyologların çoğu en eski yaşam formlarının eşeysiz ürediğine inanır. Bu, eşeyli üremeden çok daha basit bir üreme biçimidir. Peki eşeylilik nasıl ortaya çıkmış olabilir?¹⁶

Bazen doğada tümüyle farklı amaçlar için evrilmiş şeyler, yeni görevlere uyarlanır. Örneğin insan beynindeki en önemli sinirsel

* Gonad: üreme hücrelerini (gametleri) oluşturan bezler; örneğin insanlardaki yumurtalık ve testisler (f.n.)

ileticilerden (nörotransmitter) olan glutamat, yaklaşık 4 milyar yıl önceki ilk bakterilerce sinyal iletiminde kullanılıyordu.¹⁷ Eşeylilik de bundan farklı değildir aslında. Temel bileşenleri (iki hücrenin birleşmesi, genlerinin karışması, hücrelerin ayrılması) başka amaçlarla ortaya çıkmış, sonradan eşeyli üreme amacına hizmet etmişlerdir.

En temel olaylardan biri, bundan 1,8 milyar yıl kadar önce basit (prokaryotik) bir hücrenin, bir diğerince yutularak karmaşık (ökaryotik) bir hücre oluşturmasıydı.¹⁸ Bu olay hücre içinde çok sayıda değişikliğe yol açtı. Örneğin yutulan hücrenin zarı, hücrenel bir organel haline gelmesine izin verecek şekilde farklı bir zar türüyle değiştirildi. Bu noktada önemli olan kesin ayrıntılar değil, bu tür uyum süreçlerinin, *bir hücrenin bir diğeriyle kaynaşmasını* mümkün kılmış olmasıdır.

Geçmişin sisleri içinde bir yerlerde, benzer iki ökaryotik hücre birbiriyle çarpıştı ve *istemedenden de olsa kaynaştı*. Bazı hücrelerin zor zamanlarda, örneğin su kıtlığında, uyku durumuna geçerek bir anlamda rölantide çalıştığını biliyoruz. Böyle bir durumda, kaynaşmış iki hücreden oluşmuş bir hücre, sağkalım avantajı elde etmiş olabilir. Ne de olsa iki hücre *kaynaklarını bir havuzda toplamıştır*. Dahası bu kaynaşmanın başka avantajları da olabilir. Zor dönem, hücrenin DNA'sına zarar verecek kadar zor bir dönem olabilir. Fakat hücre, genlerin ikişer kopyasına sahip olduğundan, kopyaları birbiriyle karşılaştırıp *hataları düzeltme* becerisine sahiptir.

Koşullar yeniden düzeldiğinde, genlerinin yalnızca birer kopyasına sahip bir hücre tekrar avantajlı duruma geçer. Kopyalayacağı DNA miktarı daha az olduğundan, daha hızlı üreyip çoğalabilecektir. Genlerin iki kopyasına sahip hücreden birer kopyasına sahip hücreler oluşturan mayoz süreci böyle evrilmiş olabilir. Bu akla pek yatkın gelmese de çevresindeki aşırı değişimlere benzer biçimde tepki veren ve genlerinden tek kopya taşıdıkları durumdan (haploid) çift kopya taşıdıkları duruma (diploid) ileri geri geçişler yapabilen tek hücreli organizmalar bugün bile vardır.

Mayoz sürecinde hücrelerin nasıl birleşip ayrıldığından bahsettik. Peki iki hücrenin DNA'ları, eşeyliliğin özünü oluşturan genetik çeşitliliğe yol açacak biçimde birbirine nasıl karışabiliyor? Bu

işlem hasarlı DNA'nın tamiri sürecinde doğal biçimde de gerçekleşir zaten. Hücre, bir kromozomun DNA'sını oluşturan iki iplikçiğin birbiriyle uyuşmadığını algıladığında, hangi iplikçiğin hatasız olduğu bazen bilemez. Bu durumda o aynı olmayan bölgeyi her iki DNA iplikçiğinden de çıkarıp atar. Doğan boşluğu doldurmak için de, kendisiyle eşleşen kromozomda aynı bölgeye karşılık gelen yerdeki dizilimi kopyalar.

Tüm bunlar iki kromozom birbirine çok yakın olduğunda gerçekleşir. DNA parçalarının fiziksel anlamda kesilip birbirine eklendiği bu karmaşık dans sırasında, bazı DNA bölümleri birbiriyle yer değiştirir. Çaprazlama adı verilen bu süreç, mayozla oluşan yeni hücrelerin ana hücreden farklı olmasını temin eder. Doğal seçim yavrularda yenilik ve çeşililiği yeğlediğinden, kalıcı hale gelmiş olabilecek çaprazlama, mutlu bir tesadüftür aslında.

Anlaşılan eşeylilik, sonradan bir sağkalım stratejisine evrilmiş basit bir kazaydı. Halihazırda var olan genlerden yararlanıyordu. Doğa, DNA'yı kasıtsızca karıştırarak genetik çeşitliliğe büyük itki sağlayan ve böylece evrimi kat be kat hızlandıran bir mekanizmaya sahipti artık.

Fakat insan gibi karmaşık organizmalardaki eşeylilik elbette bundan çok daha fazlasını içerir. *Bu* nasıl evrilmiştir peki? Tüm ayrıntıları kimse bilmiyor. Ama bu yolda atılan adımlar hakkında tahminler yürütülebilir. İlk aşama, birbiriyle kaynaşıp mayoz sürecine giren hücrelerin evrimidir. Bu, eşeyliliğin başlangıcı, başka bir deyişle cinselliğin büyük patlamasıydı. Ardından, cinsiyetlerin evrimi geldi. Bu aşamada tek tip hücre yerine iki tip hücre ortaya çıkmıştı: erkek ve dişi.¹⁹ Başlangıçta bu iki farklı hücre her olası kombinasyonda (erkek-erkek, dişi-erkek ve dişi-dişi) birleşebiliyordu. Ancak farklı tiplerin birleşmesi (dışüreme) yavrular arasında daha fazla çeşitliliğe yol açar ki bu da sağkalımda avantaj sağlar. Bu yüzden, nihayetinde, yalnızca erkek-dişi kombinasyonuna izin veren bir eşeylilik sistemi evrildi.

Başlangıçta, eşeyli üreyen bir canlının tüm hücreleri bu işlevi yerine getirme yetisine sahipti. Eşeyliliğin evrimindeki bir sonraki adım, eşeyli üremenin *yalnızca tek bir tip özelleşmiş hücre* tarafından gerçekleştirildiği çok hücreli canlıların ortaya çıkışı oldu.

İki tip gametten biri olan sperm hücresi, yüzerek yer değiştirme yeteneği kazandı ve bu sayede yumurta olarak bilinen diğer gamet tipini bulma şansını ciddi biçimde arttırmış oldu. Fakat özelleşme süreci bununla bitmeyecek ve sonunda, gamet üretimi tek bir doku tipiyle, yani gonadlarla sınırlı kalacaktı.

Tüm bunların ne kadar zaman aldığı bilinmiyor. Bildiğimiz, evrimin iyi bir fikirle karşılaştığında onun peşinden yürüdüğüdür. Hayatın başladığı okyanuslarda erkek ve dişiler yumurta ve spermlerini aynı anda suya bırakarak, birleşme şanslarını en yükseğe çıkaracak eşgüdümlü davranışlar geliştirmişti. Ancak böyle bir strateji, hayvanlar karaya çıktıktan sonra imkânsız hale gelmiş, bu sefer iç döllenme avantajlı olmuştu. Derken, erkeklerin dişilerin içine girip dölleyebilmeleri için birbirine uyumlu üreme organları evrildi. “Cinsel ilişki o zaman başladı / Bin dokuz yüz altmış üçte / (benim için iş iştenden geçmişti gerçi)” diye yazmıştı şair Philip Larkin.²⁰ Ama aslına bakarsanız bundan hayli önce başlamıştı bu iş. Ve son olarak, gelişmekte olan embrioyu daha iyi koruyabilmek için dişilerde rahim, yani “uterus” evrildi. Böylece embriyo daha güvenli bir ortamda büyüyebilecekti.

Günümüzdeki eşeylilik ve cinselliğe uzanan yol uzun olsa da, temel kilometre taşları berrak biçimde görünmektedir. Günümüzün insan dünyasına bakınca açıkça belli olduğu gibi bu olgu, “bir muammanın içindeki gizemle sarmalanmış bilmece” olma özelliğinden pek bir şey yitirmemiştir.

Eşeyliliğin diğer gizemleri

Aynı cinsiyetten eşler arasındaki cinsellik olarak tanımlanan eşcinselliği ele alalım. Genler ve kodladıkları özelliklerin kuşaktan kuşağa aktarılabilmesi için tek yol erkek ve dişi arasında gerçekleşen seks olduğuna göre, eşcinselliğe katkıda bulunan genlerin hızlı biçimde yok olması beklenir. “Bizler, kendisinin daha çok kopyasını

* Philip Larkin’in Annus Mirabilis şiirinden alınmıştır. Şiir 1960’lı yılların başında müziğin – özellikle de Beatles’ın müziğinin– etkisiyle cinsellikle ilgili değer yargılarının nasıl değiştiğini ve bu müziğin cinsel özgürlüğü nasıl tetiklediğini konu alır. (f.n.)

yapsın diye DNA tarafından inşa edilmiş makineleriz,” der Dawkins, “ve bu, yaşayan her varlığın tek yaşama nedenidir.”¹¹

Ancak hangi kültüre bakarsak bakalım, kabaca erkeklerde yüzde 3, kadınlarda ise yüzde 2 oranında eşcinsellik olduğunu görüyoruz. Peki bu nasıl olabilir?

Akla ilk gelen ihtimallerden biri, eşcinselliğin genetik bir bileşenin olmaması, yani eşcinselliği belirleyen herhangi bir genin bulunmayışıdır. Hatta Dawkins’in temel nitelikteki “bencil gen” kavramı, genlerin ifadesinde çevrenin de rol oynadığının fark edilmesiyle, giderek yumuşatılmıştır. “Epigenetik” bilimine göre hücreler DNA’yı okurken onu, harfi harfine izlenecek bir talimatnameden çok, yorumlanması gereken bir metin olarak alırlar.

Bir başka ihtimal, eşcinselliğin kendisi üremeye faydalı olmasa da, eşcinsel yapan genlerin üremeye faydalı olan bir başka özelliği de beraberinde getirmeleridir. Bu hiç de az görülen bir durum değildir. Örneğin sıtmaya karşı bağışıklık sağlayan belirli bir gen vardır. Ama o genden bir kopya değil de iki kopya (biri anneden biri babadan) taşıyan bir kişi, orak hücre anemisi adı verilen ve kan hücrelerinin yassılaşıp kılcal damarları tıkadığı bir hastalığa yakalanır. Korkunç sancılı olabilen bu hastalığın varlığını sürdürebilmesinin nedeni, buna neden olan genin çoğu kişide yararlı etki gösterip sağkalım şanslarını artırmasıdır.

Elbette, eşcinseller de genlerini sonraki nesillere aktardıkları için eşcinsellik varlığını sürdürüyor olabilir. Cinsel eğilimleri kesin sınıflara ayırma eğilimindeyizdir, ama aslında yüzde 100 heteroseksüellikten biseksüelliğe, biseksüellikten de yüzde 100 eşcinselliğe uzanan geniş bir yelpaze söz konusudur. “Cinsellik deniz kadar engindir,” der İngiliz film yönetmeni Derek Jarman. İnsanlar bütünüyle eşcinsel olmayabilir ya da yaşamlarının yalnızca belirli dönemlerinde eşcinselliğe yönelebilirler. Eğer öyleyse eşcinseller de en azından genlerinin kuşaktan kuşağa aktarılmasına yetecek kadar çocuk yapıyorlardır; böylece eşcinsellik de kuşaktan kuşağa aktarılıyordur.

Fakat akla oldukça yatkın bir açıklama daha var: Eşcinseller kendileri çocuk yapmasa bile, eğer kendileriyle genetik akraba olan çocukların –örneğin kardeşlerinin çocuklarının– yetiştirilmesine yardım ediyorsa, aslında kendi genlerinin geleceğe

aktartılmasına dolaylı yoldan katkı sağlamış olurlar, çünkü yardım ettikleri akrabalarıyla kendi genleri belli bir oranda ortaktır. Dolayısıyla bu tür yardımlar, kendi genlerini gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlayan bencil bir hareket olarak da yorumlanabilir. Bu yorum biyolojinin bir başka büyük gizemini, bencilliğin zıddı olan özgeciliği açıklamak için sıklıkla kullanılan argümana benzer. Bireyler neden *kendi sağkalım şanslarını azaltma pahasına*, başkalarının sağkalım şansını arttıran davranışlar sergiler? Yine aynı yoruma göre, insanlar bu tür davranışları daha çok kendileriyle genetik bağı olan bireylere, yani yakın aile bireyelerine gösterir.

Menopozun gizemini de aynı mantıkla açıklamak mümkün. İnsanoğlu, henüz yaşarken üreme potansiyeli sonlanan hepi topu üç canlı türünden biridir. Diğer iki tür, katil balinalar ve kısa yüzgeçli kara balinalardır. (Kısa yüzgeçli kara balinaların hali en zordur. Menopoza girmeleri yetmezmiş gibi, bazen menopozda görülen ateş basmalarına karşı yelpaze olarak kullanabilecekleri tek şey de *kısa yüzgeçleridir.*)

Menopoz, dişinin yumurtaları tükendiğinde gerçekleşir. Her aylık döngüde yumurtalıklardan bir yumurta bırakılır. Fakat toplam yumurta sayısı daha doğmadan önce belirlenmiştir. Yaklaşık 400 tane olan yumurtalar, bir kadın 50'li yaşlarına geldiğinde genelde tükenmiş olur.

Bu arada ilginç bir nokta: Bir kadının yumurtaları, henüz annesinin rahmindeyken oluşmuş durumdadır; dolayısıyla yaşamına za annenizin değil, *anneannenizin bedeni içinde* başladığınızı söylemek yanlış olmaz.

Menopozun gizemini şu şekilde sorgulayabiliriz: Eğer canlıların hedefi mümkün olduğunca çok sayıda yavru üretmekse ve dişinin, yaşlandığında bile “araya bir yavru daha sıkıştırması” avantajlı bir şey ise, yumurta sayısı neden 400 ile sınırlıdır? Neden bir ömür boyu yetecek kadar yumurta bulunmaz?

Belki devreye giren başka etkenler vardır. Şurası bir gerçek ki, yaşamın ileri evrelerinde doğurmak kadın için daha riskli olduğu gibi, çocuğun da kalıtım yoluyla genetik kusurlar alma ihtimali daha yüksektir. Ayrıca doğurduktan sonra çocuğu erişkinliğe ulaştırmak da büyük enerji gerektirir. Yaşlı bir kadın bu enerjiye sahip olmayabileceği gibi, çocuğu büyütürken ömrü de sonlanabilir.

Belki de bir kadın, üreme yeteneğinin sonlanmasıyla *çocuklarının çocuk yetiştirmesine* yardımcı olmaya daha hazır hale geliyor. Sonuçta torunlarının hayatta kalma şansını arttırması demek, *kendi soyunun ve genlerinin* hayatta kalma şansını arttırması demektir. Bütün mesele fayda-maliyet analizine bağlı: kendi gebeliği ve çocuk yetiştirmenin maliyetine karşılık, bir torunun yetiştirilmesine yardımcı olmanın faydası. Belki belirli bir yaştan sonra bu stratejinin faydaları maliyetlerini geçiyordur. Bu argümana göre, büyükannelerin, bencilliklerinden dolayı özverili davrandıkları bile iddia edilebilir!

§:

MERAKLI MADDE

Beyin

Ben bir beyinim, Watson. Geri kalanım bir eklentiden ibaret.

SHERLOCK HOLMES¹

Kaba kuvvete karşı beyin –ve beyin galip geldi– başka türlü de olamazdı.

KENNETH GRAHAME, *Söğütlerdeki Rüzgâr*²

Bilimin en derin sorularından biri şudur: Evren, neden kendisini merak etme becerisi kazanacak şekilde inşa edilmiştir? Bu soru, nesnel bir evrenin mevcudiyetini varsayar. Oysa gerçeklik hakkındaki bildiğimiz her şey, evren modeli de dahil olmak üzere, insan beyninin bir kurgusudur. Beyin, şair Emily Dickinson'ın da yazdığı gibi, gökyüzünden geniştir. Bu yüzden evrenle ilgili derin soruları hakkıyla irdeleyebilmek için, önce o evreni algılamada kullandığımız filtreyi anlamamız gerekir.

Yıldız gemisi *Atılgan*'ın komutanı Kaptan James Kirk, uzayı “son sınır” olarak nitelendirmişti. Ama yanılıyordu. Son sınır uzay değil, insan beyniydi: “merak eden madde”.

Beynimiz –“düşündüğümüzü düşünmemizi sağlayan aygıt”³– dünyaya dair iç modelini güncellemek için duyularımızla gelen bilgileri sürekli işleme tabi tutar. Ardından, bu bilgilere bağlı olarak ne yapacağına karar verir. Beynimiz, sanattan, bilimden, dilden, gülüşten, ahlaki yargılardan ve akılcı düşünceden sorumludur. Ve tabii kişilikten, anılardan, devinimden ve dünyayı algılayışımızdan. “Gelincik beyinde kırmızıdır, elma beyinde kokar, tarla kuşu beyinde öter” diye yazmıştır Oscar Wilde.⁴

Pek matah bir görüntüsü olmayan, soğuk lapa kıvamında küçük bir kütle parçası için hiç de fena sayılmaz. Ama asıl soru şu ki, böylesine karmaşık ve ilginç bir yapı nasıl ortaya çıktı? Bunun yanıtı, sinir sisteminin kökeninde yatar. Ve elektriğin ehlileştirilmesinde...

Elektriğin evrimi

Başlangıçta basit bakteriler vardı: küçük şehirlerin karmaşıklığında, mikroskobik balçık kesecikleri. Bu bakteriler çözmeleri gereken

ciddi bir sorunla karşı karşıyaydı: içlerindeki “fabrikaları”, yaşamın mikro-makineleri olan proteinleri üretmek üzere nasıl düzenleyeceklerdi? Buldukları çözüm, sıvı haldeki iç ortamlarında yayılma özelliği taşıyan –glutamat gibi– moleküller salgılamak oldu. Bu türden bir kimyasal haberci, moleküler bir reseptör (almaç) ile anahtarın kilide oturması gibi kenetlendiğinde, protein oluşturmak için gerekli kimyasal tepkimeler zincirini tetikleyebiliyordu.

Yaşam, tek hücre aşamasında neredeyse 3 milyar yıl boyunca saplanıp kaldıktan sonra çok hücreliliğe dev bir sıçrama yapmıştı. Fakat hâlâ babadan kalma iç haberleşme sistemini kullanıyordu. Süngerleri düşünün. Bu hücre kolonileri, besinle dolu suyu vücutlarının içindeki kanallarda dolaştırabilmek için senkronize atımlar yaparlar. Sünger hücrelerinin böyle bir eşgüdümü sağlayabilmele-ri, diğer sünger hücrelerinin salgıladığı glutamat ve benzeri kimyasal habercileri algılamaları sayesinde. Bu haberleşme ağı, tek bir bakterinin içinde olup bitenlerin daha net ve bariz olan halidir. Tek bir bakteri hücresi içinde olan biten de bundan farklı değildir. “Bozuk değilse kurcalamayın” der gibidir doğa adeta.⁵

Süngerdeki kimyasal ileticilerin tüm hücrelere yayılıp bir tepkiyi tetiklemesi uzun saniyeler alabilir. Sabit ve öngörülebilir çevre koşullarında yaşayan bir canlı için kabul edilebilir bir süredir bu. Ancak çabucak değişebilen ve tehlikelere hızlı yanıt vermenin hayati önem taşıdığı ortamlarda, daha hızlı bir iç haberleşme yöntemi zorunludur. İşte böyle bir yöntemi mümkün kılan da elektriktir.

İşin ilginç, elektrik de kimyasal haberciler gibi, hücrelerin es- kiden kalma bir özelliğidir. Hücre zarları sızdıracıdır ve tuzdaki sodyum gibi tehlike oluşturabilecek yüklü atomları geçirmeye meyillidir.⁶ Bakterilerin hayatta kalabilmek için bu tür iyonları dışarı pompalayacak bir yol bulmaları gerekiyordu. Sorunu, iyon kanalları adı verilen tünel benzeri proteinlerin yardımıyla çözmeyi başardılar. Bütün zar boyunca konumlanmış olan bu proteinler, iyonları atmak için açılıp kapanabiliyordu. Fakat iyonları böyle bir kanaldan pompalayınca hücrenin içi ve dışı arasında kaçınılmaz olarak bir elektrik yükü farkı oluşur. İşte, hücreye etkili bir iletişim olanağı sağlayan özellik de bu voltaj farkıdır.⁷

Hücrenin süper-hızlı bir sinyal iletmek için yapması gereken tek şey, zarı boyunca voltajı değiştirmektir. Bunu da bir iyon kanalı içinden hızla iyon pompalayarak yapar. Böylece zarın iki yüzü arasında aniden bir voltaj farkı oluşur; bu olay bir sonraki iyon kanalını tetikler, o da bir sonrakini vb. Sonuçta elektrik sinyali, mikroskobik bir Meksika dalgası gibi zar boyunca ilerler. Herhangi bir kimyasal haberciden binlerce kez daha hızlı, yıldırım hızında gerçekleşen bir olaydır bu.

Elektriğe dayalı bir haberleşme sisteminin –gerçek bir hücre içi telefon sisteminin– sinyali iletmesi yetmez; sinyali hedef noktada algılayıp onunla yararlı bir şeyler yapabilmesi de gerekir. Hücreler bunun da üstesinden gelmiştir. “Voltaj-kapılı iyon kanalı” olarak bilinen bir tür kanal, elektrik sinyaline tepki olarak açılıp kalsiyum gibi iyonların zardan geçmesine izin verebilir. Bu şekilde başlayan bir hücre içi süreçler dizisinin sonunda, gelen elektrik sinyali tekrar bir kimyasal haberciye dönüştürülür. Bu haberci de, örneğin bir proteinin yapımını başlatmak gibi yararlı işler yapabilir.

Normal iyon kanalları gibi voltaj-kapılı iyon kanalları da bakterilerde zaten mevcuttur. İç haberleşmede voltaj-kapılı iyon kanallarından yararlanan hücreler, bunları yeni özel görevlerine uyarlamışlardır.

Hücre içi telefon sistemi, ilk çok hücreli hayvanlardan önce bile vardı. Hatta suda yaşayan tek hücreli *Paramecium*’da da bu sistemi etkin halde gözlemek mümkündür. *Paramecium* yüzerken bir engele çarptığında zarının iki yüzü arasında bir voltaj farkı oluşur. Bunun etkisiyle iyonlardan oluşan bir Meksika dalgası vücudu boyunca yayılır. Yıldırım hızındaki dalga, hücre yüzeyindeki tüy benzeri uzantılara ulaşır. Normalde eşzamanlı dalgalanarak hücreyi ileri itebilen bu “sıl”ler, sinyalin ulaşmasıyla aniden ters yöne doğru dalgalanmaya başlayarak *Paramecium*’un engelden uzaklaşmasını sağlarlar.

Paramecium gibi tek hücreli bir canlı için yararlı bir numaranın, çok hücreli bir canlı için vazgeçilmez hale geldiğini görüyoruz. Ne de olsa canlılar irileştikçe, vücutlarında tehlikeli bir temas hissettikleri bölge ile buna tepki olarak kasılacak kas arasındaki mesafe gittikçe artıyordu. Kimyasal bir haberciyle gönderilecek sinyaller artık fazla

yavaş kalıyordu. Hayvan kendini koruyacak bir manevra yapana kadar çoktan yem olabilirdi. Tek çözüm elektrikti. Doğa da bunun üzerine özel bir elektrik hücresi meydana getirdi: sinir hücresi.

Sinir hücreleri

Sinir hücresi, her normal hücre gibi, bir gövdeye ve onun içinde bir çekirdeğe sahiptir. Fakat benzerlik bundan öteye gitmez. Hücrenin bir tarafı uzun ince bir tel gibi uzanır. Diğer tarafı ise parmak benzeri uzantılar taşır. “Akson” adı verilen uzun ince tel elektriksel atımları başka sinir hücrelerine *iletirken*, “dendrit” adı verilen parmağımsı uzantılar diğer sinir hücrelerinin aksonlarından elektrik sinyallerini *alır*.

Burada önemli bir nokta, bir sinir hücresinin aksonunun bir diğerinin dendritine değmemesidir. Arada “sinaps” adı verilen bir boşluk vardır. Aksondan gelen elektrik sinyali burada kimyasal habercilere dönüştürülür.⁸ Bu haberciler aradaki boşlukta yayılarak reseptörlere kenetlenir. Reseptörler ise iyon kanallarını açarak yeni bir elektrik sinyalini tetikler. Tanıdık geldi mi? Bu, 4 milyar yıl kadar önce bakterilerin bulduğu anahtar-kilit sisteminin ta kendisidir. Yaşam, kimyasal habercilerin aracılık ettiği eski ve hantal iletişim sistemini bir kenara atmak şöyle dursun, onu, elektriğin aracılık ettiği süper-hızlı ve modern iletişim sisteminin içine *entegre etmiştir*.

Elektrik sinyallerine kimyasal habercilerin aracılık etmesi, yaşamın başlangıcından gelen talihsiz bir kalıntı değildir. Bu durum, bir sinir hücresinin neredeyse sonsuz seçenekten oluşan bir tepkiler dizisi üretmesini de mümkün kılar. Bunun nedeni, çeşit çeşit kimyasal habercinin veya sinirsel ileticinin bulunması ve bunların her birinin, ancak ve ancak dendrit kendisine uyan bir almaç taşıyorsa o dendriti etkilemesidir. Bazıları dendritte bir elektrik akımını tetiklerken, bazıları da akımı engeller.

İnsan beyninde iki çok önemli sinirsel iletici vardır: glutamat (milyarlarca yıl önce bakterilerce kullanılan kimyasal haberci

sisteminin fosil yadigarı) ve gama aminobütirik asit veya kısaca GABA. Beyindeki sinir hücreleri, yani nöronlar arasındaki iletişimin neredeyse tamamı bu iki basit amino asit tarafından yönlendirilir. Dopamin ve asetilkolin gibi diğer sinirsel ileticilerin yaptıkları, özünde bu ikisinin etkinliğini düzenlemekten ibarettir. Davranışı etkileyen çoğu ilaç, belirli bir sinirsel ileticuyu baskılayarak ya da taklit ederek çalışır; böylece reseptör bölgesini uyararak iletiliyle aynı etkiyi göstermiş olur. Örneğin azıcık alındığında bile rüya benzeri psikedelik sanrılara yol açan LSD (liserjik asit dietilamid), sinirsel iletili serotoninine çok benzeyen bir kimyasal yapıya sahiptir.

Sinir hücresi, elektrik sinyallerini hem *gönderme* hem de *alma* yetisine sahip uzantılar taşıdığından, diğer sinir hücreleriyle bir ağ oluşturabilir. Bu durumda her bir sinir hücresi, dendritleri aracılığıyla birçok başka hücrenin aksonlarına bağlanır. Böyle bir ağ, karmaşık davranışlar sergileyebilir.

Tek bir sinir hücresi bile bellek özellikleri gösterebilir. Herhangi bir duyu, örneğin dokunma duyusuyla gelen bir elektrik sinyalinin dendrit aracılığıyla alındığını ve sinir hücresini, bir kasın kasılmasını sağlamak üzere aksonu boyunca bir sinyal göndermesi için uyardığını varsayalım. Bu akson kasa gitmenin yanında, bir de ikiye bölünerek taşıdığı sinyallerin bir bölümüyle yine kendi dendritlerinden birine geribildirim yapacak olursa, kasılmayı tekrar tetikleyecektir. Sonra bir üçüncüsü, bir dördüncüsü... Bir sinir hücresi saniyenin her yüzde birinde yeniden ateşlenebilir. Bu sayede uyarıyı *hatırlar*. Dört sinir hücresi birbirine bağlandığında, örneğin hayvanın solundan ya da sağından gelen bir uyarıdan uzaklaşmasını sağlayacak bir kasın kasılması gibi karmaşık davranışlar sergileyebilirler. Bu örnek, sinir hücrelerinin dörtlü olarak değil de, yüzlerle, binlerle, hatta *yüz milyarlarla* bir araya geldiklerinde ortaya çıkabilecek karmaşık davranışlar hakkında bir fikir verir.

En eski sinir hücreleri birbirlerine bağlı olmanın yanında dış dünyaya da bağlıydı. Girdi sinyallerini doğrudan duyulardan alıp çıktı sinyalin de örneğin kasa gönderiyorlardı. Arada herhangi

bir hesaplama söz konusu değildi. Ancak bir zaman sonra sinir hücreleri, *yalnızca diğer sinir hücreleriyle* bağlantı kurar hale geldiler. Ve böylece çevreden alınan girdileri, uygun tepkiye karar vermek için işleyebilme becerisi kazandılar. Yaşamın tarihinde çığır açıcı bir andı bu. *Beyin* doğmuştur.

Beyin

“Temelde iki tip hayvan vardır” der Kolombiyalı nörobilimci Rodolfo R. Llinás. “Hayvanlar ve beyni olmayan hayvanlar; ikinci gruba bitki diyoruz. Bunların bir sinir sistemine ihtiyaçları yoktur, çünkü aktif biçimde hareket etmez, ormanda yangın çıktığında köklerini topraktan çekip koşmaya başlamazlar. Ama aktif hareket eden her şey, sinir sistemine gerek duyar; aksi taktirde hızlı bir ölümle karşılaşması kaçınılmazdır.”⁹

Nöronlar sık sık bilgisayarın mantık kapılarına benzetilir.¹⁰ Transistörlerden yapılmış bir mantık kapısı diğer mantık kapılarına bağlanarak, sözelimi iki sayıyı toplayan bir devre oluşturulabilir. Bir mantık kapısı yalnızca iki elektrik girdisine sahiptir ve çıkardığı sinyal bu iki girdinin akımlarına bağlıdır. Halbuki bir nöron 10.000’den fazla dendritik girdiye sahiptir ve çıkardığı sinyal sayısız sinirsel ileticiden gelen elektriksel girdiler ve reseptörlerin karmaşık etkileşimine bağlıdır. Dolayısıyla, nasıl mantık kapısı bir bilgisayarın temel yapıtaşısıysa, nöron da bir biyolojik bilgisayarın temel yapıtaşısıdır, ama bununla kalmaz. Çünkü nöron, *kendi başına bir bilgisayardır*.

Nöronlardan yapılmış beyinleri çalıştırmak pahalıya patlar. İnsan beyni, kütlece, yetişkin bir insanın yalnızca yüzde 2 ila 3’üne karşılık geldiği halde, dinlenme halindeki vücut enerjisinin beşte birini tüketir.¹¹ Bununla birlikte, beyin tüm mega-hesaplamalarını kabaca 20 watt ile gerçekleştirir ki bu da loş bir ampule karşılık gelir. Karşılaştırmak açısından şu örneğe bakabiliriz: Benzer miktarda hesaplama yapan bir süperbilgisayar 200.000 watt harcar; yani enerji verimliliği beynin 10.000’de biridir.

Yine de beynin enerji maliyeti bazı canlılar için çok fazladır. Deniz üzümü adı verilen canlı, denizde dolaşarak üzerine yapışıp

yuva olarak kullanabileceği uygun bir kaya ya da mercan parçası aramasını mümkün kılan ilkel bir sinir sistemine sahiptir. “Aradığı bölgeyi bulup oraya kök saldıktan sonra artık beynine ihtiyacı kalmamıştır” diye açıklar Amerikalı bilişsel bilimci Daniel Dennett. “Bu yüzden onu yer!”¹²

Bu oldukça rahatsız edici öz-yamyamlık örneğine rağmen, basit de olsa bir beyin sahibi olmanın yararları, ödenen bedele genelde ağır basar. Örneğin yuvarlak solucan *Caenorhabditis elegans*, hepi topu 302 nörondan oluşan bir beyne sahiptir; o kadar küçüktür ki beyninin tamamı DNA’sına harf harf kodlanmıştır. Yuvarlak solucan, deniz üzümünden farklı olarak kendi beynini yemez. Dolayısıyla ona rekabette üstünlük sağlayacak önemli bir avantaj sağlıyor olması gerekir.¹³

İnsan beyni yaklaşık 1,5 kilogram ağırlıkta olup 100 milyar kadar nöron içerir. Tesadüfen de olsa bu sayının, galaksimizdeki yıldızların, evrendeki galaksilerin ve şu ana kadar yaşamış olan tüm insanların sayısı ile kabaca aynı olması ilginçtir. Edward Wilson’ın sözleriyle: “İnsan beyni evrende bilinen en karmaşık nesnedir. *Zaten bunu bilen de yine kendisidir.*”¹⁴ Amerikalı nörobilimci Paul MacLean’a göre, evrim sürecinde birbirinden farklı üç tip beyin ortaya çıkmış ve bunlar üst üste binmiştir. Bilim yazarı Sharon Begley ise şöyle der: “Eski parçaların üzerine yenilerin oturtulduğu beyni, kasetçaların üzerine yapılmış bir iPod’a benzetebiliriz.”¹⁵

Bir buçuk kiloluk evrenimizin en eski ve en ilkel bölümü, beyin sapı ve beyincikten oluşur. Sürüngen beyninin ana yapıları da bunlardır. “Sürüngen beynimiz”, vücut sıcaklığı, solunum, kalp atım hızı ve denge gibi yaşamsal nitelikteki otomatik işlevleri kontrol eder. Sürüngen beynini saran yapı ise 200 milyon yıl kadar önce ilk memelilerde gelişmiştir. “Limbik sistem” denilen bu yapının ana bileşenleri hipokampus, amigdala ve hipotalamustur. Yaşanan iyi ve kötü tecrübeleri anı halinde kaydeden bu bileşenler, duygulardan sorumludur. Limbik beyin çevresini saran üçüncü ve en büyük bölüm ise ilk kez primatlarda önem kazanmıştır. “Serebrum” ya da “neokorteks” denilen bu bölüm, beynin daha ilkel bölümlerinin refleksimsi tepkilerini ketleyerek kendi hükmünü uygulayabilir. Dil, soyut düşünce, hayal gücü ve bilinçten sorumludur. Yeni şeyler öğrenme konusunda neredeyse sınırsız bir beceriye sahip

olmanın yanında, kişiliğimizin makam koltuğudur aynı zamanda. Kısacası neokorteks, bizi insan yapan şeydir.

Aslında sürüngen beyin, limbik sistem ve neokorteksi saran bir katman daha vardır: kafatasını oluşturan sert yapıli kemik. *Seinfeld* dizisinde George Costanza'nın dediğı gibi, "Önemli şeyler kılıfa konur. Tarağın plastik kılıfta, paranın cüz danda, beynin de kafatasında olması bundan."¹⁶ Kafatası üç kattan oluş an ve beyin zarı (meninks) olarak bilinen koruyucu bir dokuyla güçlendirilmiştir. Zar tabakaları arasında "serebrospinal sıvı" denilen ve darbelere karşı dayanıklılık sağlayan özel bir sıvı bulunur. Burada gelişecek bir enfeksiyon, menenjit olarak bildiğ imiz ve ölümcül olabilen iltihaba neden olur.

Neokorteks, iki yarımküreye bölünmüştür. Aralarındaki bir sinir lifi demeti (korpus kallosum) iki yarımküreyi birbirine bağlar. Dolayısıyla aslında *iki* beynimiz vardır. Genel olarak sol taraf problem çözme, matematik ve yazma gibi işlevlerde daha iyi yken sağ taraf daha yaratıcıdır ve resim, müzik gibi sanatlarda daha iyidir. Tam olarak anlaşılmamış nedenlerden ötürü beynin sol tarafı vücudun sağını, sağ tarafı da vücudun solunu kontrol eder. Beynin sol tarafından felç geçirmiş kişilerin, vücutlarının sağ tarafında; beynin sağ tarafından felç geçirmiş kişilerin ise vücutlarının sol tarafında hareket kaybı yaşamalarının nedeni budur. Felcin nedeni genellikle beyindeki bir kan pıhtısıdır. Pıhtı bölgesel kan akışını engelleyerek yakın çevredeki beyin dokusunda hasar ya da doku ölümüne yol açar.

Beyni ilginç kılan büyük ölçekteki yapısı değil, mikro-yapısıdır: 100 milyar nöron ve etraflarındaki, onlara enerji verip sağlıklı olmalarını sağlayan 1000 milyar destek hücresi.¹⁷ Ancak nöron sayısı, beynin işleyişi hakkında tek başına pek bir bilgi vermez. Amerikalı nörobilimci Gerald Fischbach'ın ifadesiyle "Karaciğ er 100 milyon civarı, yani beynin binde biri kadar hücre içerir. Ama bin tane karaciğ er bir araya gelse daha zengin bir iç dünyaları olmaz."¹⁸

Beynin inanılmaz becerilerinin anahtarı, nöronların arasındaki *bağlantılardır*. World Wide Web'in yaratıcısı Tim Berners-Lee'nin ifadesiyle: "Bildiğ imiz her şey, bizi biz yapan her şey, nöronlarımızın

birbirine bağlanma şeklinden gelir.”¹⁹ Tek bir nöron, yaklaşık 10.000 başka nöronla etkileşime girmesini sağlayan 10.000 kadar dendrit içerebilir. Beyin ise toplamda 1000 trilyon bağlantı içerebilir.

Ve büyük soru: Akıllara durgunluk verecek ölçüde karmaşık olan bu nöral devreler sistemi, hatırlamamızı ve öğrenmemizi nasıl sağlıyor?

Bellek ve öğrenme

Bellekle ilgili olarak yaşadığımız ortak deneyim, bizim için önemli olan şeyleri hatırlayıp, önemini yitiren şeyleri unutmamızdır. Okumakta olduğumuz kitabı ya da alışveriş listesini karaladığımız kağıt parçasını nereye koyduğumuz gibi anlık önemdeki şeyleri unuttuğumuz da olur elbet. Ama genel olarak, bizim için dikkate değer, *zaten bildiklerimiz ile ilintili* olan şeyleri hatırlar ve öğreniriz. Fransızca bilen birinin yeni bir Fransızca sözcük duyduğunda onu aklında tutma olasılığı, Fransızca bilmeyene göre daha fazladır. Veya kaykay yapmayı biliyorsanız, sörf tahtası üzerinde dengede durmayı öğrenmeniz kolaylaşır.

Öğrenme ve hatırlamada *tekrarlama* da önemlidir. Konuşmayı öğrenen bebekler, aynı sözcükleri defalarca tekrarlar. Çocuklar çarpım tablosu kafalarına iyice kazınana kadar tekrarlayıp durur. Gitar çalmayı öğrenenler saatler boyu aynı akor dizisini çalar.

Tabii bunların hiçbiri beynin elektrik devrelerinin hatırlamayı ve yeni şeyler öğrenmeyi nasıl becerdiğini açıklamaz. Fakat iki sürecin beyinde kritik önemde olduğunu gösterirler: *tekrarlama* ve *önceden bildiğimiz şeylerle bağlantı kurma*.

Daha önce bir kasın belirli bir uyarandan uzaklaşacak şekilde nasıl kasılabildiğine değinmiştik; dört nöronlu bir ağın nöronları arasındaki bağlantılara böyle bir işlem kodlanabiliyordu. Beynimizdeki bilgiler de 100 milyar hücre arasında yine buna benzer bağlantılarla kodlanmıştır. Ama karmaşık bilgilerin bu bağlantılara nasıl kodlandığını kimse tam olarak bilmiyor. Bir bilgisayar da manyetik belleğin bir yerini gösterip “Burada 6 rakamı ya da P harfi yazılı” demek gayet mümkün olsa da, beyindeki birbirine bağlı bir nöron grubunu gösterip bunun, fırından yeni çıkmış

ekmek kokusunu veya tek ayak üzerinde nasıl durulacağı bilgisini depoladığını söylemek henüz mümkün değildir. Bununla birlikte eldeki tüm kanıtlar, beynimizdeki bilgilerin nöronlar arasındaki bağlantı örüntülerine depolandığına işaret ediyor.

Nöronlar arasındaki bağlantılar dendritlerle kurulur. Bu nedenle dendritlerin beynimizdeki bilgilerle eşanlamlı olduğunu söyleyebiliriz. Dolayısıyla bir şeyi hatırlamak ya da yeni bir şey öğrenmek için, nöronlar arasındaki dendrit bağlantılarında bir şeylerin gerçekleşiyor olması gerekir.

Birbirine bağlı iki nöron düşünün. Birincinin aksonu, ikincinin dendritine bağlı olsun. Ardından bir uyarı –belki dış dünyadan dulusal bir bilgi– alan birinci nöron ateşleme yapmaya başlıyor. Ve unutmayın: İki nöron arasındaki dendritik bağlantı, zaten bilmekte olduğumuz bir şeyi temsil ediyor.

Eğer bu uyarı tekrarlamalı ve bilmekte olduğumuz şeyle ilintiliyse –ki uyarı ilintiliyse, akson ve dendrit arasındaki sinaptik aralıktaki sinirsel ileticiler, gelen elektrik sinyalinin gücünü yükseltmeye hazır bekler– dendrit zaman içinde bu bağlantıyı güçlendirir. Bu birçok yoldan olabilir. Örneğin dendrit, bağlantı noktalarını çoğaltmak üzere yeni “diken”ler oluşturabilir.

Tek bir dendrit aracılığıyla bağlanan iki nöron, elbette ancak önemsiz denebilecek ölçüde küçük bir bilgi zerreciği içerecektir. Ancak, bildiğiniz her şey beyninizdeki dendritik bağlantıların toplamı içinde kodlanmış olduğuna göre, yeni bilgi, sadece nöron çiftleri arasında değil çok sayıdaki nöronlar arasında bulunan bağlantıları da güçlendirerek önceden bildiğiniz bir şeye kalıcı biçimde bağlanacak ve *bir anı daha beyninize yerleştirecektir*. “Öğrenme dediğimiz şey de budur,” der romancı Doris Lessing, “birdenbire bütün yaşamınız boyunca anlamış olduğunuz bir şeyi anlarsınız, ama yeni bir biçimde.”²⁰

Amerikalı bilim yazarı George Johnson ise şöyle der: “Ne zaman bir kitap okusanız ya da biriyle sohbet etseniz, bu deneyim beyninizde fiziksel bir değişiklik yaratır. Böyle her bir karşılaşma sonunda beyninizin değişmiş, hatta bazen kalıcı biçimde değişmiş olduğunu düşünmek biraz ürkütücüdür.”²¹

Bildiğiniz her şeyi kodlayan ağ, nöronlar arasındaki bağlantıların güçlendirildiği bu süreçle sürekli değişir. Fakat bu süreç,

bağlantıları güçlendirmekle kalmaz; hem yeni bağlantılar kurar hem de eskilerin bazılarını kaybeder. Beyindeki sinirsel ağı geniş bir çalılık gibi düşünün. Çalılık bazı yerlerde büyürken bazı yerlerde de budanmaktadır, çünkü herhangi bir şey paylaşmayan nöronlar arasındaki bağlantılar kaybolur. Unutma süreci böyle bir şeydir.

Beynin becerdiği ama bilinen evrendeki hiçbir şeyin beceremediği şey, kendini sürekli yeniden inşa etmek ve yeniden düzenlemektir. Marvin Minsky'ye göre "Beynin temel etkinliği, kendinde değişiklikler yapmaktır."²²

Yeni bir beceri kazanma süreci de bir anıyı yerleştirme sürecine benzer. Örneğin, bisiklete binmek için bazı kasları kullanmak gerekir. Bu kasları kontrol eden nöronlara bağlı dendritlerin güçlendirilmesi, kas kontrolünün daha kolay ve hızlı gerçekleşmesini sağlar. Sonuçta bellek nasıl nöron ağlarına kodlanmışsa, bisiklete binmek ya da kitap okumak gibi beceriler de aynı şekilde nöron ağlarına kodlanmıştır. Zaman içinde ağa kazınarak otomatik hale gelirler.

Nöronlar arasındaki bağlantıların güçlenip zayıflaması ya da ağı değişikliğe uğratacak yeni bağlantıların oluşturulmasına "nöroplastisite" denir. Benim bu açıklamayı oluşturabilmem için bile beynimde nöroplastisitenin gerçekleşmesi gerekti. Sizin de bu açıklamamı anlamanız için nöroplastisitenin beyninizde gerçekleşmesi gerekti. (Eğer açıklamayı anlamadıysanız, kalıcı yeni bağlantılar oluşmadı; yani beyninizi eski halinde, üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan bıraktım demektir!)

Beyin bir bilgisayardır, ama son derece ilginç bir bilgisayar. Silikon temelli bir bilgisayar, belirli bir görevi bir insanın ona yüklediği programa göre gerçekleştirebilirken, beynin bir dış programcısı yoktur; *kendi kendini programlayabilen* bir bilgisayardır. Bir bebek dünyaya geldiğinde beyinde bir nöron ağı ve bu nöronları birbirine bağlamanın akıllmaz sayıda farklı yolu vardır. Bebeğin beyninin programlanması, dünyayla ilgili deneyimleri aracılığıyla gerçekleşir. Bilgi, bebeğin gözleri, kulakları, burnu ve derisi kanalıyla içeriye her gün, her saat sel misali aktıkça yeni bağlantılar oluşturulur, var olan bazı bağlantılar güçlendirilir ve çok daha fazlası da budanır.

Nöronların komşu nöronlarla teker teker bağlantı kuruşunu gözlemek çok zor olsa da, beynin kendisini nasıl programladığını çok daha kaba bir düzeyde görmek pekâlâ mümkündür. “İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme” (fMRI) tekniği, kişi belirli bir işlevi yerine getirirken beynin çalışmakta olan bölümlerini görünür kılar. Sözelimi, meditasyon yapmayı öğrenmiş kişilerde, fMRI taramalarıyla beynin yeni bölümlerinin etkinleştiğini –yeni bir programlama gerçekleştiğini– görmek mümkün olmuştur. fMRI ile yapılan araştırmaların belki de en bilinen örneklerinden biri, Londra taksi şoförlerini ele alan çalışmadır. Londra’daki University College’dan Eleanor Maguire, bu yöntemle uzamsal farkındalıkla ilgili belirli bir beyin bölgesinin, taksi şoförlerinde diğer sürücülere oranla daha büyük olduğunu göstermiştir.

“Beyin bir kastır; ya kullanırsın ya kaybedersin” ifadesi biraz klişe bir laf gibi gelebilir. Beynin bir kas olmadığı ayrıntısını bir kenara koyarsak “kullan ya da kaybet” sloganı beyinle ilgili derin bir gerçeği barındırır. Nasıl ki ağırlık çalışmak daha fazla sayıda kas hücresiyle sonuçlanan fizyolojik süreçleri kamçıalarsa, bir şeyler hatırlamak, bir şeyler öğrenmek de beyni, daha fazla sayıda sinirsel bağlantı kurması için kamçılar. Ve nasıl ki egzersiz yapmamak kasların zayıflamasına yol açarsa, beynin egzersiz yapmaması da zayıflamasına ya da mevcut sinirsel bağlantılarından pek çoğunu kaybetmesine yol açar. Nöronlar hakkında hiçbir bilgisi olmayan Charles Darwin bile “kullan ya da kaybet” ifadesinin doğru olduğunu fark etmişti. “Dünyaya yeniden gelseydim, haftada en az bir kez şiir okuyup müzik dinlemeyi kural haline getirirdim” diye yazmıştı otobiyografisinde. “Belki o zaman beynimin şimdi körelmiş durumda olan bölümleri, kullanım yoluyla etkin kalmaya devam ederdi.”

Beynin büyük sırrı nöroplastisitedir. Nöroplastisite beynin anlaşılmasında öylesine merkezi bir fikirdir ki, DNA’nın genetikte ve doğal seçilimin evrimdeki konumu gibi, o olmadan hiçbir şey anlam ifade etmez. Nöroplastisite, yeni deneyimlerin beyni –o, programlanabilir madde külçesini– sürekli olarak nasıl yeniden düzenlediğini açıklar. Bebeğin “boş sayfa” gibi olan beyninin nasıl yetişkin beynine dönüştüğünü açıklar. Felçli birinin beynindeki hasarlı nöronların görevlerinin beynin komşu bölgelerince nasıl

devralındığını ve böylece hastanın kaybettiği yetilerini nasıl yeniden kazanabildiğini açıklar. Rehabilitasyon uzun ve zordur, çünkü yeniden programlama süreci, bir çocuğun bir takım becerileri ilk kez öğrendiği sürece benzer.

Ayrıca yaşadığınız sürece nöroplastisite de varolmayı sürdürür. Yüz yaşına geldiğinizde bile beyniniz yeni bağlantılar oluşturabilir. Yüz yaşındaki bir insan bilgisayar kullanmayı öğrenebilir; belki bir çocuk kadar hızlı değil ama yine de öğrenebilir.

Beyin beyni anlar mı?

DNA'nın iki kaşifinden biri olan James Watson, "Beyin, insanın anlama sınırlarını zorluyor" yorumunu yapmıştı.²³ Evrende keşfeddiğimiz en karmaşık nesne olan beyin, biyolojideki en son ve en büyük sınırdır. Onu anlama yolundaki ilk adımlarımızı atmış bulunsak da önümüzde uzun bir yol duruyor. Peki ama bu hedef ulaşılabilir bir hedef mi gerçekten? Amerikalı biyolog Emerson Pugh şöyle yazmıştır: "Beynimiz onu anlayabileceğimiz kadar basit olsaydı, o kadar basit olurduk ki onu anlayamazdık."²⁴

Pugh mantık bakımından haklı. İnsan beyni insan beynini hiçbir zaman tam olarak anlayamayacaktır. Kendinizi ayakkabı bağlarınızdan yukarı çekerek havada asılı kalabilmek gibi bir şeydir bu. Ancak beyin beyni anlamaya çalışmıyor; *birçok beyin* beyni anlamaya çalışıyor, yani uluslararası bilimsel camianın bir araya gelmiş beyinleri. Bir İtalyan atasözündeki gibi, "Tüm beyinler tek bir başta bulunmaz."

Bu bölümün başında sorduğumuz soruyu yanıtlamaya hâlâ yaklaşabilmiş değiliz: Evren, neden kendisini merak etme becerisini kazanacak şekilde inşa edilmiştir? Eğer beyni anlayabilirsek, bu soruyu belki yanıtlayabiliriz. Nörobilimin babası Santiago Ramon y Cajal'ın ifadesiyle, "Beynimiz bir gizem olarak kaldığı sürece, beyin yapısının bir yansıması olan evren de bir gizem olarak kalacaktır."

6:

YÜZDE BİR MİLYARLIK
AVANTAJ

İnsanın Evrimi

İnsan, derin kökenlerinin silinemez damgasını
beden yapısında hâlâ taşır.

CHARLES DARWIN, *İnsanın Türeyişi*

Bizler, oldukça ortalama bir yıldıza ait sıradan
bir gezegende yaşayan, gelişkin bir maymun
soyundan başka bir şey değiliz.

STEPHEN HAWKING, *Der Spiegel*, 17 Ekim 1988

Bir zamanlar, ormanda yaşayan ilkel bir insansı-maymun türü vardı. Bir nedenle iki ayrı nüfusa ayrıldılar. Belki bir dağ sırası böldü onları, belki ağaçsız bir koridor; gerçekte kimse işin aslını bilmiyor. Sonuçta iki nüfus maruz kaldıkları farklı çevresel baskılara bağlı olarak birbirinden ıraksayıp farklı iki türe dönüştü. Türlerden birinin kaderinde şempanze, diğerinde insan olmak yatıyordu.

İnsanlar ve yaşayan en yakın akrabalarının yolları tam olarak ne zaman ayrıldı bilinmese de, tahminler 6-7 milyon yıl öncesinde yoğunlaşıyor. Evrimsel açıdan bu o kadar yakın bir tarih ki, DNA'mızın yüzde 98-99 gibi şaşırtıcı bir yüzdesinin neden şempanzelerle aynı olduğunu da açıklıyor. Ancak tuhaftır ki şempanzeler konuşamaz, kentler inşa edemez, bilgisayar kullanamaz ve Ay'a gidemez. Her nasıl oluyorsa, yüzde 1-2'lik genetik fark, gerçek dünyada yüzde bir milyarlık avantaja dönüşmüştür.

DNA'daki böylesi küçük farkların uygulamada nasıl böylesi büyük farklara yol açabildiğini anlayabilmek için DNA'ya dair bir inceliği bilmek gerekir. Yaygın algıya göre DNA, göz renginden kan grubuna kadar her şeyi belirleyen proteinlerin adım adım nasıl inşa edileceğinin talimatıdır. Gelgelelim DNA bundan ibaret değildir. Bazı genler diğerlerini açıp kapama, dolayısıyla da gelişmekte olan embriyoda hangi sırayla okunduklarını ya da "ifade edildiklerini" denetleme yetisine sahiptir. Bu tür düzenleyici genler insan ve şempanze DNA'ları arasındaki yüzde 1-2'lik farkın yalnızca küçük bir kısmını oluştursa da, gelişim sürecine büyük etki ederler.¹

Düzenleyici genleri yemek tarifi, standart genleri de yemeğin malzemeleri olarak düşünün. Belirli malzemeler, farklı tariflere göre farklı biçimlerde kullanıldığında birbirinden çok farklı yemekler ortaya çıkabilir. Yumurtayı ele alalım. Nasıl pişirildiğine (ya da pişirilmediğine) bağlı olarak farklı sonuçlar elde edebilirsiniz: çiğ yumurta, rafadan yumurta, lop yumurta, yumurta turşusu,

çılıbır, sahanda yumurta, çırpılmış yumurta, omlet vs. Aynı şekilde genler de farklı moleküler tariflere göre bir araya geldiklerinde, birbirinden insan ve maymun kadar farklı hayvanlar ortaya çıkarabilir.

Düzenleyici genler, DNA'daki küçük farkların, insan ve şempanze gibi farklı iki türe yol açmasının mümkün olduğunu gösterir sadece; bunun *nasıl gerçekleştiğini* söylemezler. Bunu en iyi fosil kayıtlarından anlayabiliriz.

İki ayak üzerinde

Charles Darwin, insan evrimiyle ilgili olası bir öykü ortaya atmıştı. Buna göre atalarımız önce iki ayakları üzerinde durmuş, böylece elleri alet yapmak için serbest kalmıştı. Alet yapmak daha fazla zihin gücü gerektirdiğinden, bu, beyinlerinin büyümesine neden olmuştu. Kulağa mantıklı gelse de ufak bir sorun var: Bu öykü fosil kayıtlarıyla çelişiyor.

Afrika'daki hominin atalarımız², milyonlarca yıl önce, herhangi bir alet bırakmadan *ve* büyük beyinlere sahip olmadan iki ayakları üzerinde yürümekteydi. Örneğin boyu bir metrenin ancak üzerinde olan *Australopithecus anamensis*'in beyni bir insansı-maymun beyni kadardı. Bir kaval kemiği fosili (tibia), 4 milyon yıldan önce bu canlının çoğunlukla iki ayak üstünde yürüdüğü yönünde kanıt sunuyor. İki ayak üzerinde yürümediği zamanlarda ise muhtemelen ağaçların üzerinde geziniyordu. Yakın akrabası *Australopithecus afarensis* ise, yine bir bacak kemiği fosilinin sunduğu kanıtlara göre, bundan 3,5 milyar yıl öncesinde dik biçimde yürümekteydi.

Tüm Paleontolojinin geçmişi içindeki en çarpıcı keşiflerden biri, kuşkusuz Mary Leakey'nin 1976'da Tanzanya'nın Laetoli bölgesinde yaptığı keşiftir. Bundan 3,6 milyon yıl kadar önce üç *australopithecus*, yeni yağmış volkanik küller üzerinde iki ayakları üzerinde yürüyerek fosilleşmiş ayak izlerini gelecek kuşaklara armağan ettiler. "Bu insanların birbiri için ne ifade ettiğini, el ele tutuşup tutuşmadıklarını ve hatta birbirleriyle konuşup konuşmadıklarını, Pliyosen'in şafağında unutulup gitmiş hangi görevi

yerine getirmeye çalıştıklarını kim merak etmez ki?” diye sorar Richard Dawkins.³

İki ayak üzerinde yürümek elleri serbest bırakır; böylece yiyecek ya da yavru taşıyabilir, alet yapabilir ya da bir silahı savurabilirsiniz. Ayrıca yiyecek aramak için daha uzaklara gidebilmenizi ve avcılar daha uzaktan fark edebilmenizi sağlar. Darwin iki ayaklılığın çeşitli avantajlar sağladığı konusunda haklıydı. Ama asıl zorluk bu durumun nasıl ortaya çıktığını açıklamaktır. Evrim yalnızca *anında avantaj* sağlayan değişiklikleri kalıcı kılar.⁴ Oysa iki ayak üzerinde durmak için bacak kemiklerinin yapısında ciddi değişimler (daha uzun uyluk kemikleri, daha kısa ve geniş bir pelvis) ve bu kemikleri dik tutup koşma eylemine güç sağlayacak kuvvetli bir kalça kası (*gluteus maximus*) gerekir. Muhtemelen kuşaklar sürece bu değişimler gerçekleşmeden iki ayaklı olmanın bir sağkalım avantajı yokmuş gibi gözüküyor.

Dikkate değer bir olasılık, iki ayaklılığa giden ilk adımların yerde değil, ağaçlar üzerinde atıldığıdır. Şebek ve orangutanlar dalların en ucunda yer alan daha sulu yaprak ve meyvelere ulaşabilmek için dallar arasında sıklıkla iki ayak üzerinde dolaşır. Aynı numarayı atalarımız da öğrenmiş, tekrar yere indiklerinde ise bu yürüme alışkanlığını sürdürüp ağaçlar arasında zıplayarak gezinmiş olabilirler.

Çıplak insansı-maymun

Sonuçta bazı nedenlerden dolayı atalarımız kalıcı olarak yere indi ve iki ayak üstündeki bu tuhaf hareket biçimini kusursuzlaştırdılar. En olası etken iklimin gittikçe daha kurak olmasıdır. Yağmurların azalmasıyla atalarımızın Afrika’daki ormanlık habitatları küçüldü ve yerlerini açık, geniş çayırliklara bıraktı. Diğer canlılar bu yeni habitata uyum sağladığında, otlakçı hayvan sürülerinin av olarak cazibesi bir noktadan sonra dayanılmaz boyuta geldi. Önce temkin, sonra da artan bir cesaretle yapraklı gölgeliklerden başlarını uzatan atalarımız, adımlarını acımasız güneşe doğru attılar.

Günümüzden yaklaşık 1,8 ila 1,9 milyon yıl önce, insan bedeni olarak tanınabilecek bir beden biçimine dönüşümü gerçekleştiren tür *Homo erectus* olmuştur. Dik yürümek, güneşe maruz kalan vücut alanını asgariye indirdiğinden, açık çayırliklarda bir avantaj haline gelmiştir. Atalarımızın kürklerinden kurtuldukları dönem de bu olsa gerek. Üzerini deriden başka bir şeyin kaplamadığı *Homo erectus*, terleyerek etkili biçimde ısı kaybedebiliyordu.

Aslına bakarsanız, ilk bakışta gözüktüğümüz gibi çıplak insan-sı-maymunlar değiliz. Modern insan vücudunun santimetre-kare başına barındırdığı tüy veya kıl miktarı şempanzeninkinden farklı değildir. Ancak evrim, insan tüylerinin çoğunluğunu kolayca seçilemeyecek kadar ince ya da açık renkli hale getirmiştir.

Güçlü kalça kaslarından kuvvet alan uzun bacaklarıyla *Homo erectus*, iki ayak üstünde yürüme özelliğini kusursuzlaştırmıştı. Tıpkı Bruce Springsteen gibi o da “koşmak için yaratılmış”tı.* Çeşitli işaretler alıp havada daireler çizen akbabalar gibi uyanık olan atalarımız, belki uzun bacakları sayesinde leşlere rakiplerinden önce ulaşabiliyordu. Daha sonraları uzun mesafeler boyunca avların peşinden koşarak onları bitkin düşürerek avlama yeteneği kazanmış olabilirler. Bu strateji Güney Afrika’nın Kalahari Çölü’ndeki Buşmenlerce hâlen kullanılmaktadır. Antilop gibi bazı hayvanlar *Homo erectus*’tan çok daha hızlı koşabilirler de bunu fazla sürdüremiyor ve yılmaz maraton koşucusu atalarımıza sonunda yenik düşüyorlardı. Böylesi bir metanet, ilginçtir ki başka hiçbir avcıda, hatta kurtta bile yoktur.

Et, bitkilere oranla daha yoğun bir enerji kaynağıdır. Etin *Homo erectus*’un diyetine dahil olmasıyla, vücudun toplam enerjisinin yüzde 20’sini tekeline alan, enerjiye korkunç aç beyin de büyüme olanağına kavuşmuş oldu.⁴ Mütevazı bitki diyetinde olan şempanzelerin ise insanınki boyutunda bir beyne enerji sağlamaları mümkün değildi.

Homo erectus ister hayvanı kendisi öldürmüş, ister daha önce ölmüş bir hayvanı bulmuş olsun, ciddi bir sorun onu bekliyordu: Hiç olmazsa taşıyabileceği bir parçayı koparana kadar leşi diğer etçillerden nasıl koruyacaktı? Bu sorunun çözümü taş ya da sopa gibi bir alet, hatta belki de özenle yaptığı bir mızrak olabilir.

* Bruce Springsteen’in “Born to Run” şarkısına atfen (ç.n.)

Milyon yıllık can sıkıntısı

Taştan aletlere ilişkin ilk kanıtlar bundan 2,6 milyar yıl kadar öncesinden, *australopithecine*'lerin alacakaranlık döneminden geliyor. Bu noktada bir bulmacayla karşı karşıyayız. Genelgeçer bilgi, aletlerin atalarımıza eti parçalama olanağı sunarak uzun köpek dişlerini gereksiz kıldığı yönündedir. Bu tür dişlere güç veren iri bir çene kasına da artık gerek kalmadığına göre, kafatası ve beyin daha da büyüyebilirdi. Gelgelelim, fosil kanıtları bunu göstermiyor. Fosil kanıtları, aletlerin ortaya çıkışından çok daha önce –hatta iki ayak üzerinde yürüdükleri 4 milyon yıl öncesinde– atalarımızın dişlerinin küçülmüş olduğunu gösteriyor.

Bir ihtimale göre, aletler 2,6 milyon yıldan çok daha önce kullanılmaya başlanmıştır ama büyük oranda dallardan yapıldıkları için fosilleri kalmamıştır. Bir diğer ihtimal ise bu aletlerin kemiklerden yapılmış olmasıdır; belki o yüzden fosilleşmiş iskelet kemiklerinden ayırt edemiyoruzdur. Bu ihtimal, bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke'ın da kurgularına konu olmuştur. 2001: *Uzay Yolu Macerası* filminde bir “maymun-adam”, hayvan kemiklerini eline alır ve gözlerinde kötücül bir pırıltıyla, bunları *öldürmek* için kullanabileceğini fark eder.

İlk aletler, keskin bir kenar elde etmek amacıyla parçalanmış çakıl taşı benzeri taşlardı. Bunlar yaklaşık 2,6 milyon yıl önce ortaya çıkmış olsalar da, tuhaf biçimde bir milyon yıl kadar değişmeden kaldılar. Uçakların, bilgisayarların ya da evlerin tasarımının 40.000 kuşak boyunca değişmeden kaldığını hayal edin. Daha uzun ve daha ince kenarlı taş baltalar ise kabaca 1,7 milyon yıl önce ortaya çıktı. Fakat tarih yine tekerrür etti ve bu el baltaları, parçalanmış taşlardan da uzun süre –1,4 milyon yıl ya da neredeyse 60.000 kuşak– boyunca değişmeden kaldılar.

Bu, bir milyon yıllık can sıkıntısı, hele de *iki kez* yaşandığı düşünülürse, son 10.000 yılın hızlı teknolojik değişimleriyle kıyaslandığında çok çarpıcıdır. Bir ihtimal, parçalanmış çakıl ve el baltasının zaten gayet iyi iş görüyor olmasıdır. Öyle ya, işe yarıyorlarsa neden değiştirilsinler ki? Ama aletlerin değişmemesi atalarımızın da değişmediği anlamına gelmez. Belki de teknoloji konusundaki yaratıcılıklarını, günümüze kadar gelememiş ahşap ya da kemik

aletler yapmada kullandılar. Böyle olmadıysa bile ciddi değişimler geçirdikleri kesin. Örneğin sosyal ilişkilerinde. Avlanma, yiyecek arama ve avı büyük avcılardan koruma gibi işler, hiç kuşku yok ki, yüksek seviyede yardımlaşma gerektiriyordu. “Yalnız ve yalıtık durumda yaşayan insan, kendi içinde bir çelişkidir,” der Başpiskopos Desmond Tutu. “İnsan olmak için başka insanlara ihtiyacımız vardır.”⁶ Bir Latin atasözüne göre, tek bir arı nasıl arı sayılmazsa –*Una apus nulla apes*– tek bir insan da insan sayılmaz.

Kendi sosyal grupları içinde, dişiler ve erkekler –en azından insan evriminin daha geç aşamalarında– büyüklük bakımından kabaca aynıydı. Bu türden bir benzerlik primatlar arasında görece ender bir durum olsa da, tekeşli hayvanlar arasında yaygındır. Eğer atalarımız çoğunlukla tekeşli yaşadıysa, ki bu muhtemel gözüküyor, bunun nedeni dişiler için kavga eden erkeklerin avcılıkta takım çalışmasından uzak düşmesi olabilir. Günümüzden örnek verecek olursak, İngiliz futbol takım kaptanı John Terry’nin, takım arkadaşının eski kız arkadaşıyla yaşadığı ilişki kaptanlığına mal olmuştu. Çünkü futbol, takım çalışmasını gerektirir ama diğer oyuncular artık Terry’ye güvenmiyorlardı.

Afrika’dan Dışarı

Homo erectus, günümüzden yaklaşık 1,8 milyon yıl önce, anayurdu Afrika’dan ayrılıp önce Batı Asya, sonra da Doğu Asya ve Güney Avrupa’ya yayıldı. Şimdilik Çin, Java ve Gürcistan’da fosil kalıntılar ortaya çıkarıldı. Bu dönemde deniz sularının ciddi bir kısmı henüz buzul ve buz tabakaları halindeyken, Güneydoğu Asya günümüze kıyasla çok daha geniş bir yarımadaydı ve Java Adası gibi yerlere ulaşmak için kayıklara gerek duyulmuyordu. 2003’te Endonezya’nın Flores Adası’nda bulunan hobit benzeri küçük iskeletler büyük heyecan yarattı. *Homo floresiensis* adı verilen bu tür, bir ihtimalle *Homo erectus*’un, bir başka ihtimalle de Afrika’yı *Homo erectus*’tan bile önce terk eden bir insan atasının soyundandı.

Homo erectus göçü, Afrika dışına yayıldığı bilinen kolonileşme dalgalarından ilkiydi. İnsanlık tarihindeki birçok olay gibi bu göç

de iklim değişiminin etkisiyle gerçekleşmiş olabilir. Antarktika kıtası çoktan buzla kaplanmıştı bile. Ama Kuzey ve Güney Amerika birleştikten sonra, ılık tropikal suların Atlantik ve Pasifik Okyanusları arasında akması artık mümkün değildi.⁷ Bunun sonucunda Kuzey Kutbu'nda buzlar birikti ve gezegenin ısı yavaş yavaş düştü. Buzların havanın nemini emmesiyle gezegen giderek daha kuru hale geldi. Afrika'nın çayırlıkları böylece zaman zaman çölleşerek burada yaşayan bazı hayvanları Orta Doğu'ya göçe zorladı.

Yaklaşık 2 milyon yıl önce iki kılıç-dişli kedi türü, muhtemelen kaçmakta olan otlakçı hayvan sürülerinin peşine düşerek Afrika'nın dışına göç etti. Atalarımız yalnızca sürülerin değil, bu ürkütücü avcılarının da peşine düşmüş olabilir. Kılıç-dişli kediler kemikleri bırakırdı ve alet kullanan atalarımız, bu kemik ve kafataslarını açarak enerji bakımından zengin ilik ve beyne ulaşabilen belki tek canlılardı.

Bundan yaklaşık 600.000 yıl önce ikinci bir göç dalgası daha Afrika'dan dışarıya yayılmış olabilir. Almanya'nın Heidelberg kentinde 1907'de bulunan bir çene kemiği fosilinin ardından *Homo heidelbergensis* adı verilen tür, Neandertaller ve modern insanın atasıdır. Son olarak 60.000 yıl kadar önce, modern insan Afrika'dan taşarcasına çıkarak dünyanın her yerini –hatta uzayı da geçerek Ay'ı bile– işgal etmiştir.

Şunu da belirtmek gerekir ki, yaygın kanıya göre insan evriminin beşiği Afrika olsa da, evrim sürecinin bir bölümünün Afrika dışındaki ata türler arasında gerçekleşmiş olması ve bunların sonradan *Afrika'ya geri dönmüş* olması da pekâlâ mümkündür. Ancak şimdilik fosil kayıtları böylesine ince ayrıntıları açık edemeyecek kadar kaba kalmaktadır.

Buzul çağları

İnsansıların geçirdiği evrimsel değişiklikler, bildiğimiz kadarıyla yeryüzündeki yaşamın tarihi boyunca hiçbir hayvanda eşi benzeri görülmemiş boyuttadır. Bu değişimler, son 2 milyon yıl içinde buzun Dünya'nın kutup bölgelerinde yinelemeli olarak ileri-geri hareket ettiği dönemlerle çakışır. Buzul dönemlerine genelde, Dünya'nın dönme eksenini ve yörüngesindeki döngüsel değişimler yol açar.

Ancak onları keşfeden Sırp gökbilimci Milutin Milanković'in ardından Milanković Döngüleri olan anılan bu döngülerin etkisini son 2 milyon yıl içinde büyüten asıl etken, yerküredeki hava dolaşımını değiştiren azametli Himalaya Dağları'nın yükselişi olmuştur. Kuzey ve Güney Amerika'nın birleşmesi de, Pasifik ve Atlantik okyanusları arasında su alışverişini mümkün kılan tropik kanalı kapatarak, kuzey-güney doğrultusundaki akışa güç kazandırmıştır.

Tekrar tekrar buzlanan bir gezegende yaşayan hominin atalarımız, soğuk kuzey bölgelerinde, çevre koşullarının sürekli baskısı altında yok oldular ve yalnızca ekvatora yakın bölgelerde hayatta kalabildiler. Ancak insan atalarımız, buzun ilerlemesi karşısında daha yumuşak koşulların hüküm sürdüğü bölgelere göç eden ya da yok olan tüm diğer canlılardan farklı olarak, değişen ortama değişen davranışlarla tepki verme yetenekleriyle benzersizdiler. Tarihlerinin erken dönemlerinde çok hızlı değişen iklimle baş edememiş olabilirler. Ama daha sonraları kültürlerinin de gelişmesiyle, mağaraları soğuktan korunmak için sığınak olarak kullanmaya, hayvan derilerinden giyecek yapmaya ve ateşten yararlanmaya başladılar.

Ateş

Ateşin ilk ne zaman ve nasıl ehlileştirildiğini kimse bilmiyor. Güney Afrika'da bulunan tartışmalı kanıtlar 1 milyon yıl öncesini işaret etse de, sağlam kanıtlar birkaç yüz binyıldan daha eskilere gitmiyor. İnsanlar tarafından kullanılan ilk ateş muhtemelen doğal ateşti. Keskin soğukun hüküm sürdüğü bir gece, biri belki yıldırım etkisiyle yanıp kor haline gelmiş bir dal parçasını mağaranın ağzına taşımış olabilir. İnsanlar ateş *yakmayı* çok daha sonra öğrenmiştir. Bu, bugün bile çok az sayıda kişinin becerebildiği güç bir iştir. Ateş yakmanın sırrı, bu sırrı bilenlerin ölmesiyle defalarca yeniden keşfedilip unutulmuş olabilir.

Bu durum, aletlerin geliştirilmesi gibi teknolojik ilerlemelerin neden bu kadar yavaş gerçekleştiğine biraz ışık tutabilir. Atalarımız küçük, dağınık gruplar halinde yaşadığı sürece bilgi de sürekli

olarak bir kazanılıp bir kaybedilmiş olabilir. Yeni fikirlerin hayatta kalıp yayılmaları için tek şansları, hominin atalarımızın yeterince büyük sayılara ulaşmasıydı.

Ateş, insanlık tarihinin belki de en önemli gelişmelerinden biri olan pişirme işlemini beraberinde getirmişti. Pişirme yoluyla bitkilerin bir kısmının zehirden arındırılması, güvenle yenebilecek bitki aralığını önemli ölçüde genişletti. Ayrıca etteki parazitler de pişirmeyle yok oluyordu. Ama en önemlisi, eti pişirince içindeki proteinler parçalanıp daha kolay sindirilebiliyor, mide ve barsakların yükü hafifliyordu. Bir alet kol ya da bacağın etkinliğini nasıl arttırırsa, içinde yemek pişen bir tencere de midenin etkinliğini öyle arttırır. Yemek pişen tencere, bir *dış midedir* adeta. Bu sayede mide küçülebilir ve enerji harcaması azalır. Ve gittikçe büyüyen beynin bitmek bilmez enerji ihtiyacı için daha fazla enerji serbest kalmış olur.

Homo erectus'un dişleri ve çenesinin küçük olmasından yola çıkarsak, bundan 1,5 milyon yıl önce bile yiyeceklerini pişiriyor olması mümkün. Ama pişirmeyle ilgili ilk sağlam kanıtlar yaklaşık 200.000 yıl öncesinden, Neandertaller ve erken modern insanlardan gelir.

Neandertaller

Buzul çağlarında bizim doğrudan atalarımız, pek çok hominin kuzeniyle karşı karşıya gelmiştir. Bu yakın türlerin hiçbirinin günümüze gelememesi çarpıcıdır. En ilginç vakalardan biri, Dünya'ya daha erken bir dönemde yayılan Neandertallerdir. Modern insandan daha kısa ve geniş olan Neandertaller, bu özellikleriyle sanki soğukta yaşamak için yaratılmışlardı. Aletler yapıyor, ölülerini gömüyor ve daha da gelişip serpilecek gibi görünüyorlardı. En az 500.000 yıllık geçmişi olduğu düşünülen dil yetisine de muhtemelen sahiptiler. Ancak ses çıkarma organlarının bulunduğu bölgeler, çıkardıkları seslerin insanlara göre daha dar yelpazeden ve daha tiz olabileceğini gösteriyor. Neandertaller sonunda azalarak yok oldu. Bilinen son yerleşim yerleri İber Yarımadası'nın güney kıyılarındaki mağaralardır.

Uzun bir süre boyunca, Neandertallerin modern insanlar tarafından yok edildiği görüşü hakim olmuştur. Ancak gerçek bundan daha inceliklidir. Örneğin Afrika dışında yaşayan modern insanların DNA'sının yüzde 2,5 oranında Neandertal kökenli olduğu düşünülüyor. Bu da, iki türün birbiriyle çiftleşip ürediğini gösterir. Atalarımız rekabette kuzenlerine göre belki yüzde 1 veya 2'lik küçük bir avantaja sahipti. Bu küçük avantaj çok sayıda kuşak boyunca etkisini gösterdiğinde modern insanın giderek daha fazla alanı ve avı tekeline almasına imkân sağlamış olabilir.

İnsanların Neandertallere göre sahip olduğu avantajlardan biri *dikişti*.

40.000 yıl kadar öncesinden kalma insan yapımı iğneler bulunmuşsa da, Neandertallere ait herhangi bir iğne bulunabilmiş değildir. Dikiş becerisi, atalarımıza daha iyi giyecekler yapma olanağı tanımıştı. Daha iyi bebek giysileri, sert soğuklarda insan bebeklerine Neandertal bebeklerine oranla daha yüksek sağkalım şansı kazandırmış olabilir. Bu bile insanların Neandertaller pahasına gelişmiş olmalarına yol açmış olabilir.

Bundan yaklaşık 50.000 yıl öncesine gelindiğinde, *Homo sapiens* artık alemin kralıydı. Daha önceleri muhtemelen insanın ata türlerinden hiçbiri 10.000 ila 100.000'lik (haydi, taş çatlasın bir milyonluk) nüfusa erişebilmiş değildi. Ama *Homo sapiens* bugün yeryüzündeki tüm yaşam alanlarını kaplamış, diğer tüm türlerin varlığını tehdit edecek biçimde 7 milyarlık nüfusa ulaşmıştır.

İnsanoğlunun geleceği

Bazı biyologlar evrimin insanlar için artık sonlanmış olduğunu iddia ediyor. Ne de olsa artık çevremize uyum sağlamak zorunda değiliz, çünkü onu kendimize uydurduk. Ancak bu düşünce, refah içindeki endüstri toplumlarını saymazsak çoğu insanın, eski insansı atalarının yaşadığını aratmayacak güçlükte bir sağkalım savaşıyla karşı karşıya olduğunu gözardı eder. Üstelik endüstri toplumlarında bile giderek karmaşıklaşan ve bağlantıları artan bir dünyanın taleplerini karşılamaya çalışmak, beynin devrelerinde derin etkiler bırakıyor olsa gerek.

Bilimkurgu yazarları, uzak geleceğin insanlarını sıklıkla büyük beyinler ve sopa benzeri körelmiş bacaklarla betimlemiştir. Ancak bu betimleme, fosil tarihinin anlattığı dersi görmezden gelmek demektir.

Avrupa'daki atalarımız olan Kro-Magnonların bedenleri ve beyinleri, bizimkilerden yüzde 5 ila 10 oranında daha büyüktü. Bunun nedeni daha büyük bir vücudun kendini daha iyi koruyup hayatta kalma şansını arttırması olabilir. Ve Kro-Magnon insanı her günün her saniyesini sağkalım mücadelesiyle geçiriyordu. Oysa bugün pek çoğumuz avlanma işini başkalarının yaptığı, yiyeceği başkalarının sağladığı daha rahat bir dünyada yaşıyor. İşin ilginç, evcil hayvanların beyinleri de vahşi akrabalarına göre hep daha küçük olur. Paleoantropolog Louis Leakey bu durumu "İnsan, kültür aracılığıyla kendini evcilleştirmiştir" sözüyle ifade eder.⁹

Kro-Magnon'lardan sonra insanların hızla küçülmelerinin nedeni ne olursa olsun, bu gidişat açıktır. Beklentilerin aksine, geleceğin insanları muhtemelen bizimkilerden büyük değil, ciddi oranda küçük beyinlere sahip olacaktır. Tabii bir geleceğimizin gerçekten olup olmayacağı da, çoğunu kendi ellerimizle yarattığımız küresel ölçekteki sorunları çözüp çözemeyeceğimize bağlıdır. İbretlik geçmişimizle karşılaştığımız nokta da burasıdır. Amerikalı biyolog Edward Wilson'ın da dediği gibi, "Bir Yıldız Savaşları uygarlığı yaratmış olsak da duygularımız Taş Devri'nden kalma."¹⁰

İKİNCİ KISIM

Maddeyi işe koşmak

7:

GENETİK MÜHENDİSLİĞİNİN UZUN TARİHİ

Uygarlık

Karşısındakine taş yerine hakaret savuran ilk
insan, uygarlığın kurucusudur.

SIGMUND FREUD

Kültür, kabaca, bizim yaptığımız ve
maymunların yapmadığı her şeydir.

FITZROY SOMERSET, 4. RAGLAN BARONU

İnsanlığın öyküsü buzul dönemleriyle son bulmadı elbet. Buz, kutuplardan aşağılara doğru yayıldı, sonra gerisingeri döndü – defalarca, tıpkı bir gelip bir çekilen derin beyaz bir gelgit gibi. Fakat sonra, buzlar çekilip deniz düzeyi kimbilir kaçınıcı kez yükseldikten sonra dünyada bir değişim yaşandı. Bu öylesine köklü bir değişimdi ki, harekete geçirdiği olaylar dizisi buzların geri dönüşünü bile önleyebilirdi. Üstelik bir süreliğine de değil. Sonsuza kadar.

Bu değişim çiftçilikti.

Binlerce yıl boyunca insanların tek seçeneği, doğanın masalarına serdiği ürünleri yemek olmuştu. Avcı olarak büyük av hayvanı sürülerini izlemiş, toplayıcı olarak da ağaç ve çalılklardan meyve ve böğürtlen toplamışlardı. Ancak MÖ 8500 dolaylarında Asya'nın güneydoğu köşesinde, güneşin altında tümüyle yeni bir olasılık belirdi – taze ve yenilikçi bir yaşam yolu.

Bereketli Hilal adı verilen bölge, günümüz Irak, Suriye ve Türkiye'si'nin topraklarını içeren, Dicle ve Fırat nehirlerini merkez alan bir biyolojik bolluk şerididir. Burada yetişen bitkiler arasında yenebilir tohumlu yabancı otlar da vardı. İnsanların böğürtlen ve diğer meyvelerden beslendikleri süre boyunca bu tahıllardan da beslendiklerinden kuşku yoktur. Hatta bu tahıllar genelde büyük alanlara yayıldıklarından, insanlar diyetlerinin önemli bir bölümünü bu bitkilerden karşılamış olabilir.

Dünya, MÖ 12.000 civarında hâlâ şiddetli soğğun pençesindeydi. Fakat buzul dönemi gücünü kaybetmeye başlamıştı ve iklim son binyıl içinde hafiften ılımaya başlamıştı. İngiliz arkeolog Chris Scarre'a göre, insanlar daha önce hiç yapmadıkları bir şey yapmaya başladı. Bu konunun ayrıntılarını bilmiyoruz. Belki tahılları köklerinden söküp büyük nehirlerden birine yakın, nemli, zengin topraklara yeniden diktiler; belki de yalnızca tahıllarla kaplı bir tarla elde etmek için rakip bitkileri ayıklayıp attılar.

Özel muamele için seçilen tahılların, yabani olanlardan pek bir farkı yoktu. Ancak insanların tercihlerindeki ince bir ayrıntı her şeyi değiştirmeye başladı. En büyük tohumlu ve kabukları en kolay ayrılan yabani tahılları ektiler. Hasattan sonra ise yine yalnızca en büyük tohumları taşıyan ve kabukları en kolay açılan tahılları yeniden ektiler. Böylece tohumlar mevsimden mevsime büyüdü ve toplanmaları kolaylaştı.

Bereketli Hilal'in çiftçileri, kasıtsızca ve ekinlerin DNA'sına yaptıklarından tümüyle bihaber, dünyanın ilk genetik mühendisleri oldular; insan eliyle, yani yapay seçimle evrimi ilk onlar uyguladılar. Ancak doğal seçim de denklemden tümüyle çıkmış değildi. İyi gelişim gösteren bitkiler, insan eliyle yaratılmış yapay ortamlara en iyi dayananlardı. Kızgın güneşin altındaki gölgesiz tarlalarda hızla serpiyen, sıkışık sıralar halinde ekilseler de güçlü biçimde büyüeyebilen bitkilerdi bunlar. Fakat işlemekte olan, ister doğal seçim ister insan seçimi olsun, *insanın belirlediği bir gündeme göre işlemekteydi*. İnsanoğlu tarihte ilk kez başka türlerin evrimini yönlendiriyordu.

MÖ 8500'e gelindiğinde tahıllar yabani akrabalarından öyle iraksamıştı ki, farklı birer tür haline gelmişlerdi. Buğday artık evcilleştirilmişti. Bir tek o da değil; bezelye ve zeytin de evcilleştirilenler arasındaydı. Üstelik bunlar, izleyen binyıllar içinde listeye katılacak birçok evcil ekin türünün ilk örnekleriydi yalnızca. Modern tarım başlamıştı ve dünyadaki hiçbir şey, *ama hiçbir şey*, bir daha eskisi gibi olmayacaktı.

Bu noktada akla şu soru geliyor: Çiftçilik neden bir önceki buzullar-arası dönemde (130.000 ila 115.000 yıl öncesinde) değil de, şimdikiinde başladı? Buna verilecek yanıtlardan biri, o dönem insanların modern insana özgü zihinsel kapasiteye ve hayal gücüne henüz sahip olmadığıdır. MÖ 50.000 civarında sanatın dünya genelinde filizlenmesi, insan zihninin devrelerinde derin bir değişimin gerçekleştiğinin bir kanıtı kabul edilir.

Topluluklar, şefler ve çivi yazısı

Toprakta yiyecek yetiştirmek köklü değişimleri de beraberinde getirdi. İnsanlar tarihte ilk kez bütün yaşamlarını tek bir yerde

geçirme olanağına sahip olmuştu. Kamp ateşi başında geçirilen bir gecelik molalar vermek yerine, artık kalıcı yerleşimler içinde istedikleri kadar yaşayabilirlerdi. Bu, daha önce hiç yerleşim yeri yoktu anlamına gelmez. Balıkla dolu bir göl gibi bereketli bir kaynağa yakın olduklarında insanların oraya yerleşmiş olması elbette mümkündür. Ama çiftçilik, daha önceleri ancak bir istisna olabilecek bir yaşam biçiminin yaygınlaşmasını mümkün kılmıştı.

Ancak asıl önemli değişiklik yerleşim yerlerinin ortaya çıkışı değil, yiyecek fazlasının ortaya çıkışıydı. Çiftçilik, avcı-toplayıcılıkla kıyaslandığında kilometrekare başına ortalama 10 ila 100 kat daha fazla sayıda insanı besleyebilir. Yiyecek fazlası, daha çok insanın beslenebilmesi anlamına geliyordu ki bu da nüfusun büyüebilmesi demektir. İşin ironik yanıysa şu; nüfusun büyümesi, yiyeceğin bir süre sonra kaçınılmaz olarak daha az miktarlarda dağıtılmasını zorunlu kıldı. Bu yüzden uzun vadede insanlar avcı-toplayıcılardan daha kötü beslenir hale gelmiş olabilir. Ancak bu aşamaya gelindiğinde kilometrekare başına düşen insan sayısı, artık eski yaşam biçimiyle desteklenemeyecek kadar büyük miktarlara ulaşmıştı. Geri dönülmez nokta çoktan geçilmişti.

Yiyecek fazlası, yalnızca daha fazla sayıda insanın beslenebilmesi değil, herkesin yiyecek bulmakla uğraşmak zorunda olması anlamına da geliyordu. Artık toplum, tuğla, çanak çömlek ya da süs eşyası yapmak gibi yiyecek elde etmekle doğrudan ilgili olmayan işlerle ilgilenen zanaatkârları da besleyebiliyordu.¹ Tabii zanaatkârlar mallarına talep olmasa varlıklarını sürdüremezdi. Ve böylece yeni gelişmeler birbirinden beslenir hale geldi. Yerleşik yaşam, insanların evlerini eşyalarla doldurmalarına izin veriyordu. Oysa sürekli hareket halindeki avcı-toplayıcılar en fazla, taşıyabilecekleri kadar eşyaya sahip olabilirdi – belki bir bebek, belki bir avuç dolusu mızrak.

Yiyecek fazlası, zanaatkârların yanında, görevi, yerleşimi ve tarlaları savunmak olan askerleri de destekleyebiliyordu. Ve sadece askerleri değil, şefi de. Avcı-toplayıcı toplumlar eşitlikçi olma eğilimindedir.² Ancak, çok sayıda insanı barındıran yerleşimler daha karmaşıktır. Nasıl ki bir hücredeki bin bir türlü işin merkezi bir çekirdek tarafından yönetilmesi gerekiyorsa, bir köydeki bin bir türlü işin de bir tür merkezi idare tarafından yönetilmesi gerekir.

İnsanların, emrinde askerler olan bir seçkin sınıf tarafından denetlenmesi, beraberinde hem çeşitli fırsatlar hem de tehlikeler getirecekti. Toprak ve kaynaklar konusunda kaçınılmaz olarak ihtilaflar yaşanacak ama buna karşılık kentler ve nihayetinde de yüz binlerce, hatta milyonlarca insan barındıran imparatorluklar doğacaktı.

Böylesine büyük insan toplulukları, olağandışı ve daha önce görülmemiş birer oluşumdur. Büyük insansı-maymun kuzenlerimiz (şempanze, goril ve orangutanlar) küçük gruplar halinde yaşar ve yabancılara şiddetli tepki gösterirler. İnsanlar da başlangıçta buna benzer bir yabancı düşmanlığı göstermiş olabilir ama toplumlar büyüdükçe bu içgüdülerine gem vurmaya zorunda kaldılar. Benjamin Franklin, büyük topluluklar içinde yaşamının püf noktasını şöyle özetler: “Herkes karşı uygar, çoğunluğa karşı nazik ve az sayıda insanla içli dışlı ol.” Sigmund Freud bu tavsiyenin taşıdığı önemi iyi kavrayanlardandı: “Uygarlığın temellenmesinde içgüdüleri terk etmenin ne derece büyük payı olduğu inkâr edilemez.”³

Muhtemelen doğal seçim de payına düşeni yapıyordu. İnsanların kontrolden çıkmaksızın birbirlerine yakın konumda yaşayabildikleri yerleşimlerde ölüm oranı daha az oluyor, dolayısıyla bu toplumlar diğerlerinden daha hızlı büyüyorlardı. Bu sayısal egemenlik, insanların zamanla birbirlerine karşı daha da hoşgörülü ve uysal hale gelmesi anlamına geliyordu. Kanada doğumlu psikolog Steven Pinker’ın savunduğu görüş de budur. Pinker, yirminci yüzyılın dünya savaşlarında milyonlarca kişi ölmüş olsa da, insan ırkının şiddet ve savaş eğiliminin yavaş yavaş azalmakta olduğunu savunur.⁴ Yazar Tennessee Williams ise “Uygarlık, nazik olmayı öğrenmenin aheste sürecinden başka bir şey değildir,” diye yazmıştır.

İnsanlar birbirleriyle geçinme işini öyle bir noktaya vardırmıştır ki, artık çok daha fazla kişiyle etkileşimde bulunabilecekleri şehirlerde toplaşmayı yeğliyorlar. Kendini, benzersiz bir zaman diliminde, on dokuzuncu yüzyıl Londrası’nın milyonları bulan bir megakent olma yolunda dönüşüm geçirdiği bir dönemde bulan Charles Dickens, bu kadar çok sayıda insanın bir arada olmasının doğurduğu fırsatları ilk fark edenlerden biriydi. Yazdığı romanlarda tesadüfi karşılaşmaların böylesine büyük rol oynamasını da bu şekilde açıklayabiliriz.

Toplumların büyümesi ve barındırdıkları karmaşıklığın artması, insanlık tarihindeki müthiş bir gelişmeyi daha tetikledi: yazının icadı. Bu, bir gecede olmadı. Sümerler tarafından MÖ 3400 dolaylarında kil tabletler üzerine yapılan kama biçimli işaretler, başlangıçta yalnızca sıkıcı ticari etkinlikleri kayda geçiriyordu. Ama sonraları temel çivi yazısının yerini, düşünce ve duygular gibi faydacı olmayan olguları da ifade edebilen yazılı diller aldı. Tencerenin bir dış mide gibi işlev görmesine benzer şekilde, yazılı sözcükler de dış bellek gibi işlev görüyordu. İnsanlar arasında sözlü olarak iletilen bilgi miktarı oldukça sınırlı olsa da yazılı olarak iletebilecek bilginin sınırı yoktu. Yazı, insan türüne ortak bir beyin sağladı. Türün tam bilinçlenmesi için okuryazarlığın geniş kitlelere yayılması gerekecek, bu da binyıllar sürecekti. Ama insanoğlunun alın yazısı yazılmıştı artık.

Hayvanların büyüü

Şu ana kadar hayvanlardan hiç söz etmedik. Ama kuşku yok ki ilk genetik mühendislerinin müdahale ettiği canlılar sadece bitkiler değildi. Bu insanlar büyük memelileri yakalayıp eğitiyor, sonra da güçlerinden ya da etlerinden yararlanmak üzere üretiyorlardı. Bu süreçte hayvanlar da yabani akrabalarından ayrılarak evcilleşti. Yalnızca besin değil, sert toprağı parçalamada kullanılan sabanları ya da içi ürünlerle dolu tekerlekli arabaları çekmek için gerekli gücü de sağlıyorlardı. İlk evcilleştirilen hayvanlar, MÖ 8000’li yıllarda ve yine Bereketli Hilal bölgesinde koyun ve keçi oldu. Çin’de ise MÖ 7500’e gelindiğinde pirinç ve darının yanı sıra domuz ve ipek böceğı de evcilleştirilmişti.

Hayvanların insanlar için taşıdığı önemi ne kadar anlatsak azdır. Dünyada insanın olduğu her yerde onlarla yaşayan hayvanlar da vardır; üstelik sadece ayaklı birer yiyecek deposu olarak değil, ev hayvanı olarak da. Amerikalı antropolog Pat Shipman’a göre insanın olağanüstü başarısını anlamak için hayvanlarla olan ilişkisini anlamak gerekir.⁵ Shipman, insanların sanatla ilk haşır neşir oldukları MÖ 50.000’li yıllardan itibaren kendilerini ya da çevrelerini nadiren tasvir ettiklerine ve resmini yaptıkları neredeyse tek

şeyin av hayvanları olduğuna dikkat çekiyor. Tüm anatomik ayrıntıları kusursuz olan müthiş canlı tasvirler, bu insanların, hayvan davranışları konusunda inanılmaz ölçüde meraklı birer gözlemci olduklarını gösterir. Yine Shipman’a göre, insanların avlarına kurnazlıkta üstün gelebilmeleri de, onları bu derece yoğun biçimde gözlemlemiş olmalarından kaynaklanır. Afrika savanlarında büyük avcılarının karşısında hem yavaş hem de donanımsız kalmış sıradan ve çelimsiz bu insansı-maymun türünün dünya üzerinde böylesi bir egemenlik kurmuş olmasının sırrı da budur.

Tartışmaya açık olmakla birlikte Shipman, lisanın bile hayvanlar hakkında bilgi alışverişinde bulunma ihtiyacından kaynaklanmış olabileceğini düşünmektedir. Ona göre bu durum, insanların nadi-ren yenen, hatta aynı besin kaynakları için kendileriyle rekabete bile giren köpek gibi bir hayvanı neden evcilleştirdiklerini de açıklar. Köpeklerin evcilleştirilmesi, günümüzden en az 17.000 yıl, hatta bir ihtimal 32.000 yıl öncesi gibi çok eski zamanlara dayanır.⁶ Shipman’a göre evlerimizde evcil hayvan beslememiz de derin ve önemli bir gerçeği ortaya koyar: Hayvanlar olmadan, insan insan değildir.

Bitki ve hayvanların evcilleştirilmesi birlikte, “gıda üretiminin icadı” olarak sınıflandırılabilir. Buzul dönemi sonrası insanlığı dönüştürme uğratan şey bu devrim olmuştur. Daha sonra olan her şey bu devrimin sonucudur: önce köy, sonra kentlerde yerleşik düzene geçiş, uzmanlık gerektiren işlerin belirmesi, yönetici seçkinlerin ortaya çıkışı, savaşın icadı, imparatorlukların kurulması. MÖ 8500’de durdurulması imkânsız bir top yuvarlanmaya başlamış ve ivme kazana kazana günümüze kadar gelmiştir.

Modern kilometre taşları

Yirmi birinci yüzyıla uzanan yol üzerinde o kadar çok kilometre taşı vardır ki, hangisinden söz edip hangisini dışarıda bırakacağımıza karar vermek zordur. Ancak, en önemli gelişmelerden bir kısmının on beşinci yüzyıl sonları ve devamında gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Örneğin okyanusları geçerek Avrupa’yı Amerika, Afrika, Asya ve son olarak da Avustralya’ya bağlayan gemilerin ortaya çıkışı çok önemlidir. Bu gelişme gerçek anlamıyla küresel

bir uygarlığın başlangıcını simgeler. Daha sonraları, on sekizinci yüzyılın bitimine doğru seri üretim yapabilen mekanize fabrikalar sayesinde dünya ticareti büyük bir itki kazandı. Bu sanayi devrimine güç sağlayan önce su, ardından da kömür oldu. Kömür, insan kas gücünden yaklaşık 150 kat daha güçlü bir enerji kaynağıydı. Günümüzde nüfusun küçük bir yüzdesinin herkese gıda sağlayabiliyor olmasının altında bu enerji kaynaklarının gücü yatar.

Ancak sanayi devriminden hemen önce yaşanmış bir gelişme vardır ki, onun kadar önemlidir. On yedinci yüzyılda bilimin yükselişi, fikirler ya da teknolojiler arası çarpışmaların yeni fikir ve yeni teknolojileri nasıl filizlendirebildiğini gösterir. Zanaatkârlar binlerce yıldır vardı. Ellerini kirletmekten kaçınmayarak daha sert kılıçlar ya da daha sağlam çömlekler yapmanın yollarını keşfetmişlerdi. Ancak deneme-yanılma yöntemiyle ilerlemiş ve yaptıkları işi daha iyi yapmanın yolunu bulmalarını sağlayacak *kuramlar* üretmemişlerdi. Doğa felsefecileri ise bir başka grubu oluşturuyordu. İki bin beş yüzyıl önce Yunanlarla başlamak üzere Dünya'yla ilgili iddialı kuramlar öne süren filozoflar, kuramlarını sınamak için ellerini kirletmeye tenezzül etmemişti. On yedinci yüzyılda ise o zamana dek birbirinden ayrı akıp durmuş bu iki uzmanlık alanı birlikte akmaya başlayarak durdurulması imkânsız bir sele dönüştü: bilime.

Zanaat ve felsefe geleneklerinin buluşmasının en güzel örneklerinden birini Isaac Newton vermiştir. Newton Dünya'ya bakmış, neden bu şekilde hareket ettiğine dair teoriler üretmiş, ardından ellerini kirletmekten kaçınmadan teorilerini gerçeklikle sınamıştır. Dünya'yı sistematik biçimde gözlemleyerek yeni bilgiler kazanılabileceği düşüncesi olağanüstü sonuçlar doğurmuştur. Uçaklar, antibiyotikler, arabalar, bilgisayarlar, nötron yıldızları ve nükleer reaktörler bunlardan sadece birkaçıdır.

Neden orada değil de burada?

Bilim, sanayi devrimi, okyanus-aşırı gemiler ve daha birçok şey Avrupa'dan çıkmıştır. Bu teknolojiler Amerika ve Avustralya'da koloniler kuranların Avrupalılar olmasına yol açmış, hepsinin sonucunda modern küresel toplum Avrupa'da doğmuştur. Bu durum

akla bir soru getiriyor. Coğrafyacı Jared Diamond'ın *Tüfek, Mikrop ve Çelik* kitabındaki ifadesiyle: “İnsanlığın son 13.000 yıldaki gelişimi farklı kıtalarda neden bu kadar farklı hızlarda ilerlemiştir?”⁷

Diamond'a göre bunun nedeni insanlar arasındaki doğuştan gelen farklılıklar değil, koşullardaki farklılıklardır (yani örneğin Amerika ve Avustralya'daki insanlar, Avrupa'daki insanlardan daha aptal veya tembel değildi). Batı'daki pek çok icadın kaynağı olan Asya'nın ve Avrupa'nın birlikte toplam nüfusu Amerika ya da Avustralya'ninkinden çok daha fazla ve çeşitliydi. Birbirleriyle etkileşime giren daha fazla toplumun yanı sıra, her toplumun içinde birbirleriyle etkileşime giren daha fazla birey vardı. Böylece fikir alışverişi arttı ve yeni icatlar ivme kazandı.

Tabii bu sefer de akla şu soru geliyor: Avrupa ve Asya'nın nüfusu, neden Amerika ve Avustralya'ninkinden daha büyüktü? Diamond'a göre bunun nedeni, yiyecek üretiminde en baştan avantajlı olmalarıydı. Çünkü Bereketli Hilal bölgesi çölden zengin topraklara, zengin topraklardan dağ tepelerine kadar çok geniş bir habitat çeşitliliğine sahipti; bu yüzden bölge bitki çeşitliliği açısından süper bir bolluk bölgesiydi. Bu türlerden en az on iki tanesi evcilleştirme için uygun aday konumundayken, örneğin Amerika'da bu sayı ikiydi. Evcilleştirilmiş türler göç eden çiftçiler tarafından Güneybatı Asya'dan Avrupa'ya taşındı. Sonuç olarak, temeline indiğimizde Avrupa kültürünün baskınlığı Avrupalıların sahip olduğu doğuştan gelen üstünlüklerden değil, tesadüfi nedenlerden kaynaklanır.

Avrupa ve Asyalılar, hayvanların evcilleştirilmesi konusunda da Amerika ve Avustralyalılara göre ciddi avantajlara sahipti. Bunun dayandığı neden, modern tarımın Bereketli Hilal'de doğumundan bile önceki bir zamana karşılık gelir ve insanların farklı kıtalara varış tarihleriyle ilişkilidir. İnsanlar Avrupa ve Asya'ya insanlık tarihinin çok eski zamanlarında yerleşmiştir. Bu yüzden yanlarındaki taş aletler basitti ve kendileri de çok etkili avcılar değildi. Hayvanlar insanlardan korkmayı öğrenecek kadar onlarla aynı çevreyi paylaşmışlardı. Bu sayede günün birinde evcilleştirilmeye aday olacak büyük memeliler soylarını devam ettirmeyi başarmıştı.

* Çev. Ülker Ince, TÜBİTAK Yayınları, Orj: Guns, Germs and Steel; I. Basım 1997. (f.n.)

İnsanların Amerika ve Avustralya'ya varmaları ise çok daha sonra oldu: Avustralya'ya MÖ 50.000, Amerika'ya MÖ 14.000 dolaylarında. Dolayısıyla ilk koloniciler ilkel değildi; gelişmiş ve ölümcül avcılardı. Ve beklenebileceği üzere, insanların Avustralya ve Amerika'ya ulaşmaları, bu kıtalardaki dev memelilerin neredeyse tamamının yok olmasıyla aynı döneme denk gelir. Bunların tek istisnaları Kuzey Amerika'daki bizonlar ve And Dağları'ndaki lama ve alpakalardır. Bu yüzden binlerce yıl sonra Bereketli Hilal'de hayvanlar ilk kez evcilleştirildikleri sırada Avustralya ve Amerika'da evcilleştirmeye uygun neredeyse hiç aday kalmamıştı.

Bitki ve hayvanları evcilleştirmedeki büyük dezavantajlarından dolayı Amerika ve Avustralyalı yerlilerin nüfusları yeni icatlar için gerekli olan etkileşim seviyesine izin verecek eşiğe ulaşamadı. Bu da Aztek ve İnkalaların okyanusu aşıp Avrupa'ya ulaşmasındansa İspanyolların Güney Amerika'ya ulaşmasına giden yolu hazırladı. Dahası, Güney Amerika'daki imparatorlukların atları, çelik zırhları ya da ateşli silahları yoktu. Bu yüzden at üstündeki birkaç düzine İspanyol, asker sayısı binleri bulan yerli orduları bozguna uğratmak için yetti de arttı bile.

Kuzey Amerika'da ise Avrupalılarla karşılaşan yerliler, kıtanın güneyindeki akrabalarından daha da dezavantajlı durumdaydı. Elllerinde taş ve sopadan yapılmış silahlardan başka bir şey olmadığı gibi, üzerlerine binebilecekleri hayvanları da yoktu.

İzleyen insanlık faciasında, Amerika kıtasının yerli halkının yaklaşık yüzde 95'i ortadan kaldırıldı. Ateşli silahlardan ölenlerin sayısı çok olsa da, Amerika'daki ve Avustralya'daki insanların çoğunun ölümü yüksek teknolojiden değil, Avrupalılarla gelen çiçek ve kızamık gibi hastalıklardan oldu. Burada da bir muamma var. Diamond'ın ifadesiyle: "Amerika yerlilerinde Eski Dünya'dan kendilerine bulaşan bunca ölümcül salgın hastalığa karşılık kendilerinden Avrupalılara bulaşabilecek hiçbir ölümcül hastalığın evrilmemiş olması dikkat çekicidir."

Konu yine Avrupa ve Asya'nın gıda üretimindeki avantajlı başlangıcına geliyor. Birçok insan hastalığının kaynağı domuz ve tavuk gibi yaygın evcil hayvanlardır. Binlerce yıllık bir süreç içinde çok fazla hayvanın çiftçilik amacıyla yetiştirilmesi, hayvan hastalıklarının da o ölçüde artmasına neden olmuştu. Bunlar arada

insana atlıyor ve insan hastalığı haline geliyordu. Örneğin kızamık ve tüberküloz sığır hastalıklarından, grip bir domuz hastalığından ve çiçek de muhtemelen bir deve hastalığından evrilmişti. Amerika kıtasında ise insanların hastalık alabileceği yerli evcil hayvan türlerinin sayısı çok azdı.

Avrupa ve Asya’da kendilerini insanlara uyarlayan hayvan hastalıkları, kalabalık nüfuslara hızla yayıldı. Milyonlarca insan öldü, ama hayatta kalanlar bağışıklığa sahip oldu – Amerika ve Avustralya yerlilerinin sahip olmadığı bir bağışıklık. Ressam Paul Gauguin, “İnsanı hasta eden şey uygarlıktır,” gözleminde bulunmuştur.

Diamond’a göre farklı kıtalardaki insan toplumları arasında görülen farkların kökeni insanlar arasındaki biyolojik farklar değil, coğrafyalar arasındaki farklardır. Mark Twain bunu daha on dokuzuncu yüzyılda anlamıştı. “Dünya’da gülünç olan çok şey vardır,” diye yazmıştı, “bunlardan bir tanesi de beyaz adamın kendini diğer vahşilerden daha az vahşi sanmasıdır.”⁸

Tozdaki ayak izleri

Son buzul döneminin bitiminden günümüze kadar geçen 13.000 yıla baktığımızda, insan eliyle gelen yeniliklerin itici gücü kolayca görülebilir: etkileşim, etkileşim, etkileşim. İnsanların önce köylere, sonra da kentlere yerleşmeleri, fikir alışverişinde bulunma olanaklarını ve bunun sonucu olarak da teknolojik ilerleme hızını artırmıştır. Bugün 7 milyardan fazla insanın yaşadığı küresel uygarlığımızda, bilgisayar ve telekomünikasyon alanlarının kesişmesi interneti doğurmuş, bu da insanlar arası etkileşimi kat be kat artırmıştır. Hesaplamalara göre, 2012’de, bir yılda gönderilen metin mesajlarının sayısı 8,7 trilyonu bulmuştur.⁹

Ancak gelecek, insan ırkı için pek parlak görünmüyor. Küresel uygarlığımızı nükleer silahlarla bir günde yerle bir etme yetisine sahip olduğumuz gibi, sadece ulaştığımız sayı bile küresel çevreyi sonuna kadar zorlamakta. İklim değişmekte, denizler üretkenliklerini kaybetmekte ve gezegeni paylaştığımız türler ciddi boyutta bir yok oluşla karşı karşıya. Siyanobakterilerin ortaya çıkıp gezegeni

oksijenle zehirledikleri zamandan beri, Dünya üzerinde bu ölçüde yıkıcı etki gösteren başka bir tür olmamıştır. Tek umudumuz, insanlar arasındaki bu örneği görülmemiş etkileşim düzeyinin, bizi felaketin eşiğinden döndürecek çözümleri de sunabilmesidir.

Bu noktaya kadar gelip bu kadar çok şey başardıktan sonra ortadan kaybolmamız gerçekten yazık olur. Yaşadığımız belki de en olağandışı gelişme, insanın ilk kez bir başka dünyaya adım attığı 20 Temmuz 1969'da gerçekleşmiştir. Dünya'daki yaşamın tarihçesinde, Neil Armstrong'un attığı "insan için küçük, insanlık için dev adım", ilk amfibinin okyanustan karaya doğru emeklediği 350 milyon yıl öncesinden bu yana belki de en önemli gelişmedir. *Australopithecus*'lar Laetoli tozuna ayak izlerini bırakırken, torunlarının da 3,6 milyar yıl sonra ayak izlerini Krizler Denizi'nin* tozuna bırakacakları kimin aklına gelirdi?

Ama kendimizi çok kaptırmayalım ve neden burada olduğumuzu bir kez daha hatırlayalım: Çünkü çiftçilik yapan atalarımız genetik mühendislik sanatının inceliklerini öğrenmişti. Anonim bir yazarın ifadesiyle, "Tüm sanatsal havalarına, gelişmişliğine ve başarılarına karşın insan, varlığını on beş santimlik yüzey toprağına ve yağmurun yağıyor olmasına borçludur."

* Marc Crisium; Ay yüzeyindeki bir düzlüğün adı. (f.n.)

8:

YAŞASIN ZITLARIN ÇEKİMİ

Elektrik

Elektriğin varlığına inanmamızın nedeni, elektrik şirketinin bize sürekli olarak fatura göndermesidir. Tellerin içinde nasıl dolaştıklarını ise bilmiyoruz.

DAVE BARRY

Bu gerçek mi, yoksa düşümde mi gördüm? Madde dünyası elektrik vasıtasıyla dev bir sinire dönüşmüş, zamanın soluksuz bir noktasında binlerce kilometre boyunca titreşiyordu.

NATHANIEL HAWTHORNE, *The House of the Seven Gables* (1851)

Evinizin içine ince metal bir tel girer ve onun içinde *görünmeyen* bir şey dolaşır. Bu *bir şey*, sadece çamaşır makinenizin tamburunu döndürmeye değil, aynı zamanda evinizdeki tüm odaları aydınlatmaya, hatta kışın evinizi ısıtmaya yetecek güce sahiptir. Ve sadece sizin evinizi değil, milyonlarca başka evi de. Hatta milyarlarcasını. Elektriğin gezegene güç sağladığını herkes bilir. İyi de nasıl yapar bunu?

Açıklamadan önce biraz ön bilgi gerekiyor. Kütleçekimi gibi bir kuvvet hayal edin; ama kütleçekiminden iki ana özelliğiyle ayrı olsun.' Birincisi, burada Güneş ile Dünya gibi hep diğerini kendine çeken değil, onun yerine duruma göre diğerini çeken veya iten *iki* farklı madde türü olsun. Bunlara istersek Tip 1 ve Tip 2, istersek A ve B, istersek de pozitif ve negatif diyebiliriz; fark etmez. Önemli olan şu ki, burada *farklı türden* olanlar birbirini çeker, *eş türden* olanlar birbirini iter.

Dolayısıyla bir grup pozitif birbirini itip her yöne kaçışırken, negatifler de kendi aralarında aynısını yapar. Ancak pozitiflerle negatifler eşit karıştığında çok daha farklı bir şey olur. Zıt parçalar birbirini çekerken eş parçalar birbirini iter. Ama zıt güçler birbirine eşit ve ters yönlü oldukları için bir denge kurulur.

Bunun bir sonucu olarak, her biri, eşit miktarda pozitif ve negatif karışımından oluşan iki cisim birbirini ne çeker ne de iter.

Bu davranışı gösteren bir kuvvet gerçekten de vardır. Adına *elektrik kuvveti* diyoruz. Sıradan madde –sizi, beni ve çevremizdeki dünyayı oluşturan malzeme– artı *yüklü* protonlar ve eksi *yüklü* elektronları eşit oranda içeren karışımdır (Protonlar her atomun merkezinde, yani çekirdeğinde yer alırken elektronlar ise çekirdeğin çevresinde dolanır). Çekim ve itim kuvvetleri tamı tamına birbirine eşit olduğundan, birinin yanında durduğunuzda ikiniz de en ufak bir kuvvet hissetmezsiniz. Hatta günlük yaşamda elektrik kuvvetinin varlığına işaret edecek ipuçları çok azdır.

Hem çekme hem de itme özelliğine sahip olan, ama normal koşullarda tamamen sıfırlanan bir kuvvetin varlığı sıradan ve önemsiz gelebilir. Ama elektrik kuvvetinin kütleçekim kuvvetinden bir değil, *iki* yönüyle farklı olduğunu söylemiştik. İlk fark, iki kuvvetin hemen hemen her zaman birbirini sıfırlayacağı anlamına gelir. İkincisi ise, bu kuvvetin modern dünyaya güç sağlama konusundaki olağanüstü yetisinin kökünde yatan farktır. Elektrik kuvveti, kütleçekiminden *daha güçlüdür*. Ama 10 veya 100 kat değil; hatta bir milyon kat da değil. Elektrik kuvveti, kütleçekim kuvvetinden 10.000 *milyar milyar milyar milyar* kat daha güçlüdür.²

Bu inanılmaz sayının ne anlama geldiği hakkında bir fikir sahibi olmak için, bir kavanoz içinde vızıldayıp duran bir sivrisineği gözünüzün önüne getirin. Diyelim ki, bir tür sihirle sivrisineğin atomlarından tüm eksi yüklü elektronları ayırıp aldık ve geriye yalnızca artı yüklü atom çekirdekleri kaldı.³ Tabii bunlar birbirini itecek, sivrisinek patlayacaktır. Peki sivrisinek hangi büyüklükte bir enerjiyle patlar?

- a) Bir maytabın enerjisi
- b) Bir dinamit lokumunun enerjisi
- c) 1 megatonluk bir hidrojen bombasının enerjisi
- d) Küresel yok oluş enerjisi

Yanıtın b veya c olduğunu düşünmüş olabilirsiniz. Eğer c derseniz, en azından doğru yoldasınız; çünkü hidrojen bombası hiç olmazsa karşılaştırma yapmak için iyi bir seçenek. Ama yanıt, 1 megatonluk hidrojen bombalarından *tek bir* tanesi kadar değil, *bir milyon milyar tanesi* kadardır. Sivrisineğin patlamasıyla açığa çıkan enerji, 65 milyon yıl önce Dünya'ya çarpıp dinozorları silip süpüren kent büyüklüğündeki asteroidin enerjisiyle aynı olacaktır. Yanıt d'dir. Sivrisinek, bir *küresel yok oluş enerjisiyle* patlayacaktır. Kütleçekiminden 10.000 milyar milyar milyar milyar kat güçlü olan bu akılalmaz elektrik kuvveti istisnasız biçimde sıfırlanıyor olmasaydı, yeryüzündeki her bir sivrisinek dünyayı yok etme potansiyeli taşırdı. Neyse ki günlük yaşamda olduğu gibi fizikte de zıtlar birbirini çekiyor.

Elektrik kuvvetinin dünyaya enerji sağlama potansiyelini bu örneklerle belki şimdi daha iyi görebiliyorsunuzdur.

Bir sıvrisineği tüm elektronlarından arındırmak mümkün olsaydı, bu, yük bakımından ciddi bir dengesizlik yaratır ve olağanüstü miktarda elektrik enerjisini serbest bırakırdı.⁴ Buradan hareketle, çok küçük bir yük dengesizliğinin bile önemli boyutta elektrik enerjisini serbest bırakabileceğini söyleyebiliriz. Yıldırım da budur: Bir bulut ile yer arasında veya daha sık olarak iki bulut arasında, bir yük dengesizliği oluşur. Daha ayrıntılı söylersek; bulutun alt yüzeyinde, yeryüzünden kapıldığı eksi yük birikir ve eksi yükünü kaybetmiş olan yeryüzü de artı yüklü hale gelir. Sonunda bulutla yer arasındaki elektrik kuvveti öyle güçlüdür ki, havadaki atomların dış elektronlarını yerinden edebilir. Bu yerinden edilmiş elektronlar (tipik olarak 100 milyar milyarcası), yük dengesizliğini ortadan kaldırmak üzere bir çığ dalgası gibi yere yönelir ve yıldırım meydana gelir.

Elektronların akmasına elektrik akımı denir.⁵ Örneğin bir yıldırımdaki akım genelde 10.000 amper civarındadır – gerçi bu değer birkaç yüz bin amperi de bulabilir. (Karşılaştırmak için bir örnek: Birçok elektrikli ev aleti 10 amperden düşük bir elektrik akımıyla çalışır.) Akım saniyenin onda biri kadar bir sürede kalem kalınlığında bir kanaldan aşağı akar.⁶ Akımı oluşturan elektronlar, küçük bilyeler gibi havadaki atomlara çarparak enerjilerini bu atomlara bağlı elektronlara aktarır. Havadaki atomlar öyle çok enerji kazanır ki, sıcaklık 50.000°C'yi bulabilir (Güneş yüzeyindeki sıcaklığın neredeyse 10 katı). Bu muazzam sıcaklıktaki hava ses hızından daha hızlı genişlediği için gökgürültüsü sesi oluşur. Fazladan enerjilerini foton olarak saçan elektronlar ise şimşek çakmasını oluşturur.

Yıldırım, elektriğin bazı kilit özelliklerini sergiler. Örneğin bir yük dengesizliği oluştuğunda, elektrik kuvveti büyük miktarda enerji açığa çıkarabilir.⁷ Bir başka örnek olarak, elektrik enerjisi bir elektrik akımı aracılığıyla *belirli bir mesafe boyunca* taşınabilir. Yıldırım söz konusu olduğunda bu uzaklık genellikle birkaç kilometredir. Gelgelelim, Teksas'ın Dallas şehri yakınlarında gözlenen ve kayıtlara geçmiş en uzun yıldırım 200 kilometreye yaklaşmıştır.

Enerjinin elektrik akımı sayesinde uzun mesafeler boyunca taşınabilmesi, modern teknolojik dünyamızın inşasında çok büyük öneme sahiptir.

Son olarak, yıldırım bize bir elektrik akımı aracılığıyla elektrik enerjisinin başka enerji türlerine –ısı ve ışığa– dönüştürülebileceğini gösterir. On dokuzuncu yüzyıl sonlarının elektrik devrimini tetikleyen merkezi gelişme, elektrik ampulünden başkası değildi. Elektriğin öncülerinin derdi, elektriği, hatta elektrikli aletleri eve sokmak değil, *ışığı eve sokmaktı*. “Dünyayı elektrik telleriyle sardırان şey ampül oldu” der Amazon.com’un kurucusu Jeff Bezos.

Yıldırımın içindeki akımın havaya enerji aktararak onu ısıtıp aydınlatması gibi, bir elektrik ampulündeki akım da enerjiyi tele aktarıp telin ısınmasını ve aydınlanmasını sağlar. İşin püf noktası, bu teli oksijensiz bir cam ampule yerleştirmek suretiyle *yanıp gitmeden* parlamasını sağlamaktır. Ampül teknolojisini Thomas Edison icat etmemiş olsa da geliştiren o olmuştur.⁸

Ancak yıldırımda olduğu gibi devasa bir yük dengesizliği yaratıp havanın yıkıcı bir güçle parçalanmasını beklemek, elektrik akımı oluşturmak için ideal bir yöntem sayılmaz. Neyse ki daha uygun ve kontrollü bir yol var elimizde. Ancak bunu anlamak için önce bir elektrik yükünün arada boşluk olmasına rağmen uzaktaki diğer yüklere nasıl kuvvet uyguladığını anlamalıyız.

Elektrik alanı

Bir balonu naylon bir kazağa sürttüğünüzde, gevşek durumdaki elektronlar birinden diğerine doğru yol alır. Hangi yöne gittikleri önemli değildir – zaten bu tam net de değildir. Burada önemli olan, hem balon hem de kazağın elektrikle yüklenmesidir.⁹ Şimdi yüklü durumdaki bu balonu küçük bir kağıt parçasına yaklaştırırsanız, kağıt, elektrik kuvvetinin etkisiyle havaya fırlayıp balona yapışacaktır.¹⁰ Nasıl olduysa, balonun elektrik kuvveti havada uzanmış ve kağıt parçasını yakalamıştır.

Fizikçiler, bir elektrik yükünden havaya/uzaya doğru uzanan görünmez bir *elektrik kuvvet alanı* olduğunu söylerler. Bu, *Uzay*

Yolu'ndaki 'çekici ışın'ı andırır. Kağıt kendini bu alanda bulursa, yüke yönelen bir kuvvetin varlığını hissederek.¹¹

Yüklü bir balonu çevreleyen kuvvet alanı çok güçlü değildir, ama iki yağmur bulutu arasında veya bulutla yer arasında çok güçlü olabilir. Sonunda karşı konulmaz bir güce ulaşarak havadaki atomlardan elektronları söküp alan ve yıldırımın içindeki elektron çığına yol açan işte bu alandır. Hatta gökgürültülü bir fırtınadaki elektrik alanı, saç ve tüylerin dikilmesi ve derideki batma hissi ile *hissedilebilir* bile. Aklınızda olsun, bunları hissederseniz kendinizi dümdüz yere atın. Yıldırım çarpmasının eli kulağında, hedefi de muhtemelen sizsiniz.

Manyetik alan

Elektrik alanı, bir yükten dışarı uzanan (ve benzer olmayan yükleri çekip benzerlerini iten) görünmez bir kuvvetten ibaret değildir. Bu yalnızca *statik* bir yükü çevreleyen kuvveti tanımlar. Yük, ikinci bir yüke göre *hareket* halindeyse yeni bir kuvvet kendini gösterir. İkinci yüke, elektrik kuvvetine ek olarak bir de *manyetik kuvvet* etki eder.

Manyetik kuvvet alanını zihinde canlandırmak, elektrik alanına göre daha kolaydır. Bir çubuk mıknatıs ile bir çiviye birbirine yaklaştırdığınızda, mıknatısın manyetik alanına ait görünmez çekim ışınının çiviye nasıl çektiğini *hissedebilirsiniz*. Manyetik pusula iğnesinin Dünya'nın manyetik alanında nasıl hareket ettiğini görerek akli başından giden dört-beş yaşlarındaki Albert Einstein, bu olay sonrası kendini bilime vermiş, doğayla ilgili bir daha asla unutmayacağı bir ders çıkarmıştı: "Olguların arkasında bir şey, derinlerde gizlenmiş bir şey" vardı.¹²

Bir manyetik alanın, *hareketli bir elektrik yükü* nedeniyle ortaya çıkıyor olması, sabit mıknatısların manyetik alanlarının kökenini de anlamamızı sağlar. Sizi oluşturan et, kan ve kemik dahil tüm malzemeler yüklü elektronlardan meydana gelir. Bunlar atom çekirdekleri çevresindeki yörüngelerde dolanmakla kalmaz, kendileri de küçük birer topaç gibi döner dururlar. Bu da her bir atom ve elektronun ufak birer mıknatıs olduğu anlamına

gelir. Birçok malzemede bu sayısız mini-mıknatıs, farklı yönlere baktıkları için birbirlerinin manyetik alanlarını sıfırlarlar. Ancak bazı malzemelerde bu sıfırlama kusursuz değildir. İşte bunlar sabit mıknatıslardır.

Hareketli bir elektrik yükünün bir manyetik alan yarattığı, ilk kez Danimarkalı fizikçi Hans Christian Ørsted tarafından fark edilmiştir. Ørsted, elektrik akımı taşıyan iletken bir tele yaklaştıran bir manyetik pusula iğnesinin yön değiştirdiğini gözlemlemişti. Akım, hareket halindeki elektrik yükü olarak tanımlanır; hareket halindeki elektrik yükünün elektrik alanı da elbette değişecektir. Dolayısıyla Ørsted, *değişen bir elektrik alanının, bir manyetik alan oluşturduğunu* keşfetmişti.

İki mıknatısı yan yana getirin ve aralarındaki güçlü kuvveti hissedin.¹¹ Ørsted'in keşfettiği üzere, içinden akımın geçtiği bir sargı, değişken manyetik alanıyla bir *mıknatıstır*. Bunu sabit bir mıknatısa yaklaştırdığınızda, bu ikisi arasında, tıpkı iki sabit mıknatıs arasında olduğu gibi bir kuvvet oluşur. Sargı ile mıknatısı doğru biçimde konumlandırırsanız –ki bu biraz maharet ister– aralarındaki kuvvetin sargıyı kendi çevresinde *döndürdüğünü* görürsünüz. İşte bir elektrik motoru yapmış bulunuyorsunuz!

Bir elektrik motorunun bir şeyleri döndürebilmesi, fizikçilerin “dolanım” adını verdikleri bir özelliğe dayanır. Bir elektrik alanı, merkezden dışarıya doğru ışınsal (radyal) olarak uzanırken, akım taşıyan bir telin oluşturduğu manyetik alan ise minyatür bir hortum gibi fırıl fırıl döner.

Elektrik motoru sayesinde, elektrik akımından ısı ve ışık üretmek dışında başka birçok şekilde yararlanabiliriz. Örneğin nesneleri *harekete geçirebiliriz*. Elektrikli aygıtların motorlarında sürekli yön değiştiren elektrik alanı, bir mili döndüren manyetik alan yaratır. Milin dönmesiyle çamaşır makinesinden otomatik dönen kapılara, elektrikli araba ya da trenlere kadar her şeyi çalıştırmak mümkündür. Ve tüm bunların gelip de dayandığı şey, *elektrik alanının değişmesinin bir manyetik alan yaratıyor olmasıdır*.

Elektrik akımı olmadan elektrik motoru çalışmaz elbet. Doğanın ürettiği elektrik akımı olan yıldırım, anlık ve kaotiktir. Peki ama elektrik akımı pratik ve kontrollü biçimde nasıl oluşturulabilir? Yanıt, elektrik ve manyetik alanların başka bir özelliğinden

yararlanmaktadır. Bu özellik ilk kez 1831’de İngiliz fizikçi Michael Faraday tarafından fark edilmiştir. Faraday, bugün kullandığımız elektrik güç sisteminin babasıdır. “Bana Shakespeare olma olanağı tanınsaydı bile, sanırım yine de Faraday olmayı yeğlerdim,” diye yazmıştı Cesur Yeni Dünya romanının yazarı Aldous Huxley.¹⁴ İngiltere Maliye Bakanı William Gladstone’un kendisine yönelttiği “Elektriğin uygulamada ne yararı var?” sorusuna Faraday’ın verdiği yanıt da iyi bilinir: “Yakında onu da vergilendirebileceğinize kesin gözüyle bakabilirsiniz efendim.”

Faraday, bir mıknatısı iletken bir tel sargıya yaklaştırdığında geçici bir akımın oluştuğunu fark etmişti.¹⁵ Akım, elektrik yüklerinin akması demektir. Elektrik yüklerini ileri iten de elektrik alanıdır. Faraday, *değişen bir manyetik alanın, bir elektrik alanı oluşturduğunu* keşfetmişti.

Elektrik ve manyetik alanlar arasında hoş bir simetri vardır. Değişen bir elektrik alanının manyetik alan yaratması gibi, değişen bir manyetik alan da elektrik alanı yaratır. Bir sabit mıknatısın manyetik alanı içinde bir tel sargıyı kendi çevresinde döndürüp sargıyla mıknatısı doğru biçimde konumlandırırsanız –ki bu da yine biraz maharet ister– sargı içinde bir elektrik alanı oluşacak, bu da akımın oluşmasına neden olacaktır. İşte bir elektrik jeneratörü yapmış bulunuyorsunuz!

Elektrik santrallerinde, bir sargı bir mıknatısın kuvvet alanı içinde döndürülür. Döndürme işini yapan, kömür, petrol veya nükleer güçle ısıtılmış sudan elde edilen buhar olabileceği gibi, rüzgâr veya su da olabilir.¹⁶ Burada önemli olan, tel sargının manyetik alanın içinden geçmesidir. Böylece sargının içinden geçen manyetik alan *yön değiştirir*. Manyetik alanın yön değiştirmesi ise, sargıyı oluşturan telin içindeki elektronları iten bir elektrik alanı meydana getirir. Elektronlar telin içinden akmaya başlayınca bir elektrik akımı oluşur. İşte, elektrik santralinden çıkıp kablolara hücum eden ve evinize güç sağlayan akım da budur.

Uygulamada, her bir eve girip çıkan akım *aynı kabloda taşınır*. Elektrik santralinden çıkıp akımlı tel ile gelen akım, santrale nötr tel ile döner ve böylece devreyi tamamlamış olur.¹⁷ Burada ilginç bir ayrıntı söz konusudur. Yukarıdaki cümle temelde doğrudur ancak elektrik santralleri yalnızca tek yönde akan bir akım

oluşturmaz. Tek yönde akan doğru akım (DC) yerine, bir ileri bir geri hızla yön değiştiren alternatif akım (AC) üretirler. Bu sayede elektriği uzun mesafelere iletirken karşılaşılan temel bir sorun çözülmüş olur.

Alternatif akım

Elektrik santralinden çıkan akımı, bir tepeden vadiye akan bir nehir gibi düşünebiliriz. Tepenin üst kısımlarında bir yerde nehere erişebilecek durumdaysanız, suyun vadi tabanına yaptığı uzun düşüşten yararlanıp, su çarkı benzeri bir düzeneğe güç sağlayabilirsiniz. Ama aynı şeyi vadinin dibine yakın bir yerde yapmaya kalkarsanız, yararlanabileceğiniz düşüş mesafesi çok kısadır. İşte bir elektrik santralinden çıkan elektrik akımında da karşılaşılan sorun budur. Bir ev ne kadar uzaktaysa, elektronların akışından o ölçüde düşük bir enerji sağlanabilir. Santrale yakın evler, kuvvetli ışık saçan çok sayıda ampulle ışıldarken, uzaktakiler tek bir ampulün cılız ışığıyla idare etmek zorunda kalacaktır.

Bir akımın sağlayabileceği enerji miktarı, voltajına bağlıdır (örneğinimizdeki nehrin vadi tabanından yüksekliğine). Türkiye’de ev aletleri 240 volt ile çalışır (ABD’de 110 volt). Bu sayı, bir elektrik santralinin yaklaşık 240 voltluk elektrik üretmesi gerektiği izlenimini verebilir. Ama öyle olsaydı, santrale uzak yaşayanlar belki 100, belki 10, hatta belki de varla yok arası 1 voltla idare etmek zorunda kalırdı. 1880’lerin New York’unda santralden elektrik iletimi sürecinin bu zaafı için Edison’un bulabildiği tek çözüm, yaklaşık her 2,5 kilometrede bir santral inşa etmektir. Böyle bir şey yapılabilirse bile, ulusal boyutta elektrik dağıtımı söz konusu olduğunda işlerlik kazanamayacağı açıktır.

Bu iletim sorununa Nikola Tesla ve başkalarının öncülüğünde getirilmiş olan çözüm, elektriği 240 volt değil de bunun yaklaşık *bin katı* voltajla üretmektir. İngiltere’nin National Grid adı verilen elektrik şebeke sistemi içinde elektrik, uzun mesafelere 110.000 volt ya da fazlasıyla iletir.¹⁸ Bu demektir ki, santralden çıkıp kablo ile yolculuk yapan elektronların enerji kaybetmesi durumunda

(ki bu kaçınılmazdır; çünkü atomlara çarpıp durur ve enerjiyi ısı olarak kaybeder) voltajdaki düşüş, 110.000 volt ile kıyaslandığında neredeyse fark edilmeyecektir bile. Sonuç olarak elektriği çok uzun mesafeler boyunca iletme mümkün olur ve elektrik santallerinin evlere yakın olması gerekmez. Sorun, 110.000 voltun ev gereçleri için fazla büyük bir değer oluşudur. Bu nedenle santral ile evler arasındaki bir noktada voltajın azaltılması gerekir. Bu, doğru akımla mümkün olmasa da alternatif akımla mümkündür.

Alternatif akım, saniyede genellikle 50-60 kez olmak üzere hızla yön değiştirir. Bir tel içindeki elektronların deniz kıyısındaki dalgalar gibi ileri geri hareket ettiklerini düşünün. Alternatif akım da tıpkı doğru akım gibi sayısız *hareketli* elektrondan oluştuğundan, enerjiyi tek yönlü kardeşi kadar verimli biçimde taşıyabilir.¹⁹ Dahası, alternatif akım *üretecek* bir jeneratör tasarlamak mümkün olduğu gibi, alternatif akımla *çalışacak* bir motor tasarlamak da mümkündür. Bu durumda iş yalnızca alternatif akımı 110.000 volttan, evlerde kullanım için gereken 240 volta düşürmeye kalır. Ve bu da transformatör yardımıyla gerçekleştirilebilir.

Transformatörün bir sargısındaki akım değişince –alternatif akımda olduğu gibi– ikinci sargısındaki manyetik alan değişir. Bu da ikinci sargıdaki elektrik alanının değişmesine neden olur ki bunun sonucunda ikinci sargıda elektrik akımı oluşur. İkinci sargıdaki sarım sayısı birinciye göre azsa, *voltaj düşer*.

Tüm elektrik güç sistemini kabaca bu şekilde özetleyebiliriz.

Elektrik, manyetizma ve ışık

Elektrik ve manyetizmanın numaraları bu kadarla kalmaz. Değindiğimiz üzere, bir elektrik yükü size göre hareket halindeyse, yalnızca bir elektrik alanı değil, bir *manyetik alan* da görürsünüz. Ama siz de yüklerle birlikte hareket halindeyseniz manyetik alan görmezsiniz. Dahası da var. Bir mıknatıs size göre hareket halindeyse, manyetik alanın yanında bir de *elektrik alanı* görürsünüz. Ama mıknatısla birlikte hareket halindeyseniz yalnızca bir manyetik alan görürsünüz.

Nasıl olur da bir bakış açısından manyetik alan varken diğerinden olmaz? Ve nasıl olur da bir bakış açısından elektrik alanı varken diğerinden olmaz? Bunu mümkün kılabilen tek bir durum vardır: *manyetik alan ve elektrik alanının temel nitelikler olmamaları*.

Einstein'ın 1905'te keşfettiği gibi, elektrik alanı ve manyetik alan, tıpkı uzay ve zaman gibi aynı şeyin –elektromanyetik alanın– farklı yüzleridir yalnızca. Her yüzün ne kadarını gördüğünüz, elektromanyetik alanın kaynağına göre hızınıza bağlıdır. Bir kişinin elektrik alanı olarak gördüğü şeyi bir başkasının elektrik alanı *ve manyetik alan* olarak görmesinin nedeni budur. Bir kişinin manyetik alan olarak gördüğü şeyi bir başkasının manyetik alan *ve elektrik alanı* olarak görmesinin nedeni de budur. Elektrik alanı ve manyetik alanın davranışları arasındaki hoş simetriye şaşmamak gerekir. Nasıl olmasın ki? Sonuçta ikisi de özlerinde *aynı* şeydir.

İş bununla da bitmiyor. 1863'te İskoçyalı fizikçi James Clerk Maxwell, tüm bilimsel maharetlerini ortaya serdiği çalışmasında, bilinen tüm elektriksel ve manyetik olguları süzerek tek bir denklem kümesine sığdırmayı başardı.²⁰ Bu denklemler üzerinde çalışırken olağanüstü bir şey fark etmişti. Bir dalganın, elektrik ve manyetik alanlar boyunca, göldeki küçük bir dalga gibi ilerlemesi mümkündü. Ve hiç sönmeden ilerleyebilmesinin yanında, dalganın ilerleme hızı da çok ilginçti: *ışık hızı*.

Maxwell elektrik, manyetizma ve *ışık* arasında şaşırtıcı bir bağlantının varlığını keşfetmişti. Artık biliyoruz ki ışık, elektromanyetizmayla ortaya çıkan bir dalgadır – bir elektromanyetik dalga.²¹ Ama hepsi bu kadar değil. Maxwell'in denklemleri, görünür ışığın dışında, daha sıkı veya daha gevşek aralıklarla titreşen elektromanyetik dalgaların da elde edilebileceğini gösterir. Bunların varlığını 1888'de kanıtlayan Alman fizikçi Heinrich Hertz, bir kıvılcım yardımıyla laboratuvarı kateden bir elektromanyetik dalga iletmiş, çıplak gözle görülemeyen bu radyo dalgası laboratuvarın diğer ucundaki bir sargıda ölçülebilir bir akım ortaya çıkarmıştır. Çığır açıcı, dünyayı değiştirici bir andı bu. Dünyanın her yerindeki radyo ve televizyon iletişim sistemleri, varlıklarını zafer niteliğindeki bu deneye borçludur. Her köşesi birbiriyle bağlantı

halindeki modern dünyamız işte o gün doğmuştur. Nobel Ödüllü Amerikalı fizikçi Richard Feynman, bu gelişmeyi şöyle ifade eder: “Bundan diyelim ki on binyıl sonra geriye dönülüp de insanlığın tarihine bakıldığında, Maxwell’in elektrodinamik yasalarını keşfinin on dokuzuncu yüzyılın en önemli olayı olarak değerlendirileceği konusunda pek kuşku yoktur.”²²

Elektrik ve atomlar alemi

Elektrik, daha önceki kuşaklar için hayal bile edilemeyecek teknolojik fırsatlara yol açmıştır. Bir kişinin, arada herhangi bir maddesel bağlantı olmaksızın bir başka kişiyle konuşmasını mümkün kılan bir sinyalin dünyanın bir köşesinden diğerine iletelebiliyor olmasından öte, artık devasa boyutlarda genişletilmiş güç sistemlerini çalıştırmak da mümkündü. Yine Feynman’ın sözleriyle, “Sana ve evlerde makineleri çalıştıran on binlerce yerdeki on binlerce motor elektromanyetizma bilgisi sayesinde dönüyor.”²³

Elektriği ehilleştirmemizle birlikte, elektriğin doğa için taşıdığı merkezi önemin de yavaş yavaş farkına varmaya başladık. Aslında bir elektrik dünyasında yaşıyoruz. Müthiş güçlü elektrik kuvvetleri normalde kusursuz bir denge içinde ve dolayısıyla sıfırlanmış olduğundan, bunu daha önce kimse fark etmemişti. Ne var ki bu durum maddenin yapıtaşı olan atomların dünyasında geçerli değildir. Orada yük dengesizlikleri her an ve her yerdedir.

Fıkra şöyle:

Yolda yürüyen iki atom çarpışırlar. Biri diğerine sorar: “İyi misin?” Öteki cevap verir. “Hayır, bir elektron kaybettim.”

“Emin misin?”

“Pozitif olduğum kadar.”*

Sadece birkaç atomdan oluşan bir madde parçasında artı ve eksi yüklerin sayısı genellikle eşit değildir. Eşit olsa bile büyük elektriksiz kuvvetler var olabilir. Çünkü örneğin madde parçalarından birindeki eksi yük, diğer bir maddenin artı yüküne eksi

* İngilizcesi: “I’m positive”; “kesinlikle eminim” anlamına gelir. (ç.n.)

yükünden daha yakın olabilir. Mesafe uzadıkça elektrik kuvveti zayıfladığı için, çekim gücü itme gücüne üstün gelecektir. Böylece ikisi de net yüke sahip olmayan iki küçük madde parçası birbirini güçlü biçimde çekebilir.

Artık biliyoruz ki, atomlar muazzam güçteki bir elektrik kuvvetinin etkisi altındadır. Onları bir arada tutan ve molekül oluşturmak üzere başka atomlara bağlayan, bu elektrik kuvvetidir. Atomlardaki elektronların yeniden düzenlenmelerine dayanan kimya ise olduğu gibi elektrikseldir. Elektrik kuvvetinin çekim gücü, vücudunuzdaki moleküllerin atomlarını bir arada tuttuğu gibi, o moleküllerin dışında yer alan elektronlar arasındaki itme gücü de sizi dik tutarak Dünya'nın yerçekimiyle dümdüz olmanızı engeller. Hücreleriniz ise elektrik kuvvetinin enerjisinden yararlanmanın yollarını bulmuştur. Besinlerle gelen elektronlar hücre duvarları boyunca elektrik alanları yaratır; elektrik alanları da birer güç birimi konumundaki adenosin trifosfat ya da ATP moleküllerinin üretilmesini yönlendirir. Hatta düşünebilmemizi ve düşünceleri aklımızda tutabilmemizi mümkün kılan da yine elektronlardır.²⁴

Biyoloji elektrikle çalışır. Bizler de elektrikli varlıklarız. Pille çalışan bir oyuncakçı hareket ettiren şeyin elektrik gücü olması gibi, bizi hareket ettiren şey de elektrik gücüdür. Bu, elektriğin neden mucizevi olmakla kalmayıp *tehlikeli* de olduğunu açıklar. Amerikalı komedyen Tim Allen, “Yeğenim prize bir peni sokmaya çalışmıştı” diye anlatmıştı. “Bir peni sizi fazla uzağa götürmez diye her kim dediyse, onun fişek gibi fırlayışını görmediği kesin.”

9:

PROGRAMLANABİLİR MADDE

Bilgisayarlar

Günün birinde kadınlar parkta yürüyüşe çıkarken bilgisayarlarını yanına alacak ve birbirlerine diyecekler ki “Benim küçük bilgisayar bu sabah öyle komik bir şey söyledi ki.”

ALAN TURING

Dünya pazarında bilgisayarların yeri, olsa olsa ... beş taneyle sınırlıdır.

THOMAS J. WATSON, IBM Başkanı, 1943

“Bilgisayarlar işe yaramaz,” demişti Pablo Picasso, “size yalnızca yanıtları verebilirler.” Ama verdikleri yanıtlara bir bakın! O yanıtlar geçtiğimiz yarım yüzyıl içinde dünyayı ciddi bir değişime uğratmıştır.¹ Bilgisayar başka hiçbir insan icadına benzemez. Çamaşır makinesi çamaşır makinesidir. Onu bir elektrikli süpürgeye, ekmek kızartma makinesine ya da nükleer reaktöre dönüştüremezsiniz. Ama bir bilgisayar bir kelime işlemcisi de olabilir, bir interaktif video oyunu da, akıllı telefon da. Liste uzar da uzar. Bilgisayarın benzersiz cazibesi, *başka herhangi bir makineyi simüle edebilmesindedir*. İnsanların gerçekleştirdiği üretimin esnekliğini yakalayabilecek bilgisayarları henüz yapamadıysak bile, bu yalnızca zaman meselesi.²

Bilgisayarın yaptığı şey temelde simgelerin yerlerini değiştirmektir. İçine bir avuç simge girer (örneğin bir uçağın uçuş yüksekliği, yer hızı vs.) ve bir avuç başka simge çıkar (örneğin gerekli jet yakıtı, kanatçık açılarında yapılması gereken değişiklikler vs.). Girdi simgelerini çıktı simgelerine dönüştüren şey ise programdır; yani bilgisayar içinde depolanan ve *tekrar tekrar baştan yazılabilen* bir yönergeler kümesi. Bir bilgisayarın, başka herhangi bir makineyi simüle edebilmesini sağlayan şey, *programlanabilir* olmasıdır. Bilgisayarın modern dünyayı fethetmesini sağlayan eşi benzeri görülmemiş gücünün kökündeki şey, bilgisayar programlarının olağanüstü esnekliği ve değişkenliğidir.

Depolanmış bir program aracılığıyla simgeleri karıp karıştıran soyut bir makineyi ilk kurgulayan kişi, İngiliz matematikçi Alan Turing’di. Turing, Almanların “Enigma” ve “Fish” şifrelerinin kırılmasında oynadığı rolle de tanınır. Bu şifrelerin kırılmasıyla İkinci Dünya Savaşı’nın birkaç yıl kısaltmış olduğu öne sürülür.³

Turing’in 1930’larda tasarladığı simge değiştiricisine bilgisayar demek zordu. Programı, tek boyutlu bir bant üzerinde, ikili sistemde (0’lar ve 1’ler dizisi halinde) saklıyordu. Sayılar ve komutlar da

dahil her şey iki tabanında ifade edilebilir. İçerdiği okuma/yazma kafasıyla basamakları birer birer değiştiren makinenin tam olarak nasıl çalıştığı şu anda önemli değil. Önemli olan şu: Turing makinesine herhangi bir makinenin ikili sistemde kodlanmış tanımını girildiğinde, o makineyi *simüle* yani taklit edebiliyordu. Bu benzersiz yeteneğinden dolayı Turing'in Evrensel Makine adını verdiği bu aygıt günümüzde Evrensel Turing Makinesi adıyla bilinir.

İşin tuhafı, Turing bu zihin makinesini bilgisayarın ne yapabildiğini değil, *ne yapamadığını* göstermek için tasarlamıştı. Turing özünde soyut matematikçiydi. Ve onu asıl ilgilendiren şey de bilgisayarın fiziksel ayrıntılarından önce, nihai sınırlarıydı.

Turing, ne kadar güçlü olursa olsun hiçbir bilgisayarın asla yapamayacağı basit bir görevi bulmayı çabucak başardı. Durma problemi adı verilen bu problemi ifade etmek de kolaydır. Bilgisayar programları bazen çarktaki hamster gibi sonu gelmez döngülere takılarak durmaksızın aynı komutları tekrarlar. Durma probleminin içerdiği soru şudur: Bilgisayara bir bilgisayar programı verdiğinizde, *programı fiilen çalıştırmaya başlamadan önce*, sonunda durup durmayacağını, yani sonsuz bir döngüye takılıp takılmayacağını söyleyebilir mi?

Turing etkili bir akıl yürütmeye, bir programın sonunda durmak ya da sonsuza kadar sürüp gitmek seçeneklerinden hangisine yöneleceği konusunda karar vermenin mantıksal olarak imkânsız, dolayısıyla da olası tüm bilgisayarların erimi dışında olduğunu göstermişti. Bilgisayar dilinde bu “hesaplanamaz” bir durumdur.⁴

Neyse ki durma problemi, bilgisayarlardan genelde çözmelerini beklediğimiz problemlerden değildir. Dolayısıyla Turing'in bilgisayarlara koyduğu sınır bizi yolumuzdan etmiş sayılmaz. Bilgisayarlar soyut matematik dünyasındaki hayal ürünleri olarak doğmuş olmakla birlikte, uygulamada son derece etkili cihazlar olarak yerlerini almışlardır.

Engin bir sayısal sulama sistemi

Evrensel Turing Makinesi gibi, bilgisayarlar da ikili sistemi kullanır. Bu sistemi, on yedinci yüzyılda yaşamış ve kalkülüsü kimin

icat ettiği konusunda Isaac Newton ile tatsız kavgalara tutuşmuş Alman matematikçi Gottfried Leibniz bulmuştur. İkili sistemde sayılar 0 ve 1'lerden oluşan dizilerle temsil edilir. Normalde onluk sistemi, yani 10 tabanını kullanırız. En sağdaki basamak 1'leri temsil eder, bir sonraki basamak 10'ları, bir sonraki de 10 x 10'ları vs. Buna göre örneğin 9217 sayısı şu anlama gelir: $7 + 1 \times 10 + 2 \times (10 \times 10) + 9 \times (10 \times 10 \times 10)$. İkili sistemde, yani 2 tabanında ise en sağdaki basamak 1'leri temsil eder, bir sonraki 2'leri, ondan sonraki 2 x 2'leri vs. Örneğin 1101 sayısı şu anlama gelir: $1 + 0 \times 2 + 1 \times (2 \times 2) + 1 \times (2 \times 2 \times 2)$, ki bu da on tabanında 13'e eşittir.

İkili sistem sadece sayıları değil, komutları temsil etmek için de kullanılabilir. Tek yapılması gereken hangi ikilik sayının hangi komutu temsil ettiğini önceden belirlemektir. *Şu* ikilik sayı (ya da bitler) “topla”; *şu* “çarp”; *şu da* “bu komutları yerine getirdikten sonra yeniden başa dön ve yeniden yerine getir” anlamına gelecek diye belirlenebilir. İkilik sistemin temsil ettikleri, sayılar ve program komutlarıyla da kalmaz. Bu sistem *her şeyi* kodlayabilir: uzay aracı Cassini'nin gönderdiği Satürn'ün halkalarının görüntüsündeki bilgi içeriğinden, bir insandaki bilgi içeriğine kadar (gerçi bu, halihazır-daki becerilerimizi biraz aşıyor). Hatta bazı fizikçiler, enformasyon devrimi sarhoşluğuyla, fiziğin ortaya çıktığı evrimin temelini ikili sisteme dayandırma yönüne gitmiştir. Amerikalı fizikçi John Wheeler'ın “*it from bit*” sözüyle özetlenebilir bu görüş.*

İkili sistemin bilgisayarlar için özellikle uygun olmasının nedeni, 0 ve 1'leri temsil etmek için yalnızca iki farklı duruma ayarlanabilen aygıtların yeterli olmasıdır. Bilgi depolanması örneğini ele alalım. Bilgiyi manyetik bir ortama kaydedebilirsiniz. Ortamın küçücük bir bölgesi “0”ı temsil edecek şekilde belli bir yöne, “1”i temsil edecek şekilde de tersi yöne manyetize edilebilir. Minyatür ölçekte pusula iğnelerinden oluşmuş bir dizi düşünün. Bilgiyi değiştirmek içinse iki ayrı durum içeren bir elektronik aygıtla gerek vardır. Bu aygıt transistördür.

İçinden suyun aktığı bir bahçe hortumunu gözünüzün önüne getirin. Su bir kaynaktan gelip bir akaçtan gider. Hortumun ortasına ayağınızla basarsanız su akımı kesilecektir. Aslında bir

* “her şey –yani fiziksel dünyadaki her bir unsur– bir’ten –yani ikili sistemden– türemiştir” anlamında; (f.n.)

bilgisayar transistörünün yaptığı iş de bundan ibarettir.⁶ Ancak kesintiye uğrattığı şey su akışı değil, elektron akışı, yani elektrik akımıdır. Ve tabii bir de ayak yerine “kapı” içerir. Hortuma ayakla basmak su akışını nasıl kontrol altında tutarsa, kapıya bir voltaj uygulamak da, kaynaktan akaca giden elektronların akışını aynı şekilde kontrol eder.⁷ Devre açıldığında ı’i, kapatıldığında o’ı temsil edebilir örneğin. Çocuk oyuncuğu.

Modern bir transistör (mikroçip üzerinde), küçücük bir T harfini andırır. T’nin yatay çizgisi kaynak/akaç (hortum), dik çizgisi de kapıdır (ayak).

Şimdi de birbirine bağlı iki transistör olsun; öyle ki, birinin kaynak kısmı diğerinin akaç kısmıyla bağlantılı olsun. Bunu hem sizin hem de bir arkadaşınızın yanında durduğu bir hortum gibi düşünebilirsiniz. Hortuma basarsanız su akışı kesilecektir. Arkadaşınız basarsa yine kesilecektir. Tabii her ikiniz birden bastığınızda da. Su ancak siz basmazsanız *ve* arkadaşınız da basmazsa akmaya devam edebilir. Aynı şeyi transistöre uyarlarsak, elektronların akması için birinci kapıda bir voltajın olması *ve* ikinci kapıda da aynı voltajın olması gerekir.

Yine transistörleri birbirine öyle bağlayabilirsiniz ki, elektronlar yalnızca birinci kapıda *veya* ikinci kapıda belirli bir voltaj varsa akar. Bu tür VE/VEYA kapıları, transistör kombinasyonlarıyla ortaya çıkabilecek birçok mantık kapısından yalnızca ikisidir. Atom kombinasyonlarının molekülleri, molekül kombinasyonlarının ise insanları oluşturması gibi, transistörler mantık kapılarını, mantık kapıları da örneğin iki sayıyı toplayan toplayıcı gibi devreleri oluşturabilir. Ve bu tür bileşenlerden milyonlarcası bir araya getirilerek bir bilgisayar yapılabilir. Bilgisayarların tarihçesi üzerine eserler vermiş Amerikalı yazar Stan Augarten bu süreci şöyle özetliyor: “Bilgisayarlar, engin bir sayısal sulama kanalları sistemi içinde ufuklara kadar uzanan mantık kapılarından ibarettir.”⁸

Çiplerin üstündeki kentler

Transistörler, gezegendeki en yaygın ve sıradan maddelerden biri olan kumdan, daha doğrusu içindeki silikondan yapılır. Kumdaki

silikon dioksitin bileşenlerinden biri olan silikon, yerkabuğunda en bol bulunan ikinci elementtir. Silikon, ne içinden elektronların kolayca geçtiği bir iletken, ne de içinden elektronların geçemediği bir yalıtkandır. Bir yarı-iletken olan silikonun bu özelliği önemlidir. Çünkü elektriksel özelliklerinde değişikliğe yol açmak için bir başka elementin çok az sayıda atomunu katmak yeterli olur.

Silikona katkı maddesi olarak fosfor ve arsenik gibi atomlar eklendiğinde birer elektron artar. Bu da silikonu eksi yüklü elektronlar için bir iletken, bir başka deyişle *n*-tipi malzemeye dönüştürür. Ama silikona bor ve galyum gibi atomlar eklendiğinde birer elektronluk yer kalır. Tuhaf biçimde, elektronun *olmadığı* bu boşluk, sanki artı yüklü bir elektronmuş gibi malzeme içinde dolaşabilir. Bu da silikonu bir pozitif boşluk iletkenine, yani *p*-tipi bir malzemeye dönüştürür.

Transistör oluşturma yolu, basitçe, bir *pnp* ya da *npn* –çoğunlukla *npn*– sandviçi yapmaktan geçer. Transistörlerin temelini kavramak için de bundan fazlasını bilmenize gerek yoktur (hatta artık gereğinden fazlasını bildiğiniz bile söylenebilir).⁹

Transistör ilk icat edildiğinde, mantık kapıları ve toplayıcı gibi bilgisayar bileşenlerini yapmak için transistörlerin tek tek bağlanması gerekmekteydi. Ancak daha sonra milyarlarca ve milyarlarca transistörü eşzamanlı olarak tek bir silikon plakasına ya da çipine yerleştirmek mümkün olunca, bilgisayarlarda bir devrim gerçekleşti. Bu tür entegre devrelerin “Çok Büyük Ölçekli Entegrasyon”u, karmaşık ve pahalı bir süreçtir.¹⁰ Ama özetle, silikon plakası üzerinde bir transistör örüntüsü elde etmeyi ve sonra da katkı atomlarını, mikroskobik telleri vs. kat kat yerleştirmeyi içerir.

Bilgisayar yapmak için yine bir bilgisayar gerekir. Büyük bir kent kadar karmaşık olabilen bir transistör örüntüsü ortaya çıkarmanın tek yolu, bilgisayar destekli tasarımdan yararlanmaktır. Daha sonra bu örüntünün bir kalıbı çıkarılır. Bunu bir fotoğraf negatifi gibi düşünebilirsiniz. Kalıptan ışık geçirip bu ışığı da bir silikon plakası üzerine düşürdüğünüzde, transistör örüntüsünün bir görüntüsünü elde etmiş olursunuz. Ama bir ışık ve gölge örüntüsü de, haliyle bir örüntüden ibarettir; mesele bunu gerçek bir şeye dönüştürmektir. Bunu başarmanın yolu ise silikon plakanın yüzeyini, ışık vurduğunda kimyasal değişime uğrayan özel bir kimyasalla

kaplamaktır. Işık, ışığa dirençli malzemeyi asit saldırısına dayanıklı hale getirir.¹¹ Böylece silikon plakaya asidin uygulandığı bir sonraki basamakta, ışığın düştüğü bölgeler dışındaki tüm bölgelerde silikon aşınıp gider. Kalıptaki görüntü, somut bir gerçekliğe –silikona– dönüşmüştür artık.

Süreç bunun dışında da birçok dâhiyane aşama içerir. Örneğin çok sayıda katman oluşturmak için çok sayıda maskeden yararlanmak, plakayı katkı maddeleriyle spreylemek, mikroskobik ölçekte altın bağlantı kabloları eklemek bunlar arasındadır. Ama temel süreç az önce anlattığımızdır. Karmaşık bir elektrik devresi örüntüsü, fotolitografi tekniği sayesinde hızlı ve düzgün biçimde plakaya işlenir. Çip üzerinde bir kent vardır artık.

Muhtemelen çoğu kişi mikroçiplerin ilkin ABD, Japonya veya Güney Kore’de ortaya çıktığını düşünüyordur. Ama doğdukları yer İngiltere’dir. Dünyanın birçok bölgesinde üretilen elektronik aygıtlarda kullanılan çiplerin ezici çoğunluğu, Cambridge merkezli bir şirketçe tasarlanır. ARM şirketi, 1985’te Acorn Computers ismiyle işe başlamıştır. ABD’deki Intel gibi büyük çip üreticileri, çabalarını masaüstü bilgisayarlar yani PC’ler için daha hızlı ve kompakt çipler üretmeye yoğunlaştırırken ARM tümüyle farklı bir yöne hamle yapmış ve çipin üzerine *bütün bilgisayarı* sığdırma yaklaşımına gitmiştir. Bu gelişme, uydu navigasyon cihazlarından oyun konsollarına ve cep telefonlarına kadar çok sayıda kompakt ve mobil aygıtın üretilmesine önayak olmuş, çipleri özel kullanımlı ve hantal bilgisayarlardan alarak *günlük hayata* taşımıştır.

Büyük patlamalı hesap

Çip üzerindeki bileşenlerin ne kadar küçültülebileceği, maskeden geçen ışığın türüne bağlıdır. Çip üreticileri, morötesi ve X-ışınları gibi daha küçük deliklerden geçebilen daha kısa dalga boyundaki ışıklardan yararlanarak, bileşenlerin boyutlarını da kademeli olarak küçültebilmiş, hatta ışık yerine dalga boyu daha küçük olan elektron demetlerini kullanmaya başlamışlardır.¹² Çipler de gitgide daha güçlü hale gelmiştir.

1965'te ABD'nin çip üretim şirketi Intel'in kurucularından Gordon Moore, belirli bir bedel karşılığı elde edilebilen bilgisayarlı gücün –ya da bir çip üzerindeki transistör sayısının– her on sekiz ayda kabaca ikiye katlandığını söylemişti.¹³ InfoWorld dergisinin teknoloji yazarlarından Robert X. Cringley'nin bu konudaki yorumu ise şöyledir: “Arabalar bilgisayarların gelişim döngüsünü izlemiş olsaydı, bir Rolls-Royce bugün 100 dolara satın alınır, size galon başına bir milyon mil sürüş olanağı tanır ve yılda bir kez patlayarak içindeki herkesin ölümüne neden olurdu.”¹⁴

Moore Yasası'nın dile getirilişinden bu yana yasanın çökmek üzere olduğu iddiaları her on yılda bir gündeme gelir. Ama bugüne kadar haklı çıkan olmamıştır.

Ancak kuşkusuz Moore Yasası günün birinde çökmeye mahkumdur. Çünkü bu sosyolojik yani insan yaratıcılığıyla ilgili bir yasadır. Ama insan dehası ve yaratıcılığı bile imkânsız başaramaz. Doğa yasalarınca konmuş ve bilgisayarların da nihai sınırlarını belirleyen fiziksel sınırlamalar vardır. Ve bu yasaları atlatmak imkânsızdır.

Bir bilgisayarın hızını, yani saniyede gerçekleştirebildiği mantıksal işlem sayısını sınırlandıran değişkenin, eldeki toplam enerji olduğu görülür.¹⁵ Günümüzdeki dizüstü bilgisayarlar görece yavaştır, çünkü yalnızca transistörlerdeki elektrik enerjisini kullanabilirler. Fakat bu enerji, bilgisayarın kendisini kararlı tutacak işlemleri sağlamaktan başka işe yaramayan *kütlesi* içinde hapsolmuş enerjinin yanında son derece küçüktür. Gerçekten kusursuz bir dizüstünün, mevcut bütün enerjisini işlemlerde kullanıp kütlesine hiç enerji ayırmaması beklenir. Bir başka deyişle, Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ formülü uyarınca, kütle enerjisinin ışık enerjisine dönüşmesi gerekir.¹⁶

Böyle bir aygıtın tüyler ürpertici bir işlem gücü olurdu. Günümüzdeki en gelişkin bilgisayarların evrenin yaşına denk bir sürede yapabilecekleri bir hesaplamayı, saniyenin on milyonda biri içinde gerçekleştirebilirdi. Ama elbette bir bedel karşılığında. Mevcut bütün enerjisi hesaplama için ışık enerjisine dönüşürse, o bilgisayar da bildiğimiz türden bir bilgisayara uzaktan yakından benzemeyen, tümüyle başka bir şeye dönüşmüş olur: sıcaklığı milyar

dereceyi bulan bir ışık topuna. Bir nükleer ateş topuna, Büyük Patlama'nın gözleri kör edecek parlaklıktaki bir parçacığına. Sonuçta, masanızın üzerinde akla gelebilecek en güçlü bilgisayarın durması düşüncesi ilk bakışta cazip görünse de, bunun pek öyle kullanışlı olacağı söylenemez.

IO:

ZAMANDA YOLCULUĞUN İCADI

Para

Para bir metal parçası değil, güvenin yazıya
dökülmüş halidir.

NIALI. FERGUSON, *Paranın Yükselişi*

İnsanlar paranın nasıl ortaya çıktığını
anlasalardı, kahvaltıya kalmadan bir devrim
gerçekleşirdi.

HENRY FORD

“Gençken paranın hayattaki en önemli şey olduğunu sanırdım,” diye yazmıştı Oscar Wilde, “Ama artık yaşlandım, öyle olduğunu biliyorum.” Oscar Wilde, dünyayı döndüren şeyin ne olduğunu anlayan ne ilk ne de son kişidir. Peki ama nedir para? Nasıl ortaya çıkmıştır?

Çoğu kişi parayı mal ve hizmet alımı için bir takas aracı olarak kullandığımızı söyleyecektir: Mallarınıza karşılık size paramı veririm. Ya da mallarımın karşılığı olarak siz bana paranızı verirsiniz. Dolayısıyla “Para nedir?” sorusunun ardında daha derin ve temel bir soru yatar: “Takas nedir?”

Zamanı 100.000 yıl geri saralım. Atalarımızdan biri balık avlıyor, komşusu da balta yapıyor. İkisinin de hem balığa hem de balta ihtiyacı var. Diyelim ki balıkçı, baltacının dört balta yaptığı sürede sekiz balık yakalıyor. Zamanının yarısını dört balık yakalamak, diğer yarısını balta yapmak için kullanabilir. Ancak balta yapımında baltacı kadar becerikli ve hızlı olmadığı için yaptığı baltalar o kadar iyi olmuyor. Aynı şekilde baltacı da zamanının yarısını iki balta yapmak, diğer yarısını balık yakalamak için kullanabilir. Ama o da balık yakalamada usta olmadığı için ancak iki balık yakalayabiliyor.

Derken adamlardan birinin aklına dâhiyane bir fikir geliyor ve arkadaşını da ikna ediyor: “Her ikimiz de iki işi birden yapacağımıza, yalnızca en iyi yaptığımız şeyi yapsak ve sonra da ürünlerimizi *takas* etsek?” Öyle de yapıyorlar. Balıkçı sekiz balığından dördünü, baltacının baltalarından ikisi karşılığında onunla takas ediyor. Sonuçta elinde dört balık, iki de balta oluyor ve bu da, hem balık yakalayıp *hem de* balta yapması durumunda sahip olacağı dört balık ve tek baltadan daha iyi. Baltacının elinde de dört balık, iki balta var. Hem balta yapıp hem balık avlasa sahip olacağı iki balık ve iki baltadan daha fazla.

Mucize gibi. İkisi de bu işten kârlı çıktı. Nedeniyse basit bir eylem: takas.

Balıkçı ve baltacı, ikisi için de avantajlı olacak bir başka takas oranı üzerinde de anlaşabilirler elbet. Balıkçı, baltaları kendi yapması durumunda kaç balta sahibi olarsa yine o kadar baltayla kalsa bile, baltacıdan aldıklarının daha kaliteli olması olasılığı yüksektir. Benzer şekilde, baltacının elindeki balıkların sayısı kendi yakaladığı zamankiyle aynı bile olsa, balıkçıdan aldıkları büyük olasılıkla daha büyük ve lezzetli olacaktır; ne de olsa onları kendisinden daha iyi ve deneyimli bir balıkçı yakalamıştır.

Bu şekilde takas, iki tarafın da dürüst ve güvenilir olmasına dayanır. Baltacı sözünde durmayarak balıkları alıp baltaları veremeyebilir. Balıkçı ve baltacı aynı grubun ya da kabilenin üyeleriye, iki tarafın da sözünde durmasını sağlayacak zemin hazır olabilir. Hiç değilse erkeklerin avladıkları hayvan eti ile kadınların topladığı meyve ve yemişler değiş tokuş ediliyordur. Diğer yandan, kadınlar eş bulmak için başka kabilelere katılıyorlarsa takas alanı yavaş yavaş genişleyebilir. Hile olasılığını tümüyle ortadan kaldırmak mümkün olmasa da, bu yönde bir eğilimi bastıracak güçlü teşvik unsurları devreye sokulmuş olabilir.

Balıkçı ve baltacı arasındaki alışverişin bazı sınırları vardır, çünkü bu, iki kişinin yüz yüze olmasını gerektirir. Takas fırsatlarını arttırmanın bir yolu, takasa uygun mallara sahip insanları tek yerde bir araya getirmektir. Pazar yeri tam da bu amaca hizmet eden bir buluştur. Eğer belirli bir bölgede birkaç balıkçı ve birkaç baltacı varsa (ki bunlara boncuk ustaları, kürk tedarikçileri, meyve toplayıcılar vb. eklenebilir) bu kişiler takas amacıyla düzenli aralıklarla bir yerde toplanabilir, takas oranları da arz ve talebe göre belirlenebilir. Sözelimi balık sayısı az, balık isteyen baltacı sayısı çoksa, balıkçı kendisine en fazla sayıda baltayı teklif eden baltacıyla takas yapacaktır. Balık sayısı çoksa da, alıcıları çekmek isteyen balıkçılar, başka eşyalar karşılığında çok sayıda balık takas etmeyi göze alacaktır.

Ancak ticaret, mal takasından öte bir şeydir. Bu, *uzmanlık* kazanmış insanlar arasında yapılan takastır. *Balıkçılıkta uzmanlaşmış* bir balıkçıyla *baltacı yapımında uzmanlaşmış* baltacı arasındaki

takas gibi. Bu türden bir uzmanlaşma olmaksızın karşılıklı yarar amaçlı takas ya da ticaret söz konusu olamaz.

Ticaret, daha fazla uzmanlaşmayı teşvik eder. Balıkçı daha etkili ve verimli şekilde avlanabilmek için daha iyi kancalar ister. Eğer güçlü yönü balıkların yerini saptamaksa, buna yoğunlaşıp kanca ya da ağ yapımında uzmanlaşma fırsatını başka birine bırakması daha akıllıca olabilir.

Takas ve uzmanlaşma, giderek daha fazla uzmanlaşmayı beraberinde getirir; bu da daha fazla takas ve daha da fazla uzmanlaşmayı... Bu iki olgu, frensiz bir döngü içinde birbirinden beslenir ve bu öyle bir döngüdür ki, bir kez başlamayagörsün, durdurulamaz bir ivmeyle sürer gider. Nasıl doğal seçim yoluyla evrim, çevremizdeki biyolojik dünyayı yarattıysa, ticaret ve uzmanlaşma kavramları da dünyayı dönüşüme uğratmış ve günümüzün ticari dünyasına biçim vermiştir.

Çevrenize şöyle bir bakın. Günümüzde neredeyse herkesin bir işi yani uzmanlaşmış olduğu bir görevi var. Herkes kendi iş gücünü, başka şeylerde –avokado üretiminde, ampul yapımında, elektrik dağıtımında– uzmanlaşmış başka insanların sağladığı mal ve hizmetler karşılığında takas edip duruyor. Ticaret ve uzmanlaşma, birbiri üzerinden beslenip karşılıklı güçlenerek günümüz dünyasında akıllara durgunluk verici, olağanüstü uçlara taşınmış durumda. Çok büyük çoğunluğuyla hiç karşılaşmamış olduğumuz, dünyanın her köşesinden binlerce –belki de milyonlarca– kişinin uzmanlığıyla ortaya çıkmış ürün ve hizmetlerden yararlanıyoruz.

Görünüşe bakılırsa ticaret ve uzmanlık yalnızca insanlara özgü bir durum. Aynı şeyi insansı maymunların da yaptığını günün birinde keşfetsek bile bunu çok daha kısıtlı derecelerde yapıyor olacaklardır. Ne de olsa dünyayı dönüşüme uğratmış olan onlar değil, bizleriz. Karınca ve arı gibi sosyal böceklerin, yüz milyonlarca yıldır kendi aralarında takas ve uzmanlıktan yararlandıklarını biliyoruz elbette (güneşin altında yeni bir şey yok gerçekten). Fakat bu hayvan toplumları yalnızca belirli işleri yapan sınırlı sayıda grupta öylece kalmıştır. İnsanlar bu konuda esnek olan tek gruptur. Gerekli eğitim ve fırsat sunulduğunda, bir insan ister bir veteriner, ister bir pilot, isterse de bir öğretmen olmak üzere yetiştirilebilir.

Fakat günümüzün ticari dünyası, yalnızca ticaret ve uzmanlığın eseri değildir. Yol boyunca daha pek çok yenilik ve dönüm noktası yaşanmıştır. Her biri ticareti güçlendirip uzmanlaşmayı hızlandıran bu gelişmelerden belki de en önemlisi paradır.

Para, para, para

Doğrudan takas ile ilgili sorunlardan biri, *hemen şimdi* yapılmak zorunda olmasıdır. Balıkçı balıklarını bir an önce takas etmelidir, yoksa balıklar bir iki güne kalmadan bozulacaktır. Peki ama ya balıkçı balıklarını kürkle takas etmek istiyor ama kürkünün pazar yerine birkaç haftadan önce gelmesi beklenmiyorsa?

Bir zamanlar, daha doğrusu binlerce yıl önce, birileri bir başka dâhiyane fikirle ortaya çıktı: “Sana balıklarının karşılığı olarak şu fişi veriyorum. Daha sonra bunu meyve, kürk ya da balıkların eşdeğeri herhangi bir şeyle takas için kullanabilirsin.” Bu fiş elbette paraydı. Böylece ticaretin olasılıkları katlanmış oldu. Para, ticaretin *zaman yolculuğu* yapmasını mümkün kılıyordu. Sanki birileri, tacirlerin geleceğe yolculuk yapıp mallarını orada takas edebilecekleri bir Tardis* icat etmişti. Ekonomistler ise para için daha renksiz bir dille, “değer saklayıcı” ifadesini kullanır.

Doğrudan takasla ilgili sorunlardan biri de, bu işi yapmak için iki ya da daha fazla sayıda kişinin aynı zamanda aynı yerde –pazar yerinde– bulunma zorunluluğudur. Ama diyelim ki kişilerden birinin takas edeceği şey büyük ve ağır (örneğin mısır tanelerini öğütmede kullanılabilecek bir öğütme taşı) ve karşılığında almak istediği şey de boncuk. Dağları aşip boncukları bulabileceği pazara varması da bir gününü alacak. İşte tam bu noktada, uzak geçmişte birileri şu dâhiyane fikri ileri sürdü: “Sana öğütme taşının karşılığı olarak şu fişi vereyim; sonra nereye gidersen git, bunu boncuk, çömlek ya da istediğin herhangi bir şeyle takas edebilirsin.” Bu fiş yine paraydı. Bu yenilik de ticaretin olanaklarını katladı. Para ticaretin *mekânda yolculuk* yapmasını sağlamış oldu. İnsanlar uzak yerlere yolculuk yapıp mallarını orada takas etmek için sanki bir anda bir *Uzay Yolu*

* İngiliz bilimkurgu dizisi Dr. Who’da kullanılan zaman makinesi ve uzay aracı. (ç.n.)

ışınlama cihazını kullanabilir olmuştu. Ekonomistler bunu da daha renksiz bir dille “takas aracı” olarak ifade eder.

Ama paranın sunduğu imkânlar, ticareti farklı zaman ve mekânlarda mümkün kılmakla kalmaz. Diyelim ki birine bir iş yapıyorsunuz ve bu kişi, siz işi bitirdikten bir ay sonra size belirli bir malla –örneğin bakır ya da buğday– ödeme yapmaya söz veriyor. Akla uygun bir teklif. Ancak bu tür malların değeri arz ve talebe bağlı olarak değişebilir. Bu ise sizin ödeme olarak ne alacağınızı önceden bilmemeniz demektir; bu nedenle bütçenizi ayarlamanız da güçleşir.

Ama para bunu değiştirebilir. Ödemeniz para ile olacakssa tam olarak ne alacağınızı önceden kesin olarak bilirsiniz. Tabii Birinci Dünya Savaşı sonrası Almanyası’nda olduğu gibi hiper-enflasyon ortamında yaşamıyor olmanız koşuluyla. Ekonomistler, paranın bir “değer standardı” olduğunu söyler.

Tabii para bir değer standardı olarak kullanılacaksa, dolaşımdaki miktarı da fazla değişmemelidir; çünkü herhangi bir malın azlığı değerini artırırken, bolluğu da düşürür. Paranın ilk örneklerinden biri, kaynağının iyi bilinmesi ve elde etmek için kullanılan teknolojinin de görece sabit bir stok sağlaması nedeniyle tuz olabilir. Romalı askerlere tuz –ya da *sal*– ile ödeme yapıldığını biliyoruz. İngilizce maaş anlamına gelen “salary” sözcüğü de *sal* kökünden gelir.

Tuz, parada bulunması gereken başka özelliklere de sahiptir. Para öncelikle kolay *taşınabilir* olmalıdır. Bunun yanında bölünebilir de olmalıdır ki daha sonra kullanılmak üzere para üstü olarak geri alınabilsin. Takas oranının “bir balta için dört balık” olarak belirlendiği ama balıkçının elinde yalnızca üç balık olduğu bir durumda ortaya çıkacak açmazı bir düşünün. Oysa paranın bölünebilir olması, baltacının baltasını üç balıkla takas edip daha sonra da kullanabileceği bir para üstü almasına imkân tanır.

Altın, bankalar ve senetler

Tuz, çoğu kişinin de katılacağı gibi, ideal bir para biçimi değildir. Daha iyi bir alternatif sikke altındır. Paranın bir tür borç hesabı

birimi olarak MÖ 3000’li yıllardan beri kullanıldığı biliniyorsa da, ilk altın paralar Yunanistan’da, ancak MÖ 700 dolaylarında ortaya çıkmıştır.

Altının olumsuz tarafı ağır olmasıdır; hele de zenginseniz. Ancak bunun üstesinden gelmenin de bir yolu vardır. Diyelim ki bazı mallarınızı altınla –bol bol altınla– takas etmek üzere bir altın sarrafına gittiniz. Sarraf da size dedi ki: “Bir fikrim var. Bu ağır külçeleri sırtına yığmaktansa sana bir senet vereyim. Böylece, altını elinde tutmasan da burada senin için sakladığımdan emin olabilirsin. Ne zaman almak istersen gelir ve bana senedi gösterirsin; ben de sana altını veririm.”

Almak istediğiniz bir şey olduğunda, sarrafa gidip ona senedi sunacak ve altınınızı alıp daha sonra mallarla takasta kullanacaksınız. Ama er veya geç daha iyi ve daha uygun bir yol olduğunu fark edeceksiniz. Senedi, takas yaptığınız kişiye verebilirsiniz. Ve o da bunu sarrafa verip altını *kendisi* alabilir.

Altın sarrafı, belki kendisi bile farkında olmadan bir bankaya –altını saklayan ve farklı bir para türü ortaya çıkaran bir birime– dönüşmüş durumdadır. Eğer başka müşteriler için de altın saklayıp senet düzenleme yoluna giderse, herkesin altınını aynı anda geri isteme olasılığının çok düşük olduğunu er geç anlayacak ve bankadaki altına oranla daha fazla sayıda senet düzenleyecektir. Ama eğer 2008’deki küresel bankacılık krizini tetikleyen birçok günümüz bankasının aksine biraz sağduyu sahibiyse, altın sahiplerinin önemli bir oranının altınlarını aynı anda talep edebilecekleri sıra dışı bir duruma karşı da hazırlıklı olacak ve yeterli büyüklükte bir altın stoku bulundurmaya dikkat edecektir.

Para nasıl çok yönlüyse, bankalar da öyledir. Para üretip değerini garantilemenin yanında önemli bir işlev daha üstlenirler: borç alanlarla verenler arasında aracı olmak. Borç verenler, hemen harcamak istemedikleri fazladan paraları olup bunu bankaya yatıranlardır. Borç alanlar ise belirli bir girişim –belki iş kurmak, belki ev almak– için paraya ihtiyaç duyanlardır. Gerekli parayı ilerleyen aylar ya da yıllar içinde kazanacaklarını umarlar. Ancak paraya *hemen şimdi* ihtiyaçları olduğundan borç alırlar.

Bu ilk bakışta gelecekte –gelecek kazançlardan– şimdiye para aktarmak gibi görünebilir; fakat aslında herhangi bir anda

tüketimde kullanılabilecek para miktarı sabittir. Mesela kredi ile ev aldıysanız ve bunun ödemelerini yapıyorsanız, tüketmek için bir o kadar az paranız var demektir. Diğer yandan banka sizden aldığı ödemeleri başka müşterilerine borç verir, onlar bu parayı tüketir. Böylece parayı sizin yerinize başkaları tüketmiş olur. Sonuçta gelecekte net bir para aktarımı söz konusu değildir.

Borçlanan kişinin geri ödeme yapmaması riskini göze almanın karşılığı olarak banka, borç verilen miktardan daha fazlasını talep eder. Ayrıca, kâr da etmek zorundadır. Bu faizin bir kısmı borç verenlere iletilir ki paralarını bankaya yatırmak onlara cazip gelsin.

Banka olgusunun nasıl bir yenilik olduğunu kavrayabilmek için daha önce işlerin nasıl yapıldığına bir göz atalım. Eskiden bir girişiminize –örneğin baharat almak için Doğu Hint Adaları’na yapılacak bir sefere– maddi kaynak sağlamak için çok zengin bir destekçi bulmanız gerekirdi. Bu tür kişilerin sayıca çok az olmasının yanında, böyle birini bulsanız bile, riskin çok büyük olduğu gerekçesiyle sizi desteklemekten büyük olasılıkla kaçınırdı.

Şimdi de bu durumu bankaların doğuşundan sonraki işleyişle karşılaştırın. Girişiminize kaynak sağlamak için bir bankaya –ki bir sürü seçenek vardır– gidersiniz. Çok sayıda borç verenin kaynaklarını bir araya getirmiş olduklarından, sizinki gibi birçok girişime fon sağlayacak kaynaklarının olmasının yanında, risk de dağıtılmış olur. Borç verenlerin her birinin kaybedeceği miktar, tek bir büyük yatırımcının kaybedeceğinden çok daha azdır. Kaldı ki girişimlerin çoğunun başarılı olma ihtimali yüksek olduğundan, banka belirli sayıda başarısızlığı göze alabilir.

Bankaların şaşırtıcı özelliklerinden biri, insanların yatırdıkları paraları hiçbir zaman gidip aynen borç olarak başkasına vermemeleridir. Bu para, olası kayıplara karşı bir önlem olarak ve günlük kasa işlemlerinde kullanılmak üzere saklanır. Bunun yerine, bankalar parayı *yaratır*. Ekonomist John Médaille’ın ifadesiyle, “para, borç alma eylemiyle varlığa kavuşur.”¹

Çiftçi ve bankacının durumlarını karşılaştıralım. “Çiftçi, ancak mısır yetiştirmek gibi zorlu bir çalışmayla parasını çoğaltabilir,” der Médaille. “Bankacının parasını, en azından varlıklarını arttırması ise bilgisayarda bir iki düğmeye basmasına bakar.” 2008 ekonomik krizinden ciddi biçimde etkilenen bazı bankaların

kullandırdıkları kredi miktarı, sahip oldukları rezerv ve özkaynak toplamalarının 30 katına kadar ulaşmıştı. Karşılaştırmak gerekirse, on dokuzuncu yüzyıl bankaları için bu oranın ortalaması beş bile değildi.

Bankalar kredi verirken aldıkları riski azaltmak için kredi derecelendirme kuruluşlarından yararlanır. Bankanın aldığınız borcu büyük ihtimalle geri ödeyeceğinizi bilmesi gerekir. Kredi derecelendirme kuruluşları, ticaretle uğraşanları koruyan birçok başka görünmez altyapı unsuruyla birlikte, ticari düzeneğin çarklarını yağlamak için gereklidir. İnsanlar sözgelimi başka bir ülkeden biriyle ticaret yaptıklarında, karşılarındakinin ödeme gücü olduğunu ve malı alıp ortadan kaybolmayacağını bilmek isterler. Kredi kartı kullanımı bunun güzel bir örneğidir.

Kredi kartları bir tür kısa vadeli kredi hizmeti sunar. Kişi bazı ürünler satın almak için çok kısa dönemli ve genelde bir aydan kısa sürede ödenen bir borç almış olur. Kredi kartları dünyanın her yerinde ürün almak için kullanılabilir. Satıcı ödeme olarak kartı kabul eder, çünkü kartı veren kuruluşun kart sahibinin ödeme gücünü doğrulamış olduğuna güvenmektedir. Kuruluş bu konuda yanılmış bile olsa satıcı bilmektedir ki, riski üzerine almış olan kuruluş ödemeyi her durumda taahhüt etmektedir.

Yükseliş ve çöküşler

Yaşadığımız ticari dünyaya giden yolda bankanın ve paranın yanında daha birçok kilometre taşı vardır. Bunların her biri, ticareti hem miktar hem de sıklık bakımından değişen düzeylerde olmak üzere güçlendirmiştir. Hâlâ yoksulluk içinde yaşayan çok sayıda insan var. Ama binlerce yıldır süregelen ticaret sayesinde ortalama insanın yaşam standardı gitgide yükselmiştir. Günümüzde Birinci Dünya ülkelerindeki sıradan bir evde, birkaç yüzyıl önce ancak bir kralın sahip olabileceği türden mal ve eşya çeşitliliğine rastlanır.

Ne var ki günümüz yaşam standardı yalnızca giderek genişleyen küresel ticaret ağıyla ortaya çıkmamıştır. Ticaretin genişlemesine paralel olarak, kişi başına tüketilen enerji miktarı da artmıştır. Eskiden kişinin kendi ya da sıklıkla kölesinin iş gücünü

kullanmaktan başka çaresi yoktu. Daha sonraları atların evcilleştirilmesiyle insanlar belki on kişinin enerjisine eşdeğer bir enerjiden yararlanabilir oldular. Bu oran yel değirmenleri ve gücünü sudan alan fabrikalar gibi teknolojik yeniliklerle katlanarak arttı. Fakat kişi başına tüketilebilen enerjide en belirgin artış, kömür gibi fosil yakıtların kullanımıyla geldi. Yüz milyonlarca yıl önce toprağın altında kalmış olan bu yakıtlar, bir zamanlar güneş ışığını emen, öldükten sonra da gömülerek yerkürenin derinlerinde sıkışan ağaçlardır. Fosil yakıt kullanımı, kişi başına belki de 150 kişinin enerjisine eşdeğer bir enerjiye ulaşım olanağı sağlamıştır. Yel ve su değirmenleri *bugünün* güneş ışığını kullanır; çünkü rüzgârlara neden olan ve suyu buharlaştırarak yağmur olarak yağmasını sağlayan şey sonuçta güneştir. Kömür ise *dünün güneş ışığını* bugünün ekonomisine bir kaynak olarak sunar.

Ortalama insanın yaşam standardını zaman içinde yükselten şeyin ticaret mi yoksa enerji kaynakları mı olduğu tartışmalıdır. Ticaret kömür madenciliğini ve nükleer santral yapımını ekonomik olarak anlamlı kılarken, ulaşılabilir hale gelen enerji de ticareti güçlendirir.

Fakat yine de mali bakımdan ortalığın güllük gülistanlık olduğunu söyleyemeyiz. Dünyada çok sayıda insanın hâlâ yoksulluk çekmesi bir yana, küresel mali sistem de her zaman ani yükselişten ani çöküşlere gebedir. Bu yönelimin nedenleri birçok tartışmaya konu olmuştur. İnsanlar yükseliş zamanlarında aşırı iyimserlikle hadlerinden fazla borçlanıp yatırım yaparak ekonomiyi besler. Çöküş zamanında ise ödeyecek borçları olduğundan yatırım yapamazlar ve normalde olsa yapacakları yatırımlardan ekonomiyi mahrum bırakırlar. Bu yüzden mali döngünün zirveleri normalde olacağından daha yüksek, çöküntüleri de daha derin olur. Fakat bu durum ekonomik çalkantıların daha şiddetli olmasını açıklayabilir, yükseliş ve çöküşlerin ardındaki *nedeni* açıklamaz.

Bu konuda sık dile getirilen bir olasılık, bu dalgalanmaların dış kaynaklı şoklara bağlı olarak meydana geldiğidir. Buna göre işler tıkr tıkr yürürken, birden ortaya her şeyi alt üst eden bir teknolojik yenilik çıkar; meşhur dot-com yükselişini tetikleyen ve ardından kaçınılmaz olarak dot-com çöküşünü getiren internet gibi. Yükseliş ve çöküşlerin olası bir nedeni de, belli ürünleri üretecek

fabrikaların yapımına yatırım yapılması olabilir. Fabrikalar çok sayıda kişi istihdam eder. Ancak sonunda bu malları üreten o kadar çok fabrika ortaya çıkar ki, üretilen miktar ihtiyacın ötesine geçer ve bu aşırı üretim de insanların işten çıkarılmasıyla sonuçlanır. En nihayetinde, yatırım çılgın gibi artarken insanların tükettiği miktar aynı oranda artmaz.

Bir başka olası neden ise belirli ürünler için talep azaldığında tedarikçilerin fiyat düşürmeye yanaşmamasıdır. Bunun bir nedeni, yevmiyelerin azalmasına gösterilecek tepkilerden çekinmeleridir. Yevmiyelerin ve ürün fiyatlarının düşürülmesiyle talep belki yenden canlandırılabilirken, talep düşer ve insanlar işlerinden olur.

Bazı ekonomistler bu yükseliş ve çöküşlerin periyodik olduğunu iddia etseler de, bunları kontrol etmek mümkün değil gibi gözükmektedir. Akla şu soru geliyor: Yaratmış olduğumuz karmaşık ve çoklu bağlantılara sahip ticari dünyayı gerçekten anlıyor muyuz? Yanıt endişe verici biçimde olumsuzdur. Kanadalı ekonomist John Kenneth Galbraith'in ifadesiyle, "Ekonomi, ekonomistlere iş alanı sağlaması açısından son derece yararlı bir bilim dalıdır."

İngiltere'nin en eski ticari bankası Barings'i batıran "dolandırıcı borsacı" olarak nam salmış Nick Leeson, 30 Eylül 2012'de *The Sunday Times* gazetesi ile yaptığı söyleşide, "Para ile ilgili olarak aldığınız en önemli ders nedir?" sorusuna şöyle cevap vermişti: "Para hakkında hiçbirimizin yeteri kadar bilgi sahibi olmadığı."

II:

BÜYÜK DÖNÜŞÜM

Kapitalizm

Kapitalizm, insanların en kötüsünün,
yapılabilecek en kötü şeyleri herkesin azami
iyiliği için yapacağı yolundaki, akıllara
durgunluk veren inançtır.

JOHN MAYNARD KEYNES

Kapitalizmde insan insanı sömürür.
Komünizmde ise bunun tam tersi olur.

JOHN KENNETH GALBRAITH

Amerikalı yazar Upton Sinclair, kapitalizmin, faşizm eksi cinayet olduğunu ima etmişti. Belki biraz aşırı bir yorum olsa da “kapitalizm nedir?” sorusunu akıllara düşürüyor. Dünyadaki insanların çoğunun katılımıyla işleyen bir ticaret sistemi olduğu halde, çok az kişi kapitalizmin ne olduğunu ve nasıl tanımlamak gerektiğini durup düşünür.

Kapitalizmin ana direği, pek de şaşırtıcı olmayan biçimde, kapitaldir. Yani ticari mallar, arsalar, fabrikalar ve benzer şeyler. Karl Marx’ın ifadesiyle “üretim araçları.” Kapitalizmde insanlar kapital, bir başka deyişle sermaye sahibi olmakta özgürdür. Kanıksadığımız için bu bize çok da önemli bir özgürlük gibi gelmeyebilir. Ancak kapitalizmi özel mülkiyetin yasaklanmış olduğu komünizmle ya da yalnızca seçkin zümrenin mülkiyet hakkına sahip olduğu ortaçağ feodalizmiyle kıyasladığımızda fark kendini gösterir.

Sermaye sahibi olma özgürlüğü, kapitalizm tarifinin sadece bir yarısıdır. Diğer yarısı ise bu sermayeyi kâr amacıyla ticarete kullanma özgürlüğüdür.

Kapitalizmin uygulamada nasıl işlediği karmaşık bir konudur. Fakat kapitalizmin bazı ortak mitlerini vurgulamak, iç işleyişine ışık tutmada yardımcı olacaktır.

Küresel kapitalizm, pazar adı verilen geniş bir ticaret ağı ortaya çıkarmıştır. Pazar, mal arzı ile o mallara olan talebi otomatikman en iyi biçimde eşleştirir – en azından teoride. Etkin biçimde işlemesi için pazar özgür olmalı, yani siyasi ya da herhangi başka türden bir düzenlemeye tabi olmamalıdır. Bu ifade, serbest pazar kapitalizminin her derde deva olduğunu savunan nüfuz sahibi bir grup insanın sloganı durumuna gelmiştir. Serbest pazar fikrinin kökeni, 1776’da düşünce tarihinin en etkili kitaplarından birini yayımlayan İskoç felsefeci ve ekonomist Adam Smith’e uzanır. Smith, *Ulusların Zenginliği* ya da tam adıyla *Ulusların Zenginliğinin Doğası ve*

Nedenleri Üzerine bir İnceleme kitabında serbest pazarın ekonomi için en iyi model olduğunu savunur.

Kapitalizmin mitleri

Tanımına tam uyan bir serbest pazarın mitten ibaret olduğunu Smith bile itiraf etmiştir. Bu, insanların büyük çoğunluğunca kabul edilemez bulunacaktır. Serbest pazar, sözgelimi ne var ne yok her şeyin ticaretine izin verir – çocuk işgücü dahil. Bir zamanlar İngiltere ve bazı ülkelerde böyle bir ticaret gerçekten de uygulanmıştı. Ancak şimdilerde çocukları işçi olarak kullanmanın kabul edilemez olduğu yönünde evrensel denebilecek bir görüş birliği söz konusudur ve bunu önlemek için sıkı düzenlemeler vardır.

Hangi tür emeğin ticaretinin yapılabileceği konusundaki düzenlemelerin yanında, toplum için tehlikeli kabul edilen eroin veya plütonyum gibi ürünlerin ticaretini sınırlayan ya da yasaklayan düzenlemeler de vardır. Üstelik ticarete uygun mal ve ürünlerin yanında, ticaret yapmasına izin verilen şirketler de yasalarla düzenlenir. Sözgelimi bir şirketin hisselerini satabilmesi için borsaya kayıtlı olması, ancak bunun da öncesinde beş yıla kadar uzayabilen sıkı bir güvenlik incelemesi sürecinden geçmesi gerekir. Sonunda borsaya açılrsa bile hisselerini ancak, onaylanmış aracı kurumlara satabilir. Hisselerin belli bir değerin altına düşmesi durumunda ise hisse alım-satımı belirli bir süre için tatil edilebilir.

Eşitsizliğin Bedeli kitabının yazarı Joseph Stiglitz, “Pazar güçleri boşlukta tek başlarına var olmaz,” der, “onlara biz şekil veririz.”¹ *Kapitalizm Hakkında Size Söylenmeyen 23 Şey*² kitabının yazarı Ja-Hoon Chang ise kitabında şu ifadeye yer verir: “Tüm pazarlar inşa edilmenin ve düzenlemeye tabi olmanın ötesinde, sürekli bir müdahaleye de tabidir.”

Pazarların siyasi kararlarla nasıl tanımlanıp dizginlendiğinin belki de en çarpıcı örneği, işçi yevmiyelerinde karşımıza çıkar. İşçilerin ücretlendirilmesi ülkeden ülkeye büyük farklılıklar gösterebilir. Yaşadığı ülkede kazandıklarıyla neler alabildiğini ölçek

* The Price of Inequality, Çev. Ozan İşler, İletişim yayınları, 2014.

** 23 Things They Don't Tell You About Capitalism, Çev. Belgin Tupal, Say Yayınları, 2011.

olarak alırsak, örneğin Londra'daki bir taksi şoförü, Bangladeş'in Dakka kentindeki bir taksi şoförünün kazandığının otuz katı kazanıyor olabilir. Oysa gerçekten serbest pazar olsaydı, tüm taksi şoförlerinin ücretleri de üç aşağı beş yukarı aynı olurdu. Sonuçta kazancından memnun olmayan Dakkalı taksi şoförü, çok daha fazla kazanabileceği Londra'ya gidebilirdi. Şoförler daha iyi bir kazanç arayışı içinde dünya ülkeleri arasında gidip gelebilseydi, eninde sonunda hepsinin ücretleri eşitlenirdi.

Gelgelelim, çoğu ülkenin göçmenlere karşı diktiği yüksek ve aşılmaz duvarlar yüzünden taksi şoförlerinin istedikleri anda istedikleri ülkeye gitmeleri mümkün değildir. Farklı ülkelerde ücretlerin bu kadar değişkenlik göstermesinin temel nedeni de budur.

İnsanların emeklerinin karşılığı gibi temel bir şey bile pazar güçlerince değil de siyasi kararlarla belirleniyorsa, serbest pazar denen şey hayali bir yaratık olsa gerek. Pazar, dünyanın her yerinde dışarıdan dayatılan düzenlemelerle sıkı sıkıya dizginlenir. Hiçbir yerde serbest olmadığı gibi, hiçbir uygar ülke de serbest olmasına izin vermez.

Serbest pazar mitinin sonuçları

Serbest pazarın malların arzını taleple en iyi biçimde eşleştireceği görüşü, kimi önemli sonuçlar doğurur. Görüşün doğruluğuna inanana, ekonomideki devlet düzenlemelerinin azaltılmasında ısrar eder. Pazar onlara umduklarını vermezse, bunun suçunu piyasanın yeterince serbest olmamasına atarak düzenlemelerin daha da azaltılmasını talep ederler. Ne var ki genel kabul gören düşünce, 2008 küresel krizini tetikleyen şeyin düzenlemelerin azaltılması olduğu, bankalar gibi büyük mali kuruluşların bu sayede çok riskli yatırımlara kucak açabildiği yönündedir.²

Serbest pazar, küresel ekonomiyi tehdit eden riskli yaklaşımlara izin vermenin ötesinde, gelişmekte olan ülkelere dayatıldığında daha olumsuz ve doğrudan etkiler de gösterebilir.

Diyelim ki böyle bir ülke motosiklet endüstrisi kurmak istiyor. Bunun için motosiklet üretimine mali destek sağlarken bir yandan da ithal motosikletlere gümrük vergileri koyarak henüz doğmuş

olan bu endüstriyi koruma yoluna gidebilir. Böyle bir tutum, sıklıkla, gelişmiş ülkelerin Dünya Ticaret Örgütü'ne başvurup, söz konusu ülkenin motosiklet endüstrisinde serbest pazarı önlediği yolunda şikayette bulunmalarına yol açar. Örgüt ise bunun üzerine ticari ortaklara yetki vererek, gümrük vergisini ve koruyucu önlemlerini kaldırmadığı sürece gelişmekte olan ülkeye birtakım yaptırımların uygulanacağı yolunda dayatmalarda bulunmalarına izin verir. Ve tabii dayatmalar sonuç verir.

Sorun emekleme dönemindeki bir endüstrinin, olgunlaşmış bir endüstrinin verimliliğinden henüz çok uzak olmasıdır. Bunun yanında markası da fazla bilinmemektedir ve yeterince saygınlık kazanmamıştır. Sonuçta gelişmekte olan ülkede imal edilen motosikletler, ithal edilen benzerleriyle ne kalite ne de fiyat bakımından boy ölçüşebilecek ve zamanla ölüp gidecektir. Serbest pazar taraftarlarının inançlarının aksine, serbest pazar yoksul bir ülkeyi zenginleştirmemiş, en iyi olasılıkla olduğu yerde kalmasına neden olmuştur.

Buradaki büyük ironi, zengin ülkelerin hepsinin yeni doğmuş endüstrilerini on yıllar süren dönemler içinde *hem* destekleyip *hem* koruyarak zengin hale gelmiş olmalarıdır. Örneğin on dokuzuncu yüzyıl İngilteresi, ithal Hint tekstiline fahiş gümrük vergileri koyarak Hint tekstil endüstrisini yok etmiş, böylece Hindistan'a kendi tekstil ürünlerini satabilmişti. İngiltere bundan önce de on sekizinci yüzyılda Hollanda'ya yetiştirmek için çeşitli koruma tedbirlerini devreye sokmuştu. On dokuzuncu yüzyılda ise ABD İngiltere'yle arayı kapatmak için aynı taktikten yararlandı. "Gelişmekte olan ülkelere serbest pazarı dayatmaya çalışan zengin ülkeler, kendi tarihlerini unutmuş gibidir," der Chang. "Gelişmekte olan ülke vatandaşlarının bu çifte standardı son derece can sıkıcı bulmaları ise şaşırtıcı değildir."³

Görünmez el

Serbest pazar mitine duyulan inancın ardında, böyle bir pazarın arz ve talebi en uygun biçimde eşleştireceği düşüncesi yatar. Pazarın savunucuları bunun "görünmez bir el" aracılığıyla gerçekleşeceğini söyler. Kimsenin tanımlayamadığı bu olgu, çoğuna göre sahne

arkasında yine de işlemektedir. Hatta ABD Merkez Bankası'nın eski başkanı Alan Greenspan, pazarın "kimsenin anlayamayacağı kadar karmaşık" olduğunu bile söylemiştir.

Bir yandan pazarı teşvik ederken, bir yandan da onun anlaşılamayacak kadar karmaşık olduğuna inanmak, milyarlarca kişinin yaşamını öngörülemez bir sisteme teslim etmek demektir. Pazar, son birkaç yüzyıl içinde, dünya nüfusunun önemli bir bölümünün yükselmekte olan ortalama yaşam standardında kuşkusuz önemli bir rol oynamış olsa da, kirlenme, habitat kaybı ve en önemlisi kömür ve petrol gibi fosil yakıt kullanımından kaynaklanan küresel ısınma gibi büyük çevresel sorunlara da neden olmuştur. Pazarın anlayamayacağımız kadar karmaşık olduğunu söylemek, insanoğlunun yazgısının artık elimizden çıkmış olduğunu, geleceğimizin kaderin insafına kaldığını kabul etmek demektir. Eski ABD Başkanı Bill Clinton'a danışmanlık yapmış olan Sidney Blumenthal, "Muhafazakâr yaklaşım, ekonominin iklim gibi olduğunu ve otomatik biçimde işlediğini savunur," açıklamasını yapmıştır.

Pazarın anlaşılamayacak kadar karmaşık olduğu görüşü, baştan çıkarıcı bir görüştür. Bu durumda ekonomistler ve siyasetçilerin pazarın nasıl işlediği –ya da işlemediği– yolundaki zor problemle uğraşmalarına da gerek yoktur nasılsa. Ama Chang'a göre bu yalnızca bir bahanedir: "Ne kadar karmaşık olursa olsun, kötü etkilerini ortadan kaldırabilmek için pazar işleyişini anlamaya çalışmalıyız. Ne de olsa pazar tamamen bir insan ürünüdür."⁴

Depremeler ve pazarlar

Adam Smith'i izleyen ekonomistlerin istisnasız hepsi serbest pazarın bir denge durumunda olduğunu ve insanların çelişkili hedef ve arzularını doğal biçimde dengelediğini düşünmüşlerdir. Ancak bu görüş gerçekte çelişir. 1776 yılını izleyen her on yıl içinde bir kriz, çöküş, gerileme, buhran ya da düşüş bir biçimde kendini göstermiştir.

Ekonomistler sıklıkla, bu tür olayların, pazarı dışarıdan vuran sıra dışı şoklardan ibaret olduğunu söylerler. Ancak örnekler o kadar çoktur ki, bu tür açıklamalar artık yetersiz kalmaya

başlamıştır. “Piyasalarda görülen en tutarlı şey, sık sık yaşanan büyük değişimlerdir,” der fizikçi Mark Buchanan.⁵

Pazarın en çarpıcı özelliklerinden olan ani çöküşleri öngörmeyi başaramayan güncel ekonomik kuramın yetersiz kaldığı inancı, günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır. Çoğu kişiye göre, pazarın doğasında olan dengesizliği de içine katan daha iyi bir ekonomik kurama ihtiyaç vardır. Aslında 1930’lu ve 1940’lı yıllarda Irving Fischer gibi bazı Amerikalı ekonomistler bu görüşü ileri sürmüş, fakat pazarda denge fikrini şiddetle savunan Milton Friedman ve Şikago Okulu’ndaki meslektaşları tarafından derinlere gömülmüştür. Nobel Ödülü sahibi Ronald Coase, “İyi tasarlanmış bir politika, gerçekte var olan duruma benzeyen bir durumdan yola çıkmalıdır,” uyarısında bulunmuştu. “Gerçek bir pazar ise pazarın başarısızlıkları ile doludur.”⁶

Pazar, tuhaf ve sezgiye aykırı bir özellik taşır. Büyük fiyat dalgalanmaları beklenenden daha sık gerçekleşir. Örneğin günlük hayatla ilgili sezgilerimiz bize, çoğu yetişkin erkeğin 60 ila 80, birkaçının 120 ve çok azının da 250 kilogram ağırlıkta olduğunu söyler. Bu örnek, çana benzerliği nedeniyle “çan eğrisi” olarak bilinen Gauss dağılımına uyar. Çanın ortası şişkindir ve kenarlarına doğru inceler. Bu şekil, erkeklerin ağırlıklarını yatay eksene, her bir ağırlıktaki erkeklerin sayısını da dikey eksene işaretlediğinizde elde edeceğiniz şeklin aynısıdır. Tıpkı bir çan gibi, erkeklerin ağırlık dağılımı belirli bir ortalama etrafında toplanırken (çanın ortası), ortalamadan uzaklaştıkça azalır (çanın kenarları).

Bunu pazar dalgalanmalarıyla kıyasladığımızda olacaklara bir göz atalım. Ortalama bir günde hisse fiyatları yüzde 2’den az değişim gösterir. Fakat yüzde 20 ya da yüzde 50’lik dalgalanmalar da mümkündür. Bu durum, ortalamanın 10 ya da 25 katı ağırlıkta erkeklerin varlığıyla eşdeğer bir durumdur. Matematikçiler, pazar dalgalanmalarının ortaya çıkardığı dağılımın çan eğrisinden farklı olarak, bir “kalın kuyruk” görünümü sergilediğini söyler. Bu tabir, aşırı durum ve olayların günlük sezgilerimizin öngördüğünden çok daha sık olduğunu söylemenin teknik bir yoludur.⁷ “Elimizde pazarla ilgili güvenilir bir kuram yok; ama olursa, pazar getirilerinin dağılımında neden durmadan büyük çaplı hareketlerin görüldüğünü de açıklayabilmesi gerekir,” der Buchanan.

Buchanan'a göre pazar hareketleri basit bir matematiksel örüntü izler. Sözelimi yüzde 10-15'lik büyük hareketlerin gerçekleşme olasılığı, yüzde 3-5'lik hareketlerin gerçekleşme olasılığından daha düşüktür. Aslında herhangi ölçekteki bir hareketin gerçekleşme olasılığı, büyüklüğünün küpüyle ters orantılı olarak düşer. Böylece yüzde 5'lik veya daha büyük hareketlerin belli bir gerçekleşme olasılığı varsa, yüzde 10'luk veya daha büyük hareketlerin gerçekleşmesi olasılığı bundan $2^3 = 8$ kez daha düşük, yüzde 20'lik veya daha büyük hareketlerin gerçekleşmesi olasılığı ise bir o kadar daha düşüktür.

Hisse senetleri, döviz ve vadeli sözleşme piyasalarında görülen bu çarpıcı örüntü, doğadaki geniş olaylar yelpazesini andırır; güneş patlamalarından kütsel yok oluş sıklığına ya da San Andreas fayında gerçekleşen depremlerin sıklığına kadar, doğadaki olayların sıklığı da buna benzer bir örüntü sergiler.⁸ Buchanan'ın açıklamasına göre, "Bu sistemlerin hepsi düzensiz bir ritimdedir; uzun süren sakin dönemler, yoğun kargaşa patlamalarıyla kesintiye uğrar."

Dengede olan bir mali pazarın neden deprem hareketleriyle aynı örüntüyü izlediğini görmek zor. Ama dengesi çeşitli kuvvetlerce sürekli bozulduğundan karmaşık ve dinamik tepkiler gösteren yerkabuğu gibi, pazar da bütünüyle farklı bir sistem olarak ele alındığında her şey anlam kazanmaya başlar.

Günümüzde sıklıkla fizikçiler tarafından ortaya konulan yeni ekonomik modeller, birçok doğal sistemde olduğu gibi dengesizlik ve geribildirim temel alır. "Bu modellerin, pazarlarda gördüğümüz temel örüntüleri kavramamızı kolaylaştırdıklarını henüz söyleyemesek de, en azından tarihsel verileri ciddiye alıp bunları açıklamaya çalışarak doğru yolda ilerlediklerini söyleyebiliriz," der Buchanan. "Ana akım ekonomik modellerin hiçbirinin başarı şansı bunlar kadar yüksek görünmüyor."

Yeni gelişmekte olan bu "ekonofizik" alanına yönelmiş olanların bir kısmı, ekonomi için yeni bir Manhattan Projesi talep ediyor. Küresel ekonomiye bağımlı 7 milyardan fazla insanın refahı söz konusu olduğuna göre, bunun için harcanacak para da büyük olasılıkla iyi bir amaca hizmet etmiş olacaktır.

Yersiz karmaşıklık

Pazar olgusunun karmaşık ve tam anlaşılmamış olması yetmezmiş gibi, insanlar buna bir de yersiz karmaşıklık katarlar. Bunun bir örneği, 2008 küresel mali krizinin tetiklenmesinde de önemli rol oynayan karmaşık yatırım araçlarıdır. Chang’a göre bunların en tehlikelilerinden biri CDO, yani “Teminatlı Borç Senetleri”dir. CDO’lar, geri ödeme olasılığı düşük insanlara verilen ev kredileri gibi binlerce riskli yatırımın paketlenmiş halidir. Chang’e göre, bu Arap saçı süreçleri daha da riskli hale getirmek için, CDO’ların da binlercesi bir araya getirilip CDO-square (CDO-kare) olarak bilinen daha da karmaşık bir ürün ortaya çıkarılmıştır. “Afallatıcı boyutlarda gereksiz karmaşıklık var,” der Chang. “Böyle bir yatırımı anlamak için en azından 1 milyar sayfalık doküman okumanız gerekir.”

Greenspan, bu tür araçları kimse anlamadığı için “düzenlemeye tabi tutulamayacak kadar karmaşık” olduklarını söylemiştir. Hatta Chang’a bakılırsa baştan anlaşılmaz ve belirsiz olmak üzere tasarlanmışlardır zaten. “Böylece işler ters gittiğinde nedenini de, sorumlusunu da belirlemek imkânsız olur.” Bu durum, hiç kimsenin sorumluluk üstlenmek istemediği 2008 krizi için özellikle geçerlidir.

Chang’e göre pazara yersiz karmaşıklık eklemek sorumsuzca ve tehlikelidir. İlaç sanayisinde yeni bir ilacın dünyaya sunulmadan önce bazen yıllarca test edildiği örneğini verir. Ona göre yatırım araçları veya pazara ekstra karmaşa getiren yeni araçlar piyasaya sunulmadan önce benzer testlerden geçirilmelidir. Ancak o zaman bunların pazarın istikrarını bozmayacağına güvenebiliriz.

En büyük pazar miti

Aslına bakılırsa pazar sisteminin içerdiği olumsuzluklar, 2008’de her şeyin alt üst olmasında büyük rol oynayan karmaşık mali araçların da ötesine uzanıyor olabilir. Pazar sisteminin yandaşları, sistemin doğayı yansıttığını ileri sürer. Buna göre sistem, Darwin’in evrim kuramıyla ortaya çıkan yaşam ağının ekonomideki karşılığıdır.

Ancak Macar ekonomist Karl Polanyi'ye göre bu görüş, mitlerin en büyüğüdür. Etkileyici kitabı *Büyük Dönüşüm*'de* Polanyi, pazar sisteminin oldukça yeni bir gelişme olduğunu savunmuştur.⁹

Pazar sistemini mümkün kılan yasa ve yönetmelikler, on sekizinci yüzyıl sonlarından başlayarak modern devletlerin hükümetlerince biçimlendirilmişti. Serbest pazar planlıydı ve endüstriyel devrimin bölünmez bir parçasıydı. Polanyi'ye göre bu dönemin öncesinde gerçekleşen birçok mali işlem, para kazanmak kadar sosyal statüyü ya da toplumsal bağları güçlendirmekle de ilgiliydi. *Sessiz Hırsızlık (Silent Theft)* kitabının yazarı David Bollier, "Toprak, işgücü ve paranın kendisi, temelde alınıp satılabilecek ticari mallar olarak görülmezdi," diye yazar. "Bunlar, toplumsal ilişkiler içine 'gömülü' durumdaydı." Bir başka ifadeyle insanları harekete geçiren şey, pazar ekonomisinin tanımlayıcı özelliği olan kişisel çıkarlardan çok, bir ailenin, klanın ya da köyün çıkarlarıydı.

Polanyi'ye göre Büyük Dönüşüm, toprak, işgücü ve parayı soyut mallar haline getirmiş ve bunların sonsuz büyümeyi gerçekleştirmek üzere sınırsızca kullanılabilecekleri yolundaki inancı körüklemişti. Bu türden bir büyüme, bir ekonomideki bütün mal ve hizmet üretiminin parasal değerini belirten gayrisafi yurtiçi hasıla ile ölçülür. Ancak ekonominin sürekli büyümesi bekleniyorsa, insanların da sürekli olarak harcama yapması gerekir ki bu da ancak borç almalarıyla mümkün olur. O zaman da borçları büyüdükçe büyür. Daimi büyüme elbette sürdürülemez. Bunu başarmaya çalışmanın sonuçları da ağır olacaktır. "Pazarlar doğayı sonsuz, insanları da eşya olarak ele aldıkları için, hem insan toplumlarını hem de doğayı sürekli olarak kırılma noktasına doğru iterler," der Bollier. Sonuçlarına aldırmaksızın kâr peşinde koşmak, gezegenimizi çevresel felaketin eşiğine getirmiştir.

Büyük Dönüşüm, Polanyi'ye göre serbest pazarın saf ve toplumdan yalıtık olduğu inancını da teşvik etmiştir. Bu görüş, işgücünün yaşayan, aşık olan, umutları ve hayalleri olan insanlardan oluştuğu gerçeğini gözardı eder. Günümüzde Avrupa ve Amerika'nın insan kaynakları ve yeteneklerinin azımsanamayacak

* The Great Transformation, Çev. Ayşe Buğra, İletişim Yayınları, Ekim 2014.

bir bölümü, pazar sisteminin aşırılıklarının faturasını ödeyebilmek adına hükümetlerin uyguladığı tasarruf tedbirleriyle heba ediliyor. Bollier'in ifadesiyle, "Siyasi görüşmelerimizin kapsamını bazı yeni soruları içine alacak biçimde genişletmemiz gerekiyor. Örneğin, 'pazar güçlerinin yıkıcı değil, yapıcı olması için bunları toplumla yeniden nasıl bütünleştirmeliyiz?'"¹⁰

Oscar Wilde on dokuzuncu yüzyılda, "Günümüzde insanlar her şeyin fiyatını biliyor ama hiçbir şeyin değerini bilmiyor," diye yazmıştı.¹¹ "Kapitalizm Komünizmi öldürdü; şimdi de Demokrasinin peşinde" yirmi birinci yüzyılın yaygın değişlerinden biridir. Fakat insan davranışlarını belirleyen şeyler sırf kâr ve kişisel çıkarlar değildir. "Alışveriş yapıyorum, öyleyse varım," ifadesi bir insanı tanımlamaz. Adam Smith serbest pazarı insanın efendisi değil, kölesi olarak görmüştü. 1960'ların kült televizyon dizisi *Tutsak*'ın (*The Prisoner*) başrol oyuncusu Patrick McGoohan ise "Ben bir sayı değilim! Ben özgür bir insanım!" diye, belki de günümüzde yaşayan milyonlarca sıradan insan adına haykırmıştı.

ÜÇÜNCÜ KISIM

Dünya İş Başında

12:

İZ BIRAKMAYAN BAŞLANGIÇ

Jeoloji

Kayalar, oluştukları zamanda gerçekleşen olayların birer kayıdır. Birer kitaptırlar. Sözcükleri farklı, alfabeleri farklıdır, ama onları okumayı öğrenirsiniz.

JOHN MCPHEE

Uygarlık jeolojinin rızasıyla vardır ve bu durum önceden haber verilmeksizin değişebilir.

WILL DURANT, *Ladies' Home Journal*,
Ocak 1946

Dünya her zaman şimdiki gibi olmamıştır. Bu gerçek, insanoğlunun mazhar olduğu en güçlü ve devrimci içgörülerden biridir. Hem yeni bir bilim alanını –jeolojiyi– doğurmuş hem de Charles Darwin’e esin kaynağı olarak Dünya yüzündeki tüm canlıların eski bir ortak atadan türediklerini fark etmesini sağlamıştır.

Dünya’nın durağan olmadığını ve bir Yaratıcı tarafından şu anki haliyle yaratılmadığını gösteren ince kanıtlar vardır. Örneğin Afrika’nın kuzeybatı kıyısı açıklarındaki Madeira volkanik adasında fosilleşmiş deniz kabukları yaygın olarak 2 kilometre kadar yükseklikte, bölgedeki en yüksek dağın zirvesinde bulunur. Bunlar buraya nasıl gelmiş olabilir? Bariz olduğu kadar şaşırtıcı da olan yanıt, dağın yaşama deniz altında başlayıp göğe sonradan yükseldiğidir.

Dağlar bir insan ömrü süresince fark edilebilir ölçüde yükselmediklerine göre, Madeira’nın en yüksek dağının denizden çıkıp 2 kilometreye yakın bir yüksekliğe ulaşması için, muazzam sayıda insan ömrünün geçmiş olması gerekir.

“İnanılmaz sayıda insan ömrü” ifadesinin çok kesin bir ifade sayıldığını söyleyemeyiz. Neyse ki bu kesinliğe ulaşmamızı sağlayan üstü kapalı başka kanıtlar da var. On sekizinci yüzyıl bilim insanları, akarsuların taşıyıp bıraktığı çamurun göllerin dibinde birikmekte olduğunu fark etmişlerdi. Farkına vardıkları bir başka şey de, çamura şaşırtıcı ölçüde benzeyen ve üst üste yığılmış ince katmanlardan oluşan yüksek ya da açıkta kalmış kayalıklardı. Kayaların eski bir su kütesinin dibine yerleşen çamurdan oluştuğu düşüncesi zihinlerinde giderek güçlenmeye başladı. Böyle bir süreç son derece yavaş işleyecek ve bir yüzyıl içinde bir-iki santimetreyi geçmeyecek bir çamur birikintisiyle sonlanabilecekti. Öyleyse kaçınılmaz sonuç, kayalıkların yüz milyonlarca yıllık bir geçmişe sahip oldukları ve *milyonlarca* insan neslini kapsayan bir süre içinde ortaya çıktıkları olacaktı.

Böylece insanlar tarihte ilk kez Derin Zaman kavramıyla tanışmış oluyorlardı. Böylesi uzun bir zamanla karşılaştırıldığında varlıkları gecenin içindeki bir ateş böceğinkine kadar gelip geçici oluyordu. Dünya sadece yaşlı değil, *insanın kavrayışına sığmayacak kadar yaşlıdır*. İskoçyalı bilim insanı James Hutton'ın 1788'de söylediği gibi, elimizde “ne başlangıca ilişkin bir iz, ne de sona ilişkin bir tahmin vardır.”¹ Güneş Sistemi'nin oluşum sürecinden kalma inşaat artıkları olarak düşünülebilecek göktaşlarına uygulanan radyoaktif tarihlendirme yöntemi sayesinde artık biliyoruz ki, Dünya yaklaşık 4,55 milyar, bir başka deyişle 4,55 *bin* milyon yıl yaşındadır.

Çamur, bir su kütlesinin yatağında biriktikten sonra kilaşına dönüşür ve yığılmaya devam eden çamur katmanlarının etkisiyle sıkışır. Bu tür tortul kayaçların oluşumu, bir başka derin içgörüyü yansıtır.² Geçmiş, roman yazarı L. P. Hartley'nin meşhur giriş cümlesinde yazdığının aksine yabancı bir ülke olmayıp, orada işlerin yürüme biçimi buradakinden farklı değildir.³ Dünya'nın yüzeyini değişime uğratan süreçler, bugün kendini göstermekte olan süreçlerin (hava koşullarına bağlı aşınma, volkanik patlamalar, su ve rüzgâra bağlı erozyon gibi) ta kendileridir. Akıllamaz uzunlukta zaman dilimleriyle işleyen bu süreçler, sözcüğün tam anlamıyla dağları yerinden oynatabilecekleri gibi, onları mikroskobik toz zerreciklerine dönüşünceye kadar ufalayabilirler de.

Bu anlattıklarımızı gözler önüne seren iki sıradağdan biri, günümüzde göklere yükselmiş durumdaki Himalayalar, diğeri ise 500 milyon yıl kadar önce doğmuş ve Himalaya benzeri bir dağ zincirinin aşınmış durumdaki kalıntıları olan, İskoçya'nın Kaledonya Dağları'dır. İki dağ sırası da aynı süreçle oluşmuştur: yerka-
buğunun devasa boyutlardaki parçaları arasındaki muazzam çarpışma. Buna ilişkin kanıtlar, çarpışan katmanların birbirini üzerine binerek oluşturdukları dev kıvrımlar biçiminde, her iki bölgede de seçilebilmektedir.

Büyük yerka-
buğunun bu şekilde çarpışabiliyor olmaları, bir başka devrimsel kavrayışı da beraberinde getirmiştir. İlk jeologlar Dünya yüzeyinin yalnızca yukarı-aşağı hareket ederek dağ benzeri oluşumlar ortaya çıkardığını düşünmüşlerdir; oysa gerçekte yer yüzeyi *yanlamasına* da hareket eder.

Levha tektoniği

Daha 1620’de, tam kesinlik taşımayan ilk dünya haritalarını incelemekte olan Francis Bacon, Afrika ve Güney Amerika’nın kıyı şeritleri arasında şaşılası bir benzerliğin varlığını fark etti. Tıpkı iki dev yapboz parçası gibi, bu iki şerit birbirine uyar görünmekteydi. Bu durum yirminci yüzyılın başlarına kadar tuhaf bir rastlantı sayılmaktan öteye gidemedi. Derken bir Alman jeolog, ortaya öylesine tartışmalı bir fikir attı ki, tanınmamış biri olarak dünyadan göçüp gittiğinde, fikrin doğruluğu konusunda neredeyse kimseyi ikna edememiş durumdaydı.

Alfred Wegener’ın sıra dışı düşüncesi, kıtaların *hareket ettiği* yönündeydi. Güney Amerika ve Afrika kıyılarının birbirine bu ölçüde uymasının nedeni de uzun zaman önce *birleşmiş* olmalarıydı. İki kıta daha sonra bölünüp birbirlerinden uzağa sürüklenmişti. Wegener’ın bu kıta kayması fikrine destek olarak ileri sürdüğü kanıta, birleşme çizgisinin her iki yakasındaki kayaların yanı sıra, fosillerin de aynı olmasıydı.

İnsanların Wegener’ın düşüncesine inanmamasının nedeni, kıta kayması için herhangi bir mekanizma ileri sürememiş olmasıydı. Ayrıca Güney Amerika ve Afrika, birbirlerinden binlerce kilometrelik bir deniz tabanıyla ayrılmıştı. Böylesine sağlam ve sert bir engeli nasıl aşmış olabilirlerdi ki?

Atlantik tabanının incelenmesiyle birlikte her şey değişti. Transatlantik telefon kablolarının döşenmesi sırasında Atlantik ortasında tuhaf bir yükseltinin varlığı dikkat çekti.⁴ ABD Deniz Kuvvetleri’nin 1960’larda gerçekleştirdiği sonar incelemeleri ise bunun bir yükseltiden fazlası olduğunu ortaya koydu. Söz konusu oluşum, Atlantik’i ikiye bölen ve İzlanda’dan Falkland Adaları’na kadar 10.000 kilometre katederek uzanan devasa bir dağ sırasıydı. İyi de burada ne işi vardı?

Kilit bir kanıt, okyanus tabanındaki kayaların manyetik alan ölçümlerinden geldi. Bu kayalar başlangıçta eski yanardağlardan lav olarak püskürtülmüştü. Lavlar sıvı haldeyken atomları da Dünya’nın kuzey-güney yönelimli manyetik kuvvet alanı doğrultusunda sıralanmakta özgürdü. Lavlar katılaştığında ise atomlar bu eski alan doğrultusunda konumlanmış olarak sonsuza dek donup kalmıştı.

Okyanus tabanındaki kayaların manyetizması, sıra dışı bir örüntü sergiliyordu. Atlantik Ortası Sırtı adı verilen bu oluşumun her iki yakasında manyetizma etkisiyle oluşmuş simetrik şeritler yer alıyordu: Kayalar önce belirli bir manyetik doğrultuda, sonra tam tersi doğrultuda konumlanıyor ve bu düzen tekrarlanarak sürüp gidiyordu. Tüm bunların anlamı neydi?

Aslına bakılırsa, karadaki kayaların manyetizmasıyla ilgili olarak yapılan ölçümler, bu tür manyetik tersinmeleri daha önce de göstermişti. Dünya'nın bir mıknatıs çubuğunkine benzer manyetik alanı, belli aralıklarla yön değiştirir. Böylece bir zamanlar manyetik kuzey kutbu olan nokta manyetik güney kutbuna, manyetik güney kutbu da manyetik kuzey kutbuna dönüşür. Bunun nedeni bugün bile tam olarak bilinmemektedir. Ancak önce bir yöne, sonra diğerine manyetize olmuş kaya şeritleri 1960'ların jeologlarının eline güçlü bir araç vermişti. Bu kayalara uygulanan tarihlendirme yöntemi, en eski kayaların Atlantik Ortası Sırtı'na en uzak, en yeni kayaların da sırtta en yakın kayalar olduğunu gösterdi.

Olup bitenler bir anda açıklık kazanmıştı. Atlantik Ortası Sırtı, *yerkabuğu ürettiyordu*. Güney Amerika ve Afrika 120 milyon yıl kadar önce gerçekten de yapışıkta. Derken devasa bir çatlak oluşarak lav püskürtmeye başlamış ve bölgeye su akın etmişti. Lavlar yıldan yıla, yüzyıldan yüzyıla, binyıldan binyıla Dünya'nın yüzeyindeki bu yarıktan fışkırmaya devam etmiş ve iki kıtayı birbirinden giderek daha fazla uzağa itmişti. Günümüzde benzer bir durum Etiyopya'nın Afar bölgesinde gerçekleşmekte olup, bu sefer iki yerine *üç* yerkabuğu parçası birbirinden ayrılmakta ve yeni bir okyanus oluşmaktadır.

Wegener'ı eleştirenler, onu alaya almakla hata yapmıştı. Güney Amerika ve Afrika'nın bugünkü konumlarına ulaşmak için çok geniş ve sert bir okyanus tabanını aşmalarına gerek yoktu. Başlangıçta bir okyanus tabanı bile yoktu. Bu oluşum, kara kütleleri arasında büyüyerek onları birbirlerinden gittikçe uzaklaştırmıştı.

Bu konudaki rakamlar etkileyicidir. Atlantik Ortası Sırtı, dışarıya *her yıl* yaklaşık 5 kilometreküplük lav pompalar. Bu miktar, St. Helens Dağı'nın 1980 yılında gerçekleşen güçlü volkanik patlamayla püskürttüğü görece az miktardaki 0,25 kilometreküplük kayanın 20 katıdır. Okyanus ortası sırtları –ki bunlar yalnızca

Atlantik Okyanusu'nda yer almaz- birer yerkabuğu fabrikasıdır aslında. Küresel ölçekte her yıl ürettikleri yeni kabuk miktarıysa 30 kilometreküp kadardır.

Ancak Dünya gibi, büyüklük bakımından sonlu olan bir topta, sürekli olarak yeni yerkabuğu üretmek olanaksızdır. Bir noktada taviz vermek gerekecektir. Verilir de.

Neler olduğunu anlamak için bir gerçeği daha bilmemiz gerekir: Yerkabuğu yaklaşık on iki ana kütle, yani levhaya bölünmüş durumdadır. Bir levha, sırtında kıtasal kabuk, okyanusal kabuk veya her ikisini birden taşıyabilir. Bunca konuda haklı olan Wegener, kayan parçaların kıtalarla sınırlı olduğunu düşünmekte hatalıydı. Levhalar, Dünya'nın derinlerindeki süper-sıcak, süper-yoğun sıvının, yani mantonun üzerinde yüzmektedirler.

Bu noktada bir ayrıntı oldukça önemlidir. Volkanik kayalardan oluşan okyanusal kabuk, volkanik magma kökenli granitten oluşan kıtasal kabuktan ağırdır. Bunun sonucunda kıtasal kabuk, daha yüksekte yüzer. Bu durum, fazlaca kanıksamış olduğumuz, bu yüzden de hiç sözü edilmeyen bir gerçeği açıklar: Okyanus ya- tağı alçakta ve ıslak, kıtalarsa yüksekte ve kurudur. Kıtasal kabuk, jeologların benzetmesiyle "yeryüzünün bağladığı köpük" tür.*

Okyanus ortası sırtlarında durmaksızın kabuk üretilirken neler olduğunu artık açıklayabiliriz. Kıtasal kabuk taşıyan iki levhanın bir araya geldiği dev çarpışmada, daha hafif olan kıtasal kabuk yukarı kıvrılarak dağları oluşturmak üzere yükselir. Himalayalar'ın bulunduğu bölgede gerçekleşmekte olan şey de budur. Ancak kıyının yukarı kıvrılması, kabuğun sürekli olarak artan kütlesi karşısında yalnızca geçici bir çözüm sunar. Kabuğun bir yerde yok edilmesi gerekmektedir. Edilir de: okyanusal kabuk taşıyan bir levhanın, kıtasal kabuk taşıyan bir levhayla çarpıştığı yerde. Bu durum günümüzde Güney Amerika'nın batı kıyısı boyunca gözlenmektedir.

Kıtasal kabuktan daha ağır olan okyanusal kabuk, kıtasal kabuğun altından aşağı, mantonun içine doğru dalar. Bu sırada suyu, deniz kabuklarını ve her türlü okyanusal döküntüyü de beraberinde götürür. Bu çok önemlidir, çünkü bu tür cisimler okyanusal kabuğun üstünde kalan kıtasal kabuğun erime noktasını düşürür.

* Orijinali "scum of the Earth": ayaktakımı ya da başbelası anlamında kullanılan bir deyim. (ç.n.)

Sonuç olarak üstte kalan kıtasal kabukta yanardağlar oluşur. Bunlar günümüzde Şili boyunca gözlenebilir. Sözüünü ettiğimiz; And Dağları'dır.

Aslına bakılırsa okyanusal ve kıtasal kabuklar çarpıştığında, okyanusal kabuğun aşağı dalmadığı durumlar da vardır. İngiltere'nin batı kıyısı açıklarındaki çarpışmanın bir sonucu olarak okyanusal kabuk, kıtasal kabuğu da beraberinde *itmekte*, bu da Atlantik Okyanusu'nu yılda 5 santimetre kadar genişletmektedir. İngiltere ve ABD uzun bir veda sürecindeler.

Okyanusal kabuk kıtasal kabuğun altına yumuşakça dalmaz. Mantoda kaybolup gitmeden önce tökezler ve ileriye doğru titreşir. Bu titreşimler de Şili'yi 2010'da vuran gibi çok büyük ölçekli depremlere neden olur.

Sonuçta levhalar bir yandan yapılıp bir yandan yıkılırlar; birbirleriyle çarpışır ve birbirlerinin yanından kayıp geçerler. Bu hareketleri Kaliforniya'daki San Andreas fayında görmek mümkündür. Burada Pasifik levhası, Kuzey Amerika levhasının yanından kayarak Los Angeles ve San Francisco arasındaki boşluğu yılda yaklaşık 5 santimetre kapatmaktadır.

Levha tektoniği gezegenimizde gördüğümüz her şeyi açıklar. Darwin'in evrim kuramı olmadan biyoloji ne kadar anlamlı olabilirse veya DNA olmadan genetik bilimi ne kadar anlamlı olabilirse, levha tektoniği olmadan da jeoloji ancak o kadar anlamlı olabilir.

Peki ama Dünya'nın levhalarını hareket ettiren güç nedir? 1930'da, henüz 50 yaşındayken Grönland'a yaptığı bir inceleme gezisinde hayatını kaybeden Wegener, bu sorunun yanıtını bulamamıştı. Fakat yanıt, ısıнын Dünya'nın derinliklerinden kaçmaya çalışmasından başka bir şey değildir. Gezegenimiz, inanılmaz şekilde, oluştuktan 4,55 milyar yıl sonra bile, eriyik haldeki doğum ısıısının bir miktarını korur.⁵ Bunun nedeni, büyük bir cisim olduğundan, hacmiyle kıyaslandığında ısı kaçırmaya elverişli yüzey alanının az olması ve ısıнын kaçmakta zorlanmasıdır. Ayrıca kayalarında taşıdığı uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif elementlerin parçalanması, yani bozunması da Dünya'nın iç kısımları için sürekli bir ısı kaynağı sağlar.

Tüm bunlar Dünya'nın içini sıvı halde tutar (*çok* koyu kıvamlı bir sıvı olsa da). Ve tıpkı elektrik ocağı üstündeki bir tencerede kaynayan su gibi hareket halindedir; sıcak ve hafif sıvı yükselirken soğuk ve yoğun sıvı aşağı iner. Bu "ısı yayımı" (konveksiyon) Dünya'nın merkezine kadar inen dev bir döngü içinde devridaim mi yapıyor, yoksa daha karmaşık bir örüntü mü izliyor, bunu kimse bilmiyor. Ancak temel mantık basit: Mantodaki sıvının dolaşımı levhaları hareket ettiriyor.

Levhalar, Dünya yüzeyinin şeklini değiştirmekle kalmayıp gezegenimizin yaşanabilirlik özelliğini sürdürmede de önemli rol oynarlar.

Karbondioksit gazı yanardağlar aracılığıyla sürekli olarak atmosfere pompalanır ve okyanuslar tarafından havadan emilerek deniz canlılarının karbonatlı kabuklarının içine karışır. Bu canlılar öldüklerinde deniz tabanına çöker. Bu nedenle bir okyanusal levha, kıtasal bir levhanın altına daldığında bu kalıntılar da aşağıya, manto tabakası içine taşınır. Taşıma bandı işlevi gören levha tektoniği, böylece atmosferdeki karbondioksitin tehlikeli düzeylere ulaşmasını önlemiş olur. Karbondioksit ısıyı atmosfer içinde hapseden güçlü bir sera gazıdır.⁶

Karbondioksiti atmosferden çekip alacak levha tektoniği olmadığında neler olacağı Venüs'te görülebilir. Yanardağlardan çıkan karbondioksit burada öyle düzeylere ulaşmıştır ki, gezegenin yalnızca bu gazdan oluşan atmosferi Dünya'ninkinden yaklaşık 92 kat kalın hale gelmiştir. Yüzey, buna bağlı olarak kurşunu bile eritecek sıcaklıktadır.⁷

Manto tabakasına dalan levhaların bir daha görülmesinin mümkün olmayacağı düşünülebilir. Ancak Dünya'nın iç kısımlarında oradan oraya durmaksızın yayılan deprem kaynaklı sismik dalgalar, bilgisayarların da yardımıyla iç bölgelerin bir tür X-ışını görüntüsünü oluşturmada kullanılabilir. Bu sismik tomografi yöntemiyle, üst kabuk katmanının mantoyu sarmış olduğunu görebiliriz. En derinde ise çekirdek yer alır. Çekirdek, katı haldeki demirden oluşan bir iç çekirdek ve onu saran, sıvı demirden oluşmuş bir dış çekirdek içerir. Sismik tomografiyle ortaya çıkan şaşırtıcı bir görüntü, çekirdeğe doğru batmakta olan koca levha külçeleridir.

Bu şaşırtıcı bir durum, çünkü normalde bunların erimiş olmalarını beklerdik. Levhalar dış çekirdeğin çevresinde yığılır.

Eğer çekirdek gerçekten levha mezarlığıysa, bu bir olguyu daha açıklar. Çekirdekten dışarıya doğru, şekil olarak baca dumanını andıran, süper yüksek sıcaklıkta manto kütlelerinin yükseldiği görülür. Bunlar bir levhanın tabanını bir kaynak makinesi gibi ısıtırlar. Böyle bir süper-sıcak kütle Hawaii adalar zincirinin altında vardır. Hatta aslında adalardan her biri, levha kaynak makinesinin üstünden geçerken ortaya çıkmış birer yanardağdır.

Çekirdeğin sıcaklığı 5.000° C civarındadır ki bu da Güneş yüzeyinin sıcaklığına yakındır. Dış çekirdekteki levha mezarlığı, ısının yalnızca levha yığınları arasındaki boşluklardan kaçmasına izin veriyor ve süper-sıcak kütleler de böyle ortaya çıkıyor olabilir.

Oraya hiçbir zaman gidemeyecek olsak da, Dünya'nın iç kısmı sırlarını yavaş yavaş ele vermektedir. İsviçreli jeolog Louis Agassiz, 1856'da Dünya'nın "bir jeolog için dev bir yapboz kutusu" olduğunu söyleyip eklemiştir: "Jeolog onun karşısında, her parçası gizemli gelen bir yapbozla boğuşan bir çocuk gibi durmaktadır. Çocuk daha sonra parçaların birbirleriyle olan ilişkisini çözmeye başlar, nereye oturduklarını görür ve parçalar birdenbire elinin altında bütünleşmiş bir resme dönüşür."⁸

13:

DÜNYA'NIN AURASI

Atmosfer

Hareket halindeki güneş, değişim, oluşum ve çürüme süreçlerini başlatır. Onun aracılığıyla suyun en temiz ve en tatlısı her gün yukarı taşınıp buhara dönüşerek üst kısımlara yükselir. Burada soğğun etkisiyle yeniden yoğunlaşarak dünyaya geri döner.

ARISTOTELES, *Meteoroloji*, MÖ 350

Gökten erkek yağıyor! Şükürler olsun!
Gökten erkek yağıyor!

THE WEATHER GIRLS*

* The Weather Girls müzik grubunun "It's raining men" şarkısından.
Orijinal sözleri: "It's raining men! Hallelujah! It's raining men!"
(f.n.)

“Dünya atmosferinin kalınlığının Dünya’nın büyüklüğüne oranı, okullarda kullanılan dünya küresi maketlerinin üzerindeki vernik tabakasının, kürenin çapına oranıyla hemen hemen aynıdır” diye yazmıştı Carl Sagan.¹ Ancak gezegenimizde yaşamı mümkün kılan da, bu göze görünmez incecik hava tabakasıdır. Değerli ısıyı hapsederek bir battaniye işlevi görmekle kalmaz, gece ve gündüz arasında ortaya çıkabilecek aşırı sıcaklık farkını da normal bir düzeye düşürür. Atmosfer olmasaydı, Mavi Gezegen’imizin maviliğinden eser kalmayacak, onun yerini, ortalama sıcaklığı -18°C civarında olan, göz kamaştırıcı beyazlıkta bir buz topu almış olacaktı.

Dünya’nın yeni doğduğu 4,55 milyar yıl kadar önce atmosferin de büyük oranda yanardağ kaynaklı karbondioksitten oluştuğu düşünülmektedir. Ancak gezegen, yaklaşık 3,8 milyar yıl önce, neredeyse birer kent büyüklüğündeki asteroitlerin sürekli ve şiddetli bombardımanına maruz kalmıştır. Bu Geç Dönem Ağır Bombardıman süreci, yüzeyi eriyik haline getirmekle kalmamış, ilk atmosferi ve yanında gezegenin bütün suyunu da uzaya fırlatmıştır.² Günümüzde gezegen yüzeyinin yüzde 71’ini kaplayan suyun önemli bir bölümünün, daha sonraları buzlu kuyruklu yıldızlarca taşındığına ilişkin kanıtlar bulunmaktadır.³

Günümüzün atmosferi yaklaşık beşte bir oranında oksijen, beşte dört oranında azot ve az miktarda argon, su buharı ve karbondioksit gibi gazlardan oluşur. İlkel öncülüyle taban tabana zıt olan bu atmosfer, neredeyse tümüyle yaşamın ürünüdür. Çok uzun süre boyunca mavi-yeşil algler ya da siyanobakteriler, fotosentezin atık ürünü olan oksijeni havaya pompalamışlardı. Bu oksijenin demir oksit oluşturmak üzere gezegende bol bulunan demirle birleşmesi ise bugün Avustralya’da görebildiğimiz muazzam boyutlardaki kırmızı-kahverengi kayaların oluşumuyla sonuçlanmıştı. Demir, artık daha fazla oksijen alamaz duruma geldiğindeyse, oksijen

atmosferde ölümcül düzeylere ulaşarak çok büyük sayıda canlıyı zehirledi. Ancak aynı zamanda hayvanlar –ve günün birinde insanlar– için son derece etkili bir enerji kaynağı sağlamış oldu.

Dolaşım

Atmosfer, yalnızca dünyayı saran, oksijence zengin bir battaniye olmakla kalmaz; aynı zamanda Güneş enerjisinin yönlendirdiği, sürekli hareket halindeki bir hava katmanıdır. Güneş ekvator bölgelerini kutuplara oranla daha fazla ısıttığından, bu bölgeler kutuplardan daha sıcaktır.⁵ Sıcaklık dengelenene kadar her zaman sıcak yerden soğuk yere akan ısı, bu sefer de küresel sıcaklığı dengelemek için atmosferden geçerek ekvatordan kutuplara akar. On dokuzuncu yüzyılda yaşamış İngiliz fizikçi John Tyndall şöyle yazmıştır: “Dünya ve atmosferi dev bir damıtma aygıtı gibidir; ekvatoryal okyanus kaynatıcı, kutupların soğuk bölgeleri ise yoğunlaştırucu görevi görür.”⁶

Eğer Dünya dönmüyor olsaydı –ya da Venüs gibi çok yavaş dönseydi– ısının ekvatordan kutuplara yaptığı yolculuk basit olurdu.⁷ Soğuk havadan daha hafif olan sıcak hava (sıcak hava balonunu düşünün) ekvatorunda yükselir ve kutuplara yönelirdi.⁸ Burada ısınıp kaybedip aşağı iner ve yer yüzeyine daha yakın bir seviyeden ekvatora dönerdi. Bu tür daimi hava taşıma kuşaklarına –1735’te fikri ortaya atan İngiliz avukat ve meteorolog George Hadley’nin adından hareketle– Hadley Döngüsü denir. Dönmeyen bir Dünya’da, biri kuzey, biri de güney yarımkürede olmak üzere *iki* Hadley Döngüsü olurdu.

Ancak Dünya kendi eksenini çevresinde hızla döner – 24 saatte bir tur. Buna bağlı olarak yerin –ve dolayısıyla havanın– hareket hızı ekvatorunda en yüksek, kutuplarda en düşüktür. ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA’nın fırlatmalar için Florida’yı, Avrupa Uzay Ajansı ESA’nın ise Fransız Guyanası’ndaki Kourou’yu seçmiş olmasının nedeni budur. Ekvatora mümkün olduğunca yakın mesafeden kalkış yapan uzay araçları, böylece Dünya’nın dönüşünden azami itkiyi sağlayabilir.

Ekvator bölgesinde yaşayanlar, farkında olmaksızın bir Boeing 747'nin hızının neredeyse *iki katı* hızla hareket eder: saatte yaklaşık 1.670 kilometre.⁹ Ekvatordan uzağa hareket eden sıcak hava ise, bu yüzden altında kalan yerden hep daha büyük hızla yol alır. Yerde durmakta olan birine göre, hava kutba doğru yol alırken Dünya'nın dönüş yönüne, yani doğuya doğru sapmış görünür.¹⁰

Kuzeye ve güneye yol alan havadaki sapma öyle güçlüdür ki, ısının ekvatordan kutuplara varması hiç de kolay olmaz. Hava tek bir Hadley Döngüsü içinde değil, *üç* ayrı döngüde kutba ulaşabilir. Bu döngüleri, her biri ekvator ile kutup arasındaki mesafenin yaklaşık üçte biri boyunca uzanan üç ardışık bant olarak düşünebiliriz.

Daha hızlı dönen bir gezegende havanın dolaşımı *daha da fazla sayıda* banda bölünür. Örneğin Jüpiter, Dünya'nınkinin yaklaşık 11 katı uzunlukta bir ekvator çapına sahip olsa da, kendi etrafındaki dönüşünü yalnızca 10 saatte tamamlar. Bu müthiş hızlı dönüş, gezegenin ekvatorunun Dünya'ninkinden yaklaşık 25 kat hızla yol almasına ve ekvator bandının her iki tarafında 7'şer bant olmak üzere hava dolaşımının 15 banda bölünmesine neden olur. Açık renkli bantlar *bölge*, koyu renkli bantlar *kemer* diye adlandırılır.

Gezegeneğimizin kutup bölgelerindeki dolaşım bantlarında sıcak hava, kutba büyük bir yükseklikten yaklaşır. Yerden daha hızlı hareket ettiği için, yerdeki birine Dünya'nın dönüş yönüne sapmış görünecektir. Sonuç olarak yükseklerdeki rüzgârların, Dünya'nın dönüşüne uygun olarak, *batıdan* estiği söylenir. Kutuplara ulaşan hava soğur, alçalır ve sonra da alçaktan yol alarak geldiği yere döner. Yerden daha yavaş hareket ettiği için de yerdeki birine, Dünya'nın dönüş yönünün tersine sapmış görünecektir. Bu ise, kutup buzullarına yakın yerlerde alçakta seyreden rüzgârların, Dünya'nın dönüşüne ters yönde, yani *doğudan* estiği anlamına gelir.

Ekvatora en yakın dolaşım bantlarında da buna çok benzer bir süreç yaşanır. Ekvatordan uzağa akan yüksek irtifalı hava, yerden bakıldığında Dünya'nın dönüş yönüne sapmış görünür. Tropiklerdeki bu tür rüzgârlar bu nedenle *batıdan* eser. Buna karşılık ekvatora doğru geri dönen düşük irtifalı hava, yerdeki gözlemciye Dünya'nın dönüş yönünün tersi yöne sapmış görünür. Tropik bölgelerde deniz seviyesine yakın rüzgârların (Alize rüzgârları) temelde doğudan esmesi bundandır.

Hava durumu

Dünya'daki üç dolaşım bandından en ilginç olanı, kutup bandıyla tropik bant arasında yer alan orta banttır. Orta enlemlerde yer alan bu bölgede¹¹ Dünya'nın kendi eksenini çevresindeki dönüşünün kuzey ve güneye hareket eden hava üzerindeki etkisi en üst düzeye ulaşır.¹² Bu durum dolaşımı doğası gereği dengesiz hale getirerek sıklıkla girdapların ortaya çıkmasına neden olur. Orta dolaşım döngüsü, aynı zamanda yüksek irtifada batıdan esen süper-hızlı rüzgârların da etki alanıdır. Saatte 400 kilometreden daha yüksek hızlarda seyredebilen bu jet akımı, hava sistemlerine de yön verebilir. Amerika'dan Avrupa'ya yapılan uçuşların, tersi doğrultuda yapılan uçuşlara göre daha kısa sürmesinin nedeni budur.

Bu noktada bir hurafeyi çürütmek de yerinde olacaktır. Bir lavabo deliğinden aşağıya giden suyun girdap yönünün kuzey ve güney yarımkürelerde birbirinin tersi olduğu sıklıkla dile getirilir. Bu doğru değildir. Su, aldığı ilk itkiye –musluktan su akışına ya da lavabodaki herhangi bir yapısal eğrilige– bağlı olarak iki yönde de dönebilir. Gezegenin dönüşünden dolayı yüzey hızında oluşan farklar, lavabodaki küçücük mesafelerde önemsiz kalır. Ancak aynı şey yüzlerce kilometre boyunca uzanan bir hava kütlesi için geçerli değildir. Lavabodaki suyun aksine, bu hava kütlelerinin kuzey ve güney yarımkürelerde farklı yönlerde döndüğü bir gerçektir.

Süreci şöyle açıklayalım: Kuzey yarımkürede, siklon adıyla bilinen bir alçak basınç bölgesi düşsün.¹³ Çevredeki hava, basıncı eşitlemek için buraya her yönden akın eder. Siklona güneyinden gelen hava, kendisini yerden daha hızlı hareket eder halde bulacaktır; yani yerden bakıldığında doğuya doğru –Dünya'nın dönüş yönüne doğru– sapmış görünecektir. Siklona kuzeyinden gelen hava ise kendisini yerden daha yavaş hareket eder halde bulacaktır; yani yerden bakıldığında batıya doğru –Dünya'nın dönüş yönünün tersine doğru– sapmış görünecektir. Siklonun güneyindeki hava doğuya doğru, kuzeyindeki hava batıya doğru estiğinden, toplamda hava kütlesi saat yönünün tersine doğru dönmeye başlar. (Güney yarımkürede ise siklon saat yönünde döner.) Antisiklon olarak bilinen yüksek basınç sistemi için ise süreç tersine işler.

Antisiklon kuzey yarımkürede saat yönünde, güney yarımkürede de saat yönünün tersine döner.

Hava durumu kabaca “atmosfer koşullarında günden güne görülen değişiklikler” olarak tanımlanır. Bu değişimlerin gözleendiği yer, atmosferin en alçakta yer alan troposfer tabakasıdır. İlke olarak hava durumunun tümüyle tahmin edilebilir olması gerekir. Sözelimi matematikte, Dünya’nın atmosferi gibi bir akışkanın gelecekteki değişimlerini tümüyle belirleyebilen ve Navier-Stokes Denklemi olarak adlandırılan bir formül vardır. Ancak uygulamada, denklemin öngöröleri başlangıç koşullarına karşı inanılmaz derecede hassastır. Denkleme aralarında ufak farklar olan iki veri seti girdiğinizde bir hafta sonrasına dair tahminleri bambaşka olacaktır.

Amerikalı meteorolog ve yayıncı Robert T. Ryan, hava tahmincilerinin her gün karşı karşıya kaldıkları güçlüğü şöyle özetler: “Gözünüzün önüne 13.000 kilometre çaplı, yüzeyi engebelerle dolu, yoğunlukları yere ve zamana göre değişen çeşitli gazlardan oluşmuş 40 kilometre derinliğindeki bir gaz karışımıyla sarılı ve bu gazlarla birlikte 150 milyon kilometre uzaklıktaki bir nükleer reaktör tarafından ısıtılan, dönmekte olan bir küre getirin. Düşünün ki, küre bu nükleer reaktör çevresinde dönüyor, dönüş sırasında da bazı bölgeler diğerlerine göre daha fazla ısınıyor. Yine düşünün ki gaz karışımı, aşağıdaki yüzeyden –genellikle sakin ama kimi zaman da şiddetli ve yerel etkili patlamalar halinde– sürekli olarak girdi alıyor. Şimdi de bu gaz karışımını izledikten sonra belirli bir yerdeki durumunu, üstelik de önünüzdeki bir, iki ya da daha fazla sayıda gün için belirlemenizin beklendiğini farz edin.”¹⁴

Hava hareketlerinin kaotik olduğu sıklıkla dile getirilir. Kaotik hareketler, ilk koşullara sonsuz bir hassasiyet gösterir. Matematiksel kaos kuramının öncülerinden Edward Lorenz, “Brezilya’daki bir kelebeğin kanat çırpışı, Teksas’ta bir kasırgaya neden olabilir mi?” diye sormuştu.¹⁵ Görünüşe bakılırsa bunun yanıtı hem evet hem hayırdır. Atmosferin –özellikle de orta enlemlerdeki dolaşım bandının– tencerde kaynayan su kadar öngörülemez olduğu kuşku götürmez. Ancak bu, öngörülebilirlik ile kaos arasında yer alan bir öngörülemezliktir. Eğer böyle olmasaydı ve Lorenz’in kelebeği

her şeyi değiştirebilseydi, hava tahmincileri hiçbir öngöründe başarılı olamazdı. Birçoklarına göre bu görüş de züğürt tesellisinden başka bir şey değildir. Amerikalı mali analiz uzmanı Patrick Young'ın deyişiyle, "Hava tahminlerinin sorunu, göz ardı edemeyeceğiniz sıklıkta haklı çıkması ama güvenemeyeceğiniz sıklıkta yanılmasıdır."

Okyanuslar

Okyanuslardan henüz söz etmedim. Bu önemli bir ihmal sayılır. Çünkü okyanuslar, ekvatorдан kutuplara ulaşan ısının yaklaşık yarısının taşınmasından sorumludur ve bu da onları atmosfer kadar önemli kılar.

Sözgelimi Kuzey Atlantik'te, Meksika Körfezi'nden gelen ılık sular, Avrupa'nın batı kıyılarından geçerek kuzeye yol alır. Böylece bölgenin sıcaklığı, benzer enlemlerde yer alan Kanada gibi kara kütlelerinin sıcaklığından belirgin biçimde fazla olur. Kutuplara yaklaşan suyun bir kısmı donarak deniz buzuna dönüşür ve bu süreçte dışarı salınan tuzun etkisiyle deniz suyu tuzlanır. Tuz görece ağır olduğu için tuzlu su okyanus dibine çöker ve okyanus tabanı boyunca akarak yeniden Meksika Körfezi'ne döner. Sonuçta atmosferdeki Hadley Döngüsü taşıma sisteminin bir benzeri okyanusta oluşur. Bu taşıma bandında sıcak su kuzeye akarken soğuyarak çöker, sonra da güneye döner.

Ancak okyanuslar ısıyı ekvatorдан kutuplara taşımakla kalmaz. Aynı zamanda ısıyı *depolar* ve sonradan yavaşça salarlar. Böylece örneğin yaz ve kış arasındaki sıcaklık değişimleri daha dengeli olur.

Mevsimlerin var olmasının nedeni, Dünya'nın ekseninin yatkın olmasıdır. Dünya dönerken dikeyle 23,5 derecelik açı yapar. Bunun sonucunda yörüngesinin bir bölümünde kuzey yarımküre Güneş'e doğru yattığı için yaz (güney yarımkürede *kış*), altı ay sonra Güneş'ten uzak kalacak şekilde eğim almasıyla kış (güney yarımkürede *yaz*) olur. Ayrıca Dünya'nın yörüngesi dairesel değil, eliptiktir; güney yarımküredeki yaz mevsimi Dünya'nın Güneş'e en yakın olduğu zamana denk gelir.¹⁶

Ama ekvator her zaman Güneş'e bakmaz; yeryüzündeki en sıcak nokta da her zaman ekvator değildir. Hatta Güneş'e doğrudan bakan nokta mevsimlerle birlikte kuzeye ve güneye doğru yer değiştirirken, her yarımküredeki üç dolaşım bandının oluşturduğu sistem de bir bütün olarak onunla birlikte yer değiştirir.

Okyanusların tüm bu olup bitenlerde önemli rol oynamasının nedeni ısıyı –atmosferden çok daha büyük oranda– depolamalarıdır. Yazın ısınan okyanuslar, kışın bu ısıyı yavaş yavaş serbest bırakır. Bu yüzden her iki yarımkürede de kışın en soğuk zamanı, o yarımkürenin Güneş'ten en uzağa baktığı kış gündönümünde değil, birkaç ay sonra yaşanır. Atmosferin *gece ile gündüzün* uç sıcaklıklarını dengelemesi gibi, okyanuslar da *yaz ile kış* mevsimlerinin uç sıcaklıklarını dengeler.

İklim

Hava durumu, atmosfer koşullarında günden güne görülen değişikliklerdir; iklim ise “hava durumunun kapsadığından daha uzun zaman dilimleri içinde atmosfer ve okyanusların ortalama durumu”dur. Bu zaman dilimi genelde 30 yıl ya da fazlasıdır. “İklim, umduğumuz şeydir” demiştir Mark Twain, “hava durumu ise bulduğumuz.”

Bilimin çarpıcı keşiflerinden biri, Dünya'nın ikliminin her zaman bugünkü gibi olmadığıdır. Örneğin son 1 milyon yılın yüzde 90'ı, küresel sıcaklıkların düşüp kuzey ve güney yarımkürelerin geniş buz örtüleriyle kaplandığı buzul dönemi olarak geçmiştir.

Güneş, Ay ve diğer gezegenlerin Dünya'ya uyguladığı kütleçekimine bağlı olarak Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinde gelişen doğal döngülerin, buzul dönemlerini tetikleyen etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Örneğin 100.000 yıllık bir zaman diliminde Dünya'nın eliptik yörüngesi basıklığını kaybederek uzulmasına genişler. 42.000 yıllık zaman diliminde, şu anda dikeyle 23,5 derecelik açı yapan dönüş eksenini, açığı biraz daha genişlettikten sonra yeniden dikey eksene yaklaşır. 26.000 yıllık bir zaman dilimindeyse dönüş eksenini uzaydaki konumunu değiştirerek dikey çevresinde tam bir daire çizerek dolanır.” Milankoviç Döngüleri

adıyla bilinen bu döngüler sonucunda, Dünya yüzeyine düşen güneş ışığının miktarı değişir.

Fakat buzul dönemlerine yol açan tek şey, yüzeye düşen güneş ışığının miktarındaki değişimler değildir. Güneş'in kendi içinde gerçekleşen değişimlerin de bunda payı olduğu düşünülüyor. Güneş aslında son derece kararlıdır ve bir Güneş döngüsü içindeki ısı çıktısının uğradığı değişim yüzde 1'den azdır.¹⁸ Bu oran Dünya'nın iklimini etkileyemeyecek kadar küçüktür. Gelgelelim, toplam ısı çıktısındaki bu küçük dalgalanmalara, yüzde 100'e varabilen morötesi ışıınım değişimleri eşlik eder.¹⁹ Bu yüksek enerjili ışık, stratosfer tabakasında bulunan ozon gibi molekülleri parçalar. Bu moleküller ısının atmosferde aşağı doğru taşınmasında önemli rol üstlendiklerinden, Güneş kaynaklı morötesi ışıktaki bu artış, yer-yüzü ikliminde hissedilebilir etkilere yol açar.

Buzul dönemlerinin ortaya çıkmasında yalnızca Dünya yüzeyine düşen güneş ışığındaki değişimler değil, kıta hareketleri gibi daha "dünyevi" etkiler de rol oynar.²⁰ Örneğin Güney Amerika bir zamanlar Antarktika ile birleşik durumdaydı. Ekvator bölgesinden gelen ılık suların doğrudan Güney Amerika kıyılarından aşağıya akması, Antarktiya'yı buzlardan korumaktaydı. Ancak günümüzden 33 milyon yıl kadar önce iki kıta birbirinden ayrıldı. Güney Amerika ve Antarktika arasında Drake Geçidi'nin açılmasıyla, suyun Pasifik ve Atlantik okyanusları arasında batı-doğu yönünde akması birden mümkün hale gelmişti. Suların artık çoğunlukla kuzeyden güneye değil de batıdan doğuya doğru akıyor olması ise, Antarktika'ya ısı akışını ciddi biçimde azaltarak kıtanın donmasına neden oldu.

Okyanuslardaki dolaşımda benzer bir değişim, insan kaynaklı küresel ısınma yoluyla Kuzey Atlantik'te tetiklenebilir. Şu anda ılık sular Meksika Körfezi'nden yukarıya, Batı Avrupa kıyılarına doğru akar. Orada soğuyarak dipten geri dönerler. Bu ılık su taşıma bandı, Batı Avrupa kıyılarını görece ılık tutar. Ancak kutba yakın deniz buzunun erimesi, ekvator'dan kutba giden ısının akışını bozabilir. Çünkü deniz buzı ilk oluştuğu sırada tuzunu dışarı atar. Kutba yakın bölgelerdeki deniz buzunun erimesi, sudaki tuz yoğunluğunu azaltacak, *ağırlığı azalan* su ise artık çökmeyecektir. (Grönland'daki tatlı su buzunun erimesi de aynı şeyi yapacaktır).

Sonuçta, Kuzey Atlantik taşıma bandı belli ölçüde kapanacak, Avrupa kıyısı açıklarındaki sıcaklık, bu enlemler için daha tipik sayılan değerlere düşecektir (Kanada'daki Winnipeg gibi). Dünya elbette ekvator dan kutuplara ısı nakli işini bir biçimde sürdürmek zorunda kalacaktır. Fakat bundan böyle bu rolü hava akımları ve Kuzey Buz Denizi'nin donmamış bölgelerini kapsayan doğu-batı doğrultulu akışlar üstlenebilir – tıpkı 33 milyon yıl önce, Güney Amerika'nın Antarktika'dan ayrılmasının ardından yaptıkları gibi.

Ancak son buzul dönemleri, eskileriyle karşılaştırıldığında hafif kalır. Genel görüşe göre Dünya, buzun kutuplardan ekvatora kesintisiz bir örtü gibi uzandığı iki dönemden geçmiştir. Kartopu Dünya olarak bilinen bu dönemlerden biri 650 milyon, diğeri 2,2 milyar yıl kadar önce gerçekleşmişti. Nedenleri hâlâ tartışmalı olsa da birincisi için öne sürülen akla uygun bir açıklamaya göre, bu döneme yol açan etken, birdenbire fotosentezle su moleküllerini parçalayıp oksijen moleküllerini serbest bırakma becerisini kazanan mavi-yeşil alglerdi. Bu, yaklaşık 2,3 milyar yıl önce gerçekleşmişti. Bu tür siyanobakterilerce salınan oksijen, gezegeni o zamana kadar ılık tutabilmiş olan metanı (atmosferde bol bulunan bir sera gazı) yok etmişti.

Tümüyle buzla kaplı bir gezegen, güneş ışığını da uzaya geri yansıtacaktır. Buna bağlı olarak Dünya, girdiği kartopu dönemlerinin her ikisinde de milyonlarca yıl boyunca hapsolup kalmış olabilir. Her iki süper-soğuk dönemin sonunu da muhtemelen volkanik patlamalar getirdi. Patlamalarla atmosfere giderek daha fazla karbondioksit pompalanmış, bunun yarattığı ısıtma etkisi sonunda, Dünya'nın buzunu çözmek için yeterli hale gelmişti.

Sera etkisiyle ısınma

Karbondioksit, petrol ve kömür gibi fosil yakıtların yanmasıyla üretilen ve atmosferdeki yoğunluğu endüstri çağının başlangıcından beri artmakta olan gazdır. Bu süre boyunca küresel sıcaklık düzenli biçimde artmıştır. Bu zaten beklenen bir sonuçtur, çünkü karbondioksit atmosferdeki ısıyı hapseder.

Süreç şöyle işler. Karbondioksit –ve atmosferi oluşturan diğer gazlar– Güneş’ten gelen görünür ışığa karşı geçirgendir. (Böyle olmasaydı Güneş’i göremezdik.) Güneş ışığı böylece havadan engellenmeksizin geçerek yeri ısıtır. Yer de havayı ısıtır. Yere yakın bölgelerde sıcaklığın en fazla olmasının ve troposferin tepelerine yükseldikçe giderek azalmasının nedeni budur. (Troposfer, hava olaylarının gerçekleştiği, atmosferin en alt katmanıdır.)

Yer, 20 °C sıcaklıktaki bir cisim için tipik olan bir ısı yayımıyla ışıtır. Bu kızılötesi ısınım, atmosferdeki karbondioksit tarafından emilir. Böylece Dünya’nın sahip olduğu ısıнын uzaya kaçması önlenir ve ısı atmosfer içinde hapsedilir. Bu durum bir serada olanla tam aynı şey sayılmaz. Seralarda kullanılan cam, güneş ışığını geçirir ama sıcak havanın dışarı çıkmasına karşı bir *fiziksel engel* oluşturur. Yine de karbondioksit yaygın biçimde bir sera gazı olarak nitelendirilir.

Aslına bakılırsa atmosferdeki açık ara en önemli sera gazı su buharıdır. Su buharı, atmosferin ısıtıcı etkisinin yaklaşık yüzde 75’inden sorumludur; karbondioksit ise yalnızca yüzde 20’sinden. Sonuçta sera gazlarına çok şey borçlu olduğumuzu söyleyebiliriz çünkü onlar olmasaydı Dünya’nın ortalama sıcaklığı, dondurucu şekilde, – 18 °C olurdu.

Ancak, insanlar atmosfere giderek daha fazla karbondioksit eklemeye devam ettikleri sürece küresel sıcaklık da giderek artacaktır. İngiliz kimyacı James Lovelock’ın sözleriyle: “Jeolojik değişimlerin gerçekleşmesi genelde binlerce yıl alır; şu an ise iklimin yaşam süremiz içinde bile değil, yıldan yıla değiştiğini görüyoruz.”

Grönland buz örtüsü ve Antarktik buz örtüsü şimdiden erimeye başlamış durumda. Bu erime hızlanacak ve deniz düzeyini küresel ölçekte yükselterek alçaktaki kıyı bölgelerini suyla kaplayacak. Okyanus ve atmosfer dolaşımının şimdiden öngöremediğimiz değişiklikler geçirecek olması ise Dünya’nın 7 milyarlık nüfusu için endişe verici sonuçlar doğurabilir. Hiç kimse bu işin sonunu bilmiyor. Ancak doğa bize ihtimallerden birini sunuyor zaten: Venüs.

Güneş’e uzaklığı, Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin üçte ikisi kadar olan Venüs, suyunu tarihinin erken dönemlerinde kaybetmişti. Güneş’ten gelen yüksek ısı, ilkel okyanusların hızla buharlaşmaya başlamasına neden olmuştu. Güçlü bir sera gazı olan

su buharı gezegenin daha da ısınmasına, daha fazla ısınma okyanuslarda daha fazla buharlaşmaya, bu da yine daha fazla ısınmaya yol açmış ve süreç böyle devam etmişti. Varlığı ilk kez Carl Sagan ve William Kellogg tarafından 1961'de ileri sürülen bu kontrolden çıkmış sera etkisi, sonunda Venüs'ün okyanuslarını tümüyle buharlaştırıp yok etti. Bugün okyanusların izine rastlamıyoruz, çünkü Güneş'ten gelen yüksek enerjili morötesi ışıınım, atmosferin en üst kesimlerinde su moleküllerini hidrojen ve oksijen atomlarına parçalamış, bunlar da Güneş rüzgârlarıyla gezegenden dışarı sürüklenmiştir. Venüs sonunda tüm okyanuslarını uzaya teslim etmiştir.

Dünya'nın atmosferi, yanardağlardan gelen karbondioksitten yağmurlarla arındırılır. Fakat su içermeyen Venüs'te böyle bir şeyin olması mümkün değildi. Atmosferdeki karbondioksit düzeyi gitgide artmıştı. Günümüzde Venüs'ün karbondioksit düzeyi, Dünya atmosferindeki karbondioksitin 92 katı kadardır. Bunun yüzeyde ezici bir basınç yaratması bir yana –Dünya okyanuslarında bir kilometre derinlikteki basınca eşit– sera gazının ısıtma etkisi, kurşunu bile eritebilecek bir sıcaklık yaratır. Bütün gezegen yanardağlarca püskürtülen sülfür dioksitin oluşturduğu, aşılması olanaksız sülfürik asit bulutlarıyla sarılmıştır. Kısaca Venüs cehennemnin ta kendisidir.

Dünya, Venüs'e kıyasla Güneş'e daha uzak olduğundan, gezegenimizdeki ısınmanın kontrolden çıkmış sera etkisi felaketiyle sonuçlanıp sonuçlanmayacağı henüz kesin değil. Ancak sorumlusu olalım veya olmayalım, kesin olan bir şey varsa o da, bunun günün birinde *doğal* biçimde gerçekleşecek olmasıdır.

Bunun nedeni Güneşin, içindeki hidrojen yakıtını yaktıkça daha fazla ısınmasıdır.²¹ Hatta Güneş şu anda, doğduğu 4,55 milyar yıl öncesine kıyasla yaklaşık yüzde 30 daha parlaktır.²² Gelecekte, Güneş'in parlaklığı artmaya devam ettikçe, okyanuslardan giderek daha fazla su buharlaşacak, bu da atmosferde daha fazla ısı hapsedecek, bunun sonucunda daha fazla okyanus buharlaşacak ve süreç böyle devam edip gidecektir. Buram buram terleyen gezegende, kireç kayalıklar gibi karbonatlı yapıların içine hapsedilmiş karbondioksit yavaş yavaş atmosfere sızmaya başlayacak, atmosfer daha fazla ısı tutar hale gelecek, bu da atmosfere daha fazla

karbondioksit salınmasına yol açacaktır. Sonunda, MS 1 milyarlı yıllara gelindiğinde okyanuslar tümüyle buharlaşıp uzaya karışmış olacak, atmosfer de büyük oranda karbondioksit olacaktır. Dünya'daki karbonatlı kayalıklarda hapsolmuş durumdaki karbondioksit, Venüs'ün bugün süper-yoğun atmosferinde barındırdığı karbondioksitle tesadüfen, kabaca aynı miktardadır. Sonuçta bu karbondioksitin tümü atmosfere karıştığında, Dünya da *Venüs ile neredeyse tıpatıp aynı* hale gelmiş olacaktır.

Ama Dünya'nın çilesi bu kadarla bitmiyor. 5 milyar yıl sonra Güneş'in çekirdeğindeki hidrojen yakıtı tükenmiş, Güneş de şişerek süper-parlaklıkta, korkunç büyüklükte bir kırmızı deve dönüşmüş ve bugün pompaladığının 10.000 katı kadar ısı pompalıyor olacak. Bu koca şişkin yıldız, gezegenimizi olur da tümüyle yutmazsa bile –kendisine daha yakın olan Merkür ve Venüs'ü yutacağı kesin– onu yanmış ve kararmış bir kömür yığınınına dönüştüreceğine kesin gözüyle bakabiliriz.²³

Ancak torunlarımızın (hâlâ hayatta olacakları varsayımıyla) Güneş Sistemi'ni terk edip yaşayabilecekleri başka bir gezegen bulmaları için bundan çok daha kısa bir zamanları var. “Dünya insanlığın beşiğidir,” demişti Sibiryalı öncü roketçi Konstantin Tsiolkovsy, “ama insanlık sonsuza kadar beşikte kalmaz.”

DÖRDÜNCÜ KISIM

İşleyişin Özü

14:

HEPİMİZ BUHAR
MAKİNESİYİZ

Termodinamik

Termodinamiğin ikinci yasasını bilmemek,
Shakespeare'in hiçbir eserini okumamış
olmakla eşdeğerdir.

C. P. SNOW, "İki Kültür", 1959

Sindirimden sanatsal yaratıcılığa kadar tüm
eylemlerimiz, özünde bir buhar makinesinin
işleyişinde saklıdır.

PETER ATKINS, *Evreni Yöneten Dört Yasa*

Dünya'nın Güneş'ten alıp hapsettiği enerjinin miktarı nedir? Yanıt: sıfır. Bir düşünün. Sıcak bir günde Güneş'in altına çıktığınızda terlersiniz. Bu şekilde ısıyı, vücudunuzun emdiği hızla atmış olursunuz. Bunu yapamayasaydınız, vücudunuz sıcak çarpmasından bayılacağınız noktaya kadar ısınırdı. Dünya da ısıyı, Güneş'ten aldığı oranda uzaya geri yayar. Bunu yapamasaıdı o da, kayalar bal kıvamına gelene kadar ısınırdı.¹

Peki ama Dünya Güneş'ten net enerji almıyorsa, *ne* alıyor? Sonuçta biyolojik etkinlikler de dahil, Dünya'daki tüm etkinliklerin gücü bir yerlerden geliyor olmalı. Bir ipucu, Güneş'ten gelen enerji *miktarına* değil, bu enerjinin *kalitesine* bakmaktır. Dünya'dan uzaya geri yayılan ısıнын, gezegene Güneş'ten gelen ısıdan daha *düşük kalitede* olduğu görülür. Öyleyse Dünya bu ısıdan bir şeyler alıp tüketiyor olmalı. Ama ne?

Bu soruya yanıt vermeden önce, Dünya'nın bir buhar makinesine benzediğini bilmek gerekiyor. Hatta İngiliz kimyacı Peter Atkins'in dediğı gibi, "Hepimiz birer buhar makinesiyiz."² Buhar makinesi özünde oldukça basit bir aygıttır. Temel olarak, buharla dolu, yüksek sıcaklıktaki kapalı bir kaptır. Buhar, kap içindeki oynar bir duvarı (piston) dış basınca karşı iter. Bunun sonucunda sıcaklığı düşer (çevreleyen havanın sıcaklığına eşitlenir) ve yoğunlaşarak suya dönüşür. Hepsi bu kadar.

Biraz da pistonu bakalım. Bir kuvvete karşı hareket eden bir nesnenin "iş yaptığı" söylenir. Dışarıdaki hava basıncına karşı hareket eden pistonun yaptığı da budur. İş, dünyadaki tüm varlıkların yaptığı bir şeydir. Ayağınızı yerçekimi kuvvetine karşı her kaldırdığınızda kaslarınız iş yapmış olur. Bilgisayarınızdan geçen akım içindeki elektronların, yollarına çıkan atomların uyguladığı direnme gücüne karşı hareket ederken yaptıkları şey iştir. İş yapılmıyorsa her hangi bir etkinlik de söz konusu olmaz, dünyadaki her şey, sonsuza kadar hareketsiz ve atıl biçimde kalakalırdı.

Bir buhar makinesinde işi yapan, yüksek sıcaklıkla işe koyulup düşük sıcaklıkla sonlanan ısı enerjisidir. Aynı şey Dünya için de geçerlidir. İş, yüksek sıcaklıklarla başlayıp (Güneş için tipik olan 5.500 °C) düşük sıcaklıklarla sonlanan (Dünya yüzeyi için tipik olan 20 °C) ısı enerjisiyle yapılır. Ancak bu enerji yalnızca bir pistonu itirmek yerine, kasırgaların esmesinden balıkların yüzmesine, vücudunuzu yaşanabilir sıcaklık olan 37 °C’de tutan biyokimyasal tepkimelerin sürdürülmesine kadar her şeyi yönlendirir.

Öyleyse Dünya’dan yayılan ısı enerjisini, Dünya’ya ulaşan ısı enerjisinden nitelik açısından farklı kılan şey *sıcaklıktır*.¹

Peki ama sıcaklık değişiminin işle ilgisi nedir? Buna yanıt vermek için ısı ve işin gerçekte ne olduklarını anlamamız gerekir.

Isı, düzensiz harekettir. Buhar içindeki molekülleri görebilseydiniz, onları öfkeli bir arı sürüsü gibi oraya buraya gelişigüzel uçarken görürdünüz. Akkor hale gelmiş bir demir çubuğun içindeki atomları görebilseydiniz, sabit konumlarında gelişigüzel titreştiklerini fark ederdiniz. İş ise düzenli harekettir. Bir pistonun hareketi ya da kolunuzdaki bir kasın kasılması sırasında, çok büyük sayıda atom tek bir varlık olarak, uygun adım hareket eder.

Bir kap içindeki buhar, pistonu iterek iş yaptığında, buhar molekülleri tıpkı bir teneke çatıya düşen sayısız yağmur damlası gibi tıkırdayarak pistona çarpar.⁴ Her molekül ancak çok küçük bir itme etkisi gösterse de, bir araya geldiklerinde pistonu bir bütün olarak yönlendirecek güce ulaşırlar.

Sıcaklık, bir nesnenin içerdiği atom gibi mikroskobik bileşenlerin ortalama hızlarının bir ölçüsüdür. Sıcak bir nesnenin atomları hızlı hareket ederken, soğuk bir nesneye ait atomların hareketi hantaldır. Küçücük itme gücünü pistona uygulayan her bir buhar molekülü, hareket enerjisinin, yani hızının bir bölümünü kaybeder.⁵ Öyleyse pistonu hareket ettirmek için yapılan işin bedeli de, moleküllerin ortalama hızındaki, bir başka deyişle buharın sıcaklığındaki düşüştür.

Ancak buradaki bir incelik, bizi yeniden Dünya ve Güneş meselesine getiriyor – ve bilimde ortaya çıkmış en derin içgörülerden birine: termodinamiğin ikinci yasası.

Isının ne kadarı piston için *yararlı* işe dönüştürülebilir? “Hepsi” diye düşünebilirsiniz. Ne de olsa, fiziğin temel yasalarından biri

–termodinamiğin birinci yasası– enerjinin yaratılamayacağını veya yok edilemeyeceğini, yalnızca bir biçimden bir diğerine dönüştürülebileceğini söyler. Örneğin elektrik enerjisi, bir elektrik ampülü içinde ışık enerjisi ve ısı enerjisine dönüştürülebilir; kimyasal enerji, bedeninizdeki kasların hareket enerjisine dönüştürülebilir vs. Ancak daha bilinen adıyla enerjinin korunumu yasası, bize, yalnızca ilkece mümkün olan şeyi söyler; *uygulamada* mümkün olan şeyi değil.⁶

Buhar pistonunun sorunu, *düzenli* bir kütsel hareket sağlamak için *rassal* mikroskobik hareketleri kullanıyor olmasıdır. Buhar atomlarının bir kısmı pistonla tam aynı yönde hareket etse de çoğu etmez; hatta bazıları pistonun hareket yönüne dik uçar ki bunlar pistonu hiç itmez. Açıktır ki, buhar moleküllerinin sahip olduğu hareket enerjisinin hepsi *kullanılamaz*; çünkü hepsi pistonun hareket enerjisine dönüştürülemez. Sonuçta bir buhar makinesi hiçbir zaman yüzde 100 verimli olamaz.⁷

Bu aslında termodinamiğin ikinci yasasının, on dokuzuncu yüzyılda İngiliz fizikçi Lord Kelvin tarafından formüle edilen bir ifadesidir: “Isı, yüzde 100 verimlilikle işe dönüştürülemez.” Bu ifade, yasanın öyle çok heyecan verici ya da derinlemesine kavrayış sunan bir versiyonu değildir – en azından yasanın hayatla, evrenle ve her şeyle ilgili kuşatıcı gücü ve derin çıkarımları göz önüne alındığında. Bunun için entropi kavramını anlamak gerekir.

Entropi, kabaca, bir sistemin (örneğin buharla dolu bir pistonun) içerdiği mikroskobik düzensizlik derecesidir. Belirli bir Q ısı, sisteme belirli bir T sıcaklığında eklenirse, sistemin entropisi Q/T oranında artar. Kafa karıştırıcı görünse de aslında arkasındaki mantık akla yatkındır.

Sıcaklık, atomların hangi canlılıkla hareket ettiklerinin bir ölçüsüdür. Düşük sıcaklıkta bir nesne düşünün. Bu nesneye ısı eklemek, kütüphane gibi sessiz bir ortamda hışırtıya benzer. Büyük bir etki yaratır. Düzensizlik ya da entropide büyük bir artış olmuştur. Bunu yüksek sıcaklıklı bir nesneyle karşılaştıralım. Bu sefer bir önceki örnekte eklediğimiz ısıнын aynısını eklemek, hareketli ve kalabalık bir caddede hışırtıya benzer. Etkisi az olur. Düzensizlik ya da entropide görülen artış azdır.

Bir buhar makinesinde buhar, başlangıçta yüksek sıcaklıktadır. Dolayısıyla, pistonu hareket ettirmek için buharı terk eden enerji,

onun entropisini azaltacaktır – fakat yalnızca küçük oranda (kalabalık caddedeki hapsirme etkisi gibi). Ama bu enerji, sonunda daha düşük sıcaklıktaki çevre ortamına geçecek ve ortamın entropisini büyük oranda artıracaktır (kütüphanedeki hapsirme etkisi gibi).⁸ Başka bir ifadeyle, piston üzerinde yapılan işin sonucu, o sistem ve çevresinin entropisindeki net *artıştır*.

Ve bu *her zaman* olur. İş yapıldığında her zaman evrenin entropisi artar. Aslına bakılırsa, tüm fizik yasalarının belki de en kapsamlısı olan termodinamiğin ikinci yasasının tanımlayıcı ifadesi budur. “Entropinin her zaman arttığı yolundaki yasa, kanımca Doğa yasaları arasında en üst konumdadır,” der İngiliz fizikçi Arthur Eddington. “Eğer ileri sürdüğünüz kuram termodinamiğin ikinci yasasını ihlal ediyorsa, hiç şansı yok demektir. Olabilecek en derin utanç içinde çökmekten başka yolu yoktur.”⁹

Dünya örneğinde ise, Güneş’ten tipik olarak 5.778° Kelvinlik¹⁰ ısı enerjisi emilir ve 300° Kelvinlik ısı enerjisi uzaya geri yayılır.¹¹ Bu entropide muazzam bir net artışı yansıtan bu durum,¹² Dünya’da yürüyen şaşırtıcı çokluktaki iş sürecinin karşılığı olarak evrenin ödediği bedeldir.

Genel kanının aksine, Dünya bir enerji kriziyle karşı karşıya değildir; temelde Güneş’ten alıp kullandığı bir net enerji yoktur. Dünya’nın asıl karşı karşı olduğu şey, *entropi krizidir*. Isı, iş yaptıktan sonra düşük sıcaklıkta ısıya, yani daha düzensiz ve daha düşük kaliteli enerjiye dönüşür. Bu enerjinin daha fazla iş yapma yetisi sınırlıdır. Unutmayın, bir buhar makinesinin iş yapabilmesi, ancak ısının daha da düşük bir sıcaklıkta atılması koşuluyla mümkündür. Ancak uygulamada çevre sıcaklığıyla belirlenen bir alt sınır vardır. Isı bir kez bu sıcaklığa düştüğünde, daha düşük bir sıcaklıkta atılması mümkün değildir ve dolayısıyla daha fazla iş yapılamaz.

Yaşam entropinin artma eğilimini nasıl tersine çevirir?

Peki ama entropi –düzensizlik– sürekli artıyorsa, nasıl oluyor da görünüşte düzenin hakim olduğu bir dünyada yaşıyoruz?

Özellikle de canlılar, belirli bir yapıya sahip ve düzensizlikten alabildiğine uzak olmalarıyla, entropinin artma eğilimini nasıl tersine çevirebiliyorlar?

Fakat dikkat edin, ikinci yasa entropinin yalnızca *toplamda* arttığında ısrar eder. Bir hücrenin oluşum sürecinde, hücre zarının ve iç hücresel düzeneğin inşa edilmesi için gerekli kimyasal tepkimelerin hepsi ısı üretir. Bu ısı, ortamın entropisini, hücre inşası sürecinin düşürdüğünden çok daha büyük oranda artırır. Yaşam, düzensizliği evrene ihraç eder.

Dünya'daki tüm süreçlerin sonuçta Güneş ve Dünya arasındaki sıcaklık farkına dayanması gibi, *evrendeki tüm süreçler de* sonuçta sıcak olan yıldızlar ve soğuk olan uzay boşluğu arasındaki sıcaklık farkına dayanır.¹³ Pırıl pırıl ve berrak bir geceye bir dahaki çıkışınızda, yukarı bakıp yıldızları seyrederken bunu da hatırlayın.

Ancak bu durum, düzensizlikteki sürekli artma eğilimini yaşamın nasıl tersine çevirdiğini yine de açıklamaz. Sonuçta bir iş kendiliğinden yapıldığında entropi daima artar (Örneğin bir kiremitin çatıdan yere düşerek parçalanıp ısı ve ses enerjisi ortaya çıkardığında olduğu gibi). Yanıt, yaşamın zeki oluşunda yatar. Yüksek sıcaklığa benzer bir örnek olarak, bir kaldıraçla yukarı çekilmiş büyük bir ağırlık düşünün. Ağırlık düşerken bir iş yapabilir; örneğin bir duvar saatinin kollarını hareket ettirebilir. Bu arada kaçınılmaz olarak ısı açığa çıkar (kaldıraç halatı üzerindeki sürtünmeden dolayı, saat mekanizması içindeki sürtünmeden dolayı vs.) ve entropiyi arttırır. Ama diyelim ki ağırlık düşerken daha küçük bir ağırlığı yukarı kaldırıyor. Küçük ağırlığın yukarı kalkması bir parça düzen oluşturur ve entropiyi hafifçe düşürür. Daha sonra küçük ağırlık düşerse o da bir iş yapabilir. Ama diyelim ki o da daha küçük bir ağırlığı havaya kaldırıyor ve entropi biraz daha düşüyor...

İşte yaşam da ısı enerjisinden bu şekilde beslenir; enerjinin kalitesini düşürürken bir yandan da düzeni artırır. Elbette bu arada ağırlık ya da kaldıraçlar yerine sürüsüyle başka araçtan yararlanır, fakat ilke aynıdır. Örneğin bitkiler güneş ışığını emip enerji bakımından zengin kimyasallar üretir ki bu daha sonra iş yapmada kullanılabilecek küçük bir ağırlığın yukarı kaldırılmasıyla eşdeğerdir. Birçok başka kimyasal sürecin de katılımıyla gerçekleşen

şaşırtıcı bir olaylar dizisiyle yaşam, Güneş enerjisinin her bir damlasını iş yapmada kullanır ve sonunda kalan düşük kaliteli ısıyı, evrenin nihai cürufu olarak elinden çıkarır.

Yaşam, düzeni çok daha fazla düzensizlik pahasına sağlar ve onu da çevresine ihraç eder. Dünya'nın biyosferi, kozmik kaos denizinde yüzmekte olan bir düzen adasıdır. "Yaşam, bilgiyi koruma sorununa, termodinamiğin ikinci yasasına karşın, doğanın bulduğu çözümdür,"¹⁴ der Howard Resnikoff¹⁵

Isı Ölümü

Küresel ölçekte bakıldığında evrendeki hiçbir süreç düzensizliğin acımasızca artma eğilimine karşı gelemez. Bu gerçeği ilk kez on dokuzuncu yüzyılda keşfeden fizikçiler epeyce karamsarlığa kapılmışlardı. Ne de olsa entropinin sürekli olarak artıyor olması, evrenin er veya geç maksimum entropi noktasına ulaşacağı anlamına gelir. Bu noktada evrendeki tüm ısı, en düşük nitelikli durumuna indirgenecek ve herhangi bir etkinliğin gerçekleşmesini sağlayacak sıcaklık farkı olmayacaktır. Alman fizikçi Rudolf Clausius'un Isı Ölümü adını verdiği bu kozmik usanç durumu içinde, tüm kozmik mekanizmalar durma noktasına gelecek ve evren, şair T. S. Eliot'ın sözleriyle, "patlamayla değil, bir iniltiyle son bulacak"tır.¹⁶

Bildiğimiz kadarıyla, evrenin böyle hazin bir sondan kaçması'nın yolu yoktur. Bu noktada ilginç bir soruyla karşı karşıya kalırız: evren, Isı Ölümü'ne ne kadar yakın? Yanıt: tahmin edebileceğinizden çok daha fazla. Evrenin uzunluğu ve genişliği boyunca gelişigüzel biçimde ışık saçan sayısız yıldız, düzensizliği açıklar görünür fakat durum böyle değildir. Evrendeki düzensizliğin çoğu aslında Büyük Patlama'yla oluşan ateş topunun ardıl ışımasıyla yakından ilintilidir. İnanılmaz biçimde, zamanın başlangıcından 13,8 milyar yıl sonra bu kozmik arkaplan ışıınımı hâlâ evrenin her bir noktasında dolaşmaktadır. Evrenin 13,8 milyar yıl içindeki genişlemesi sonucu hayli soğumuş olan bu ışıınım, çıplak gözle görünemeyen uzak kızılötesi ışık olarak karşımıza çıkar. Yıldızların ışıkları evrendeki tüm fotonların, yani ışık parçacıklarının hepi topu yüzde 0,1'ine karşılık gelir; kozmik arkaplan ışıınımı ise yüzde 99,9'una.

Bu noktada bilinmesi gereken temel şey, ateştopu ışınlamının Büyük Patlama'dan yalnızca 379.000 yıl sonra maddeden ayrılarak serbest kaldığı, yani *yaratıldığıdır*. Bunun sonucunda evren de, var olduğu sürenin çoğunda Isı Ölümü'ne görece yakın olmuştur. Buna karşın, kozmik entropinin artması için hâlâ epeyce bir zaman var. Tüm yıldızların sönüp evrenin sonsuz karanlığa dalması için onlarca trilyon yıl geçmesi gerekiyor.

Alman fizikçi Arnold Sommerfeld'in termodinamik hakkındaki şu sözleri size biraz cesaret verecektir: "Konu üzerinden ilk gidişinizde hiçbir şey anlamazsınız. İkinci gidişinizde, bir iki nokta dışında anladığınızı zannedersiniz. Üçüncü gidişinizde ise anlamadığınızı artık bilmektesinizdir, ama buna o kadar alışmışsınızdır ki, artık sizi rahatsız etmez hale gelmiştir!"

İŞ:
SİHİRSİZ SİHİR
Kuantum Kuramı

Tanrı evrenle zar oynamaz.
ALBERT EINSTEIN

Tanrı'ya zarlarıyla ne yapacağını söylemekten
vazgeç.
NIELS BOHR

Kuantum kuramı, sıradan maddenin yapıtaşları olan atomlar ve bileşenlerinin mikroskobik dünyası üzerine getirdiğimiz en iyi açıklamadır. İnanılmaz ölçüde başarılı bir kuramdır aynı zamanda. Bize lazerler, bilgisayarlar ve nükleer reaktörler vermekle kalmamış, Güneş'in nasıl parladığı, ayak bastığımız toprağın neden sert olduğu gibi sorulara açıklamalar da getirmiştir.

Kuantum kuramı, bir şeyler üretme ve anlamaya yardımcı sırada dışı bir tarif olmanın ötesinde, sıradan, günlük gerçekliğin altında yatan tuhaf, sezgisel olana aykırı *Alice Harikalar Diyarında* dünyasına da benzersiz bir pencere açmaktadır. Burası, tek bir atomun aynı anda iki yerde birden olabildiği, kesinlikle hiçbir nedene dayandırılmayan olayların gerçekleştiği ve iki atomun, evrenin iki farklı ucunda bile olsalar birbirlerini *anında* etkileyebilecekleri bir yerdir.

Kuantum kuramı nasıl ortaya çıktı?

Kuantum kuramı, fiziğin iki büyük kuramı –madde kuramı ve ışık kuramı– arasındaki çatışmadan doğmuştur. Madde kuramı, her şeyin nihai olarak küçücük ve bölünemez parçalardan, yani atomlardan oluştuğunu savunur.¹ Işık kuramı ise ışığın, tıpkı göldeki bir dalgacık gibi dışarı doğru yayılarak ilerleyen bir dalga olduğunu söyler.

Her iki kuram da çok başarılıdır. Örneğin atom kuramı, buhar gibi gazların davranışlarını açıklar. Boyle Yasası'nın açıkladığı üzere eğer bir gaz ilk hacminin yarısına sıkıştırılırsa, uyguladığı kuvvet –ya da basınç– iki katına çıkar. Eğer basıncı oluşturan şey kabın duvarlarına –tıpkı yağmurun teneke bir çatıya çarptığı gibi– çarpan atomlarsa, bu durum açıklanabilir. Hacim yarıya düştüğünde atomların bir çarpmadan bir diğerine uçacakları mesafe de yarıya

düşmüştür; bu nedenle duvarlara eskisinin iki katı çok çarpar, basıncı da ikiye katlarlar.

Işık kuramının da başarı bakımından geri kalır yanı yoktur. Ancak açıkladığı olaylar genellikle birbiri üzerine binen, birbirini güçlendiren ya da sıfırlayan ışık dalgalarını içerir. Birbirini izleyen dalgaların tepeleri arasındaki mesafe, bir insan saçının kalınlığından çok daha az olduğu için, bu tür “girişim” ya da “kırılım” olaylarını seçmek zor olduğu gibi, bunları çıplak göze görünür kılmak da bilimsel yaratıcılık ister.

Işığın dalga olduğunu ileri süren ışık kuramı ile maddenin atomlardan oluştuğunu savunan madde kuramı arasındaki çatışmanın kendini gösterdiği yerin, *ışığın maddeyle karşılaştığı* yer olması, pek de şaşırtıcı sayılmaz. Bir atomun ışık püskürttüğü (örneğin bir elektrik ampulünde) ya da yuttuğu (örneğin gözünüzde) durumlar, bu karşılaşmaların daha somut örnekleridir.

Sorunu anlamak çok güç değil. Bir ışık dalgası özünde yayılan bir şeydir, atom ise özünde yerel bir şeydir – bu cümlenin sonundaki noktanın bir ucundan diğerine ulaşmak için 10 milyon atom gerekir. Hatta görünür ışık dalgası, bir atomdan yaklaşık 5.000 kat büyüktür. Diyelim ki elinizde bir kibrit kutusu var; kutuyu açıyorsunuz ve içinden 40 tonluk bir kamyon çıkıyor. Ya da 40 tonluk bir kamyon yavaş yavaş yaklaşıp, elinizdeki kibrit kutusunu açıyorsunuz, kamyon da içeri dalıyor. Işığın maddeyle karşı karşıya gelmesi de işte böyle bir şeydir. Atomun bir şekilde, kendinden 5.000 kat büyük bir şeyi yutması ya da dışarı tükürmesi gerekir.

Mantıksal olarak, bir şeyin atom kadar küçük ve yerel bir başka şey tarafından çıkarılması ya da yutulmasının tek yolu, aşırı küçük ve yerel olmasıdır. “Bir yılanın içine hiçbir şey bir başka yılan kadar iyi sığamaz,” demişti doğa programları yapımcısı Ray Mears. Gelgelelim, ışığın gerçekten de yayılımlı bir dalga olduğunu tartışmasız biçimde ortaya koyan sayısız deney vardır.

Bu ikilemi çözümlemek, 1920’lerin fizikçileri için zihinsel bir eziyete dönüşmüştü. “Gecenin çok geç saatlerine kadar süren ve çaresizliğe yakın bir noktada sonlandırdığımız tartışmaları hatırlıyorum,” diye yazmıştı Alman fizikçi Werner Heisenberg. “Bir tartışmanın sonunda, yandaki parkta tek başıma yürüyüşe çıktığımda

kendi kendime aynı soruyu defalarca sorup dururdum: Doğa bu atom deneylerinde bize görüldüğü kadar tuhaf ve anlamsız olabilir mi?”¹

Fizikçiler sonunda inanılması son derece güç bir şeyi kabul etmek zorunda kaldı: ışığın hem yayımlı bir dalga *hem de* bir parçacık olduğunu. Bir başka ifadeyle ışık, ne bir dalgadır ne de bir parçacık; dilimizde karşılığı bulunmayan, günlük hayatta da kendisini karşılaştıracığımız herhangi bir araca sahip olmadığımız *başka bir şeydir*. Mavi renk, doğuştan kör olan bir insan için ne kadar kavranamazsa, ışık da temelde bizim için o kadar kavranamazdır. “Elimizdeki iki eksik benzetmeyle idare etmek zorundayız” demişti Heisenberg; “dalga resmi ve parçacık resmi.”²

Geriye dönüp baktığımızda diyebiliriz ki, fizikçilerin belki de bu mikroskop-altı dünyanın *tuhaflığına* şaşırمامış olmaları gerekirdi. Bir insandan 10 milyar kat daha küçük olan bir atomun dünyası, neden gündelik yaşamdaki nesneler gibi davranan nesneler içersindi ki? Neden aynı müzikle dans etmek, aynı fizik kurallarına tabi olmak zorunda kalsınlardı?

Işık kavranamaz bir şeydir ve bizim de yapmayı umabileceğimiz tek şey, onun çeşitli yönlerini gözlemlemektir. Işık bir atom tarafından emildiğinde ya da dışarı verildiğinde, onun, foton olarak bilinen, parçacığa benzer yüzünü görürüz; bir köşeden bükülerek geçtiğindeyse dalgaya benzer yüzünü.⁴ İngiliz fizikçi William Bragg’ın 1921’deki esprili ifadesiyle, “Pazartesi, Çarşamba ve Cumaları dalga kuramını; Salı, Perşembe ve Cumartesileri de parçacık kuramını öğretiriz.”

Ancak öyle anlaşıyor ki işler bununla da bitmiyor. 1923’te Fransız fizikçi Louis de Broglie, doktora tezinde ışık dalgalarının yerel parçacık davranışı gösterebildikleri, elektron gibi parçacıkların da yayımlı dalga davranışı gösterebildiklerini ileri sürmüştü. Broglie’ye göre maddenin bütün mikroskobik yapıtaşları iki yüze sahiptir ve hepsi de tuhaf bir dalga-parçacık ikiliği paylaşır. Hatta kuantum kuramını anlamak için tek bir şey bilmeniz gerekiyorsa o da şudur: *Dalgalar parçacık, parçacıklar da dalga gibi davranabilir.*

*Parçacık davranışı gösteren dalgalar öngörülemezliğe
işaret eder*

Önce yukarıdaki cümlelerin ilk yarısını ele alalım: Dalgalar parçacık gibi davranabilir. Bir pencereden sokağa bakmakta olduğunuzu düşünün. Göreceğiniz şey, belki geçmekte olan bir araba, belki de köpeğini yürütürken bir ağacın yanından geçen bir kadın olacak. Ama biraz daha dikkatli bakarsanız, yüzünüzün hafif bir yansımasını da seçebileceksiniz. Bunun nedeni, camın ışığı kusursuzca ilememesidir. Işığın çoğu –diyelim ki yüzde 95'i– camdan doğrudan geçerken, kalan yüzde 5'lik oran geri yansımaktadır. Bu noktada akla şu soru gelir: Işık parçacık davranışı gösteriyorsa –fotonların hepsi ardı ardına ateşlenen makineli tüfek mermileri gibi birbirinin aynısı– böyle bir şey nasıl mümkün olabilir?

Eğer fotonların hepsi özdeş ise, pencere camından *aynı biçimde* etkilenmeleri gerekmez mi? Ya *hepsi* birden iletilmeli ya da *hepsi* birden yansıtılmalıdır. *Bazılarının* iletilip *bazılarının* yansıtılmasını açıklamanın bir yolu gözükmemektedir. Tabii fotonların iletilme ve yansıtılma *olasılıkları* da özdeş değilse (Fizikçiler bu noktada *özdeş* sözcüğünün mikroskobik dünyadaki anlamıyla ilgili daha dar kapsamlı bir açıklamayı kabul etmek zorunda kalmıştır).

Ancak böyle bir durum, ilk kez Einstein'ın fark ettiği gibi, fizik açısından tam bir felaket demektir. Fizik, geleceği yüzde 100 kesinlikle öngörmenin reçetesidir. Ay, bugün şu noktadadır ve Newton'un kütleçekim kuramı, yarın nerede olacağını bize *mutlak kesinlikle* söyler. Ama fotonların iletilip iletilmemesi şansa bağlıysa, pencere camına çarpan belirli bir fotonun ne yapacağını öngörmek de imkânsızdır. Camdan geçecek mi, yoksa yansıyıp geri mi dönecek, tümüyle şansa bağlıdır.

Burada şans ile kastettiğimiz şey, sözcüğün günlük hayatımızda alışık olduğumuz anlamından farklıdır. Bir rulet topunun nerede duracağını şansa bağlı olduğunu düşünebiliriz. Ancak aslında topun ilk hareketini, çark ile top arasındaki sürtünmeyi, kumarhanedeki hava akımlarının hareketlerini vs. bilseydik, Newton yasaları topun *tam olarak* nerede duracağını öngörebilirdi. Bunu yapamıyor oluşumuzun nedeni, tüm bu değişkenleri yeterli kesinlikle ölçemememiz ve gereken hesaplamaları yeterli ondalık kesinliğiyle yerine

getiremememizdir. Bunu teoride başarsak bile uygulamada başaramayız. Oysa cama çarpan fotonda, fotonun ne yapacağını –camdan geçip geçmeyeceğini– *teoride bile* öngörmek mümkün değildir. Kuantum belirsizliği, gerçekten de Güneş altında yeni bir şeydir.

Üstelik temelden öngörülemeyen olan tek şey fotonlar değildir. Nötronlardan nötrinolara, elektronlardan atomlara, mikroskop altı dünyanın tüm sakinleri için aynı şey geçerlidir. Bu fikir karşısında dehşete düşen Einstein, şu ünlü cümleyi söylemişti: “Tanrı evrenle zar oynamaz.” Ama Einstein yanılıyordu.’

Akla şu soru geliyor: Evren en temel düzeyde öngörülemeyen ise, Güneş’in yarın doğacağını ya da bir topun üç aşağı beş yukarı attığımız yere ineceğini nasıl bilebiliyoruz? Yanıt, doğanın bir eliyle aldığını, gönülsüzce de olsa öbür eliyle geri vermesindedir. Evet, evren öngörülemeyen. Ama işin kilit noktası şu ki, bu *öngörülemeyenliğin kendisi öngörülebilirdir*. Aslında kuantum kuramı da bundan ibarettir: öngörülemeyen olanı öngörme reçetesi – falanca olayın gerçekleşme ihtimali, filanca olayın gerçekleşme ihtimali... Bu, öyle anlaşılıyor ki, kendimizi içinde yaşar bulduğumuz, büyük ölçüde öngörülebilen dünyayı yaratmak için yeterlidir.

Dalgaların parçacık gibi davranmasının bir sonucu olarak her şeyin özünde rassal biçimde ve herhangi bir nedene bağlı olmadan geliştiği gerçeği, belki de bilim tarihinin en sarsıcı keşfidir. Fakat o önemli cümlenin ikinci bir yarısı olduğunu da hatırlayalım: Parçacıklar da dalga davranışı gösterebilir. Bunun sonuçları da aynı ölçüde şaşırtıcıdır.

*Dalga davranışı gösteren parçacıklar süperpozisyona
işaret eder*

Parçacıklar dalga gibi davranabiliyorsa, dalgaların yapabildiği *her şeyi* de yapabilirler demektir. Ve dalgaların yapabildiği şeylerden biri gündelik dünyada sıradanken, kuantum dünyasında son derece sarsıcı sonuçlar doğurur.

Denizin açıklarında fırtına çıktığını ve dev dalgaların bir kumsala çarptığını hayal edin. Ertesi gün fırtına dinmiş ve deniz yüzeyi hafif esintinin etkisiyle küçük dalgacıklarla kaplanmış. Denizdeki

dalgalara dikkat etmiş olanların bileceği üzere, büyük bir dalganın yüzeyinde bazen başka küçük dalgalanmalar olur. Bu, tüm dalgaların genel bir özelliğidir. Eğer iki dalga birbirinden ayrı olarak oluşabiliyorsa, bu ikisinin üst üste binmiş durumu, yani “süperpozisyonu” da her zaman mümkündür.

Şimdi de örneğin bir atomun kuantum dalgasını düşünelim. Bu aslında biraz tuhaf bir dalgadır, çünkü matematikseldir. Yine de bunu uzay boyunca yayılır halde hayal edebiliriz. Burada önemli olan, dalganın büyük olduğu yerde atomu bulma ihtimalinin yüksek, küçük olduğu yerde düşük olmasıdır.⁶

Buraya kadar her şey yolunda.

Şimdi iki kuantum dalgası düşünün. Bunlardan oksijen atomunun dalgası 10 metre kadar solunuzda büyük bir tepe oluşturmuş olduğundan, atomu o bölgede bulmanız ihtimali çok yüksek. Diğeri ise yine aynı oksijen atomunun 10 metre sağınızda büyük bir tepe oluşturmuş kuantum dalgası; dolayısıyla atomu orada bulmanız olasılığı da çok yüksek. Fakat dediğimiz gibi iki dalganın var olması mümkünse, bu iki dalganın süperpozisyonu da mümkündür. Fakat verdiğimiz örnekte böyle bir kombinasyon aynı anda hem 10 metre solunuzda hem de 10 metre sağınızda, yani *aynı anda iki yerde birden* olan bir oksijen atomu demektir. Bu sizin aynı anda hem New York hem de Londra’da olmanıza eşdeğer bir durumdur.

Doğada belirli bir şeyin aynı anda iki yerde birden olduğunu gözlememiz imkânsızdır. Çünkü bir şeyin yerini belirlemeye çalıştığımızda, onun parçacık doğasına ait bir özelliğini arıyoruz demektir zaten, ki bu da süperpozisyon gibi onun dalga doğasına ait bir özelliğini görmemizi dışlar. Öyleyse kimin umrunda? İşin doğrusu, bir şeyin aynı anda iki yerde birden oluşuna tanıklık edemesek de, aynı anda iki yerde birden olmasının *sonuçlarını* gözlemleyebiliriz. Bunu mümkün kılarak her türlü kuantum tuhaflığına zemin hazırlayan dalga özelliğine “girişim” adı verilir.

Girişim

Suya düşen yağmur damlalarını izlediyseniz, her bir küçük çarpmayla yayılıp birbirleriyle iç içe geçen dalgacıkları da fark etmişsinizdir.

İki dalga tepesi bir araya geldikleri yerde birbirlerini takviye ederek daha büyük bir dalga oluştururken, birinin tepesinin diğerinin çukuruyla birleştiği yerde birbirlerini yok ederek yüzeyi tümüyle durgun hale getirirler. Girişim dediğimiz şey işte budur. Şimdi de iki yağmur damlasının oluşturduğu iki dalganın iç içe geçtiği bölgeye bir kart batırdığınızı düşünün. Kartın üstünde, çarpan büyük dalgaların bıraktığı izler olduğu gibi, herhangi bir dalganın çarpmadığı yerler de olacaktır.

Aslında bu deney 1801'de İngiliz fizikçi ve çok yönlü bilim insanı Thomas Young tarafından ışıkla yapılmıştır. Young azımsanmayacak bir yaratıcılıkla, iki nokta ışık kaynağından yayılan ışık demetlerinde iç içe geçmenin gerçekleşebileceği bir düzenek geliştirmişti. Dalgaların birleştiği bölgeye bir levha yerleştirdiğinde, günümüzdeki barkodlara benzeyen açık ve koyu şeritlerin birbiri ardınca sıralandığı bir desen ortaya çıkmıştı. Bu sonuç, ışığın genel bir dalga özelliği olan girişimi sergileyebildiğinin tartışmasız kanıtıydı. Böylece Young, ışığın tıpkı göletteki dalgalar gibi uzayda dalgalanarak yayıldığını kanıtlamış oluyordu. Bunun daha önce anlaşılamamış olmasının nedeni ise ışık dalgalarının çıplak gözle görülemeyecek küçüklükte olmasıdır.

Girişimden dolayı, elektron gibi bir kuantum nesnesinin aynı anda iki yerde birden bulunabilmesinin bazı *sonuçları vardır*. Bir örnek verelim. Aynı anda atılan ve yuvarlanarak ilerlerken çarpışıp seken iki bowling topu hayal edin. Bu defalarca tekrarlanırsa topların pek çok farklı yöne gittiği görülür. Gözünüzün önüne bir saat kadranı getirin. Toplar bu kadran üzerindeki tüm rakamlara isabet edecektir.

Şimdi benzer biçimde çarpışıp dağılan iki kuantum parçacık, örneğin iki elektron hayal edin. Bu binlerce ve binlerce kez tekrarlanırsa, elektronlar da pek çok farklı yöne gidecektir. Ancak kısa süre sonra oldukça tuhaf bir durum ortaya çıkacak ve bazı doğrultuların elektronlarca daha fazla yeğlendiği, diğerlerinden ise dikkatle kaçınıldığı görülecektir. Bir başka ifadeyle, saat kadranında elektronların *asla uğramadığı* rakamlar olacaktır.

Bunun nedeni, elektron dalgalarının birbirlerini güçlendirdiği doğrultular olduğu gibi, birbirlerini sıfırladığı doğrultuların da var olmasıdır. İkinci grup, üzerinde hiçbir elektronun görülmediği doğrultulardır.

Bu girişim olgusu 1927’de ABD’de Clinton Davisson ve Lester Germer, İskoçya’da da George Thomson tarafından gösterilmiştir. Fizikçiler elektronları yassı bir kristal düzlem üzerinden sektirmiş ve elektronların *hiçbir zaman* zıplamadıkları doğrultular bulunduğunu fark etmişlerdi. Kristal düzlem, diklemesine duran dilimlenmiş bir ekmeği andıran atom katmanlarından oluşuyordu. Elektronların bir kısmı üst katmandan, bir kısmı onun altındaki katmandan, bir kısmı da daha aşağılardaki katmanlardan sekmekte ve bütün elektronların kuantum dalgaları da birbirine müdahalede bulunmakta yani *girişim* yapmaktaydı. Deneycilerin elektronları gözledikleri yerler ise dalgaların birbirlerini güçlendirdikleri doğrultularla sınırlıydı.

Elektronların birbirine müdahale edebildiğini, yani girişim yapabildiğini göstererek onların gerçekten de dalga sayılabileceğini kanıtlamaları, Davisson, Germer ve Thomson’a Nobel Fizik Ödülü kazandırdı. Thomson’un elektronun bir parçacık olmadığını göstererek Nobel Ödülü kazanmasına karşın, babası “J. J.” Thomson’un da aynı ödülü elektronun bir parçacık *olduğunu* göstererek almış olması ise oldukça ironiktir.⁷ Kuantum kuramının merkezinde yatan çelişkiyi bundan daha iyi gösteren bir örnek olmasa gerek.

Tüm bunlar bize şunu söylüyor: Tek bir kuantum parçacığının aynı anda birkaç yöne birden gittiğini görmek mümkün olmasa bile, girişim bazı sonuçların ortaya çıkacağı anlamına gelir. Her olası yöne giden elektrona karşılık gelen kuantum dalgalar, birbirleriyle girişim etkileşiminde bulunarak bazı yönleri pekiştirirken bazılarını yok eder. Elektronların bazı doğrultulara asla yönelmesinin nedeni budur. Kuantumun tuhaflığı da buradan gelir.⁸

Günümüz dünyası, atom ve diğer kuantum parçacıklarının aynı anda birçok şey yapmasını sağlayan süperpozisyonlardan, *aynı anda birçok hesap yapma* konusunda yararlanabilmek için yarış içindedir. Şu anda inşa edilmeye çalışılan kuantum bilgisayar, yapacağı belirli türden hesaplamalarla en güçlü geleneksel bilgisayarları bile aşmayı vaat ediyor. “Belirli türden hesaplamalar” ifadesini kullanmamızın nedeni, bunların tek bir yanıtı sahip olma zorunluluğudur. Bir kuantum parçacığı aynı anda birçok şey yaparken gözlemlemenin olanaksız olduğunu, yalnızca aynı anda yaptığı birçok şeyin *sonuçlarını* gözlemleyebileceğimizi hatırlayalım. Aynı

şekilde bir kuantum hesaplamayı oluşturan sayısız aşamanın tümüne erişmek de imkânsızdır. Erişebileceğiniz yegâne şey bunların sonucu, yani her bir işlem dizisinin birlikte örülmesiyle ortaya çıkan yumağın sunduğu o tek yanıttır.

Gündelik yaşam neden kuantum dünyasının özelliklerini göstermez?

Bir kuantum bilgisayar inşa etmek son derece güçtür, çünkü böyle bir bilgisayarın kuantum yapıtaşları herhangi bir şekilde çevreleriyle etkileşime girerse, bilgisayarın çoklu görev özelliği geri dönüşsüz biçimde yok olur. Öyleyse bir kuantum bilgisayar hava atomları ve ışık fotonlarıyla temastan kaçınmak için, tümüyle yalıtılmış olarak vakumlu bir odada durmalıdır. Bu koşulu sağlamak ise oldukça zordur.

Tehlikede olan, kuantum parçacıkların aynı anda çok şey yapabilme becerileri değildir. Sorun, büyük sayıda atomun (hava atomları gibi) süperpozisyonu korumalarının çok zor oluşudur. Kuantum parçacık, bulunduğu süperpozisyonu çok sayıda atoma dayatırsa etkisi çabucak kaybolur. Bunu, futbol sahasında slogan atan kalabalık bir grubun çıkardığı ses içinde boğulup giden tek bir insan sesine benzetebiliriz.

Bu durum, kuantum tuhaflığı sergileyen atomların büyük sayılarla bir araya gelip oluşturdukları gündelik nesnelerin neden bu özelliği göstermediğini açıklar. Örneğin bir masanın hiçbir zaman aynı anda iki yerde birden bulunduğu ya da bir insanın aynı anda iki kapıdan birden geçtiğine tanık olmayız. Gündelik yaşamda kuantum davranışı göremeyiz, çünkü hiçbir zaman atom ya da fotonları teker teker göremeyiz. Yalnızca büyük sayılardır gördüğümüz. Dünyayı değil, kendimizi gözlemekteyizdir aslında. Bir başka deyişle, beynimiz hiçbir zaman bir fotonu gözlemlemez; o fotonun retinadaki yüz binlerce atom üzerindeki yükseltilmiş etkisini gözlemler. Oluşan izlenim ilk fotonun kuantum özelliğini barındırmaz. İşte bu nedenle, tuhaf da olsa, hiç de *kuantummuş gibi görünmeyen* bir kuantum dünyada yaşarız.

Kuantumun tuhaflığı

Kuantumun tuhaflığı büyük ölçüde süperpozisyon ve girişimin sonucudur. Ama başka kuantum bileşenler de vardır. Bunlar farklı düzenlemelerle bir araya geldiğinde her türden yeni ve şaşırtıcı davranışın ortaya çıkmasına neden olur. Kimileri bunu “sihirsiz sihir” olarak tanımlamıştır. “Kuantum spin” örneğini ele alalım. Bu da tıpkı kuantum belirsizliği gibi günlük hayatta karşılığı olmayan bir kavramdır. Bir kuantum parçacık topaç gibi döner gözükteğü halde aslında yaptığı bu değildir. Fizikçiler böyle bir durumda parçacığın *içsel* bir spin (dönü) ya da “açısal momentum”a sahip olduğunu söyler.

Bir elektron olası en düşük spin niceliğine sahiptir ki buna tarihsel nedenlerle “spin 1” yerine –ki mantıklı olanı buydu– “spin 1/2”¹⁰ adı verilir.¹⁰ Dönmekte olan bir yük, çok küçük bir mıknatıs gibi davranır.¹¹ Yani bir manyetik alanın içindeyken pusula iğnesi gibi hareket ederek ya alan yönüne (yukarı) ya da alana ters yöne (aşağı) bakacak şekilde kendini konumlandırır. Eğer iki elektron varsa ya elektron 1 “yukarı spin”, elektron 2 “aşağı spin” durumunda ya da 1 aşağı, 2 yukarı durumundadır. Burada önemli olan şudur: Kuantum dünyada süperpozisyonlar mümkün olduğu için, iki elektron *aynı anda* hem yukarı-aşağı hem de aşağı-yukarı durumda olabilir. Bu biraz, aynı anda hem ölü hem diri olmanız gibi bir şeydir.

Birinci bileşen olan süperpozisyonu burada bırakalım. İkinci bileşen, açısal momentumun korunumu yasasıdır. Bu yasa iki elektronun toplam spininin hiçbir zaman değişmeyeceğini söyler. Yukarıdaki örnekte ele aldığımız iki elektron, işe zıt yönlerde bakar halde başladıkları için, *her zaman* zıt yönlerde bakar halde olmalıdır. Üçüncü bileşen ise basitçe, kuantum öngörülemezliğidir. Buna göre bir elektronu gözlemleyecek olursak, yukarı ya da aşağı spin durumlarından hangisine yöneleceği öngörülemez. Bunu bir kuantum yazı-tura durumu olarak niteleyebiliriz: Yukarı ve aşağı spin ihtimali yüzde 50’şerdir.

İşin fazla karmaşık hale gelmeye başladığını düşünüyor olabilirsiniz. Ama bir de bu üç bileşenin bir araya gelip olağanüstü bir şey ortaya çıkardığı durumdan söz edelim. Yukarı-aşağı ve aşağı-yukarı süperpozisyon durumundaki elektron çiftinden başlayıp

elektronlardan birini çok uzağa gönderelim. Daha sonra yerinde kalmış olan elektrona baktığımızda, belki yukarı spin konumunda olduğunu göreceğiz. Durum buysa, iki spinin *her zaman karşıt yönlerle bakması* gerektiğinden hareketle, uzaklarda kalmış olan eşi de anında aşağı dönecektir. Ama belki de ilk elektronun aşağı spin konumunda olduğunu gözleyeceğiz; eğer öyleyse eşi de bu sefer anında yukarı dönecektir.

Bunda şaşırtıcı olan şey, uzaktaki elektronun, evrenin diğer ucunda olsa bile eşinin yukarı ya da aşağı konumuna *anında* tepki verecek olmasıdır. Einstein'a göre uzak mesafeleri kapsayan ve ışık ile belirlenen kozmik hız sınırını da bariz biçimde ihlal eden bu eylem öylesine saçmaydı ki, kuantum kuramının hatalı olduğunun başlı başına *kanıtıydı*.¹² Ama Einstein daha önce de olduğu gibi yanılmıştı. Yerelsizlik veya mekânsızlık adı verilen bu olgu, 1982'de Fransız fizikçi Alain Aspect tarafından başarıyla kanıtlandı.

Bu arada iki elektronu birbirinden ayırmanın bir çift eldivenin teklerini birbirinden ayırmak gibi olmadığını belirtmekte yarar var. Eldiven örneğinde yerinde kalan eldivenin sol tek olması durumunda, uzaktakinin de sağ tek olacağı açıktır. Bunun nedeni eldivenlerden birinin sol, diğerinin de sağ tek olarak, *daha başlangıçta* belirlenmiş olmasıdır. Ama iki elektron başlangıçta ne yukarı ne de aşağı spin durumundaydı. Durumları belirlenmemişti. Yerinde kalan elektron, *ancak gözlendikten sonra* durumunu sahiplenebilmişti ve bu durum *rassaldı*. Yerelsizliğin Einstein'ın özel görelilik kuramını ihlal etmemesinin nedeni budur. Yukarı ve aşağı olarak tanımlanan yönelimler, Mors alfabesinin nokta ve tirelerine karşılık gelseydi, gönderilebilecek tek şey de nokta ve tirelerden oluşan gelişigüzel bir dizi olurdu çünkü yerinde kalan elektron ile uzaktaki akrabasının yönelimlerini dışarıdan müdahaleyle belirlemenin bir yolu yoktur; yönelimleri rastgele belirlenir. Bunlarla, bir bilgiyi kodlayan belirli bir nokta ve tireler dizisi oluşturulamaz. Öyle anlaşıyor ki özel görelilik yalnızca *anamlı bir sinyalin* hızına bir sınır koyar. Kullanılamaz durumdaki anlamsız veriler, doğanın umurunda değildir. Bunlar evrende bir oraya bir buraya istedikleri hızla uçmakta serbesttir. Bunun nasıl olduğunu kimse bilmiyor. Yerelsizlik, kuantum kuramının herhalde en derin gizemidir.

Atomlar: Varlıkları nasıl mümkün olabilir?

Kuantum kuramının en büyük başarısı atomları açıklamak konusunda olmuştur. Richard Feynman'a göre, "klasik fiziğin bakış açısından, atomların var olması tümüyle imkânsızdır." Maxwell'in elektromanyetizma kuramına göre, ivmelenmiş –ve hızını, yönünü ya da her ikisini birden değiştiren– bir yük, uzaya elektromanyetik dalgalar yayar.¹³ Atomun çekirdeğinin çevresinde dolanan bir elektron da yönünü sürekli olarak değiştirmektedir. Dolayısıyla minyatür bir televizyon vericisi gibi yayın yapacak ve hızla enerji kaybedecektir. Hatta hesaplamalar, sarmallar çizerek çekirdeğe yaklaşan bu elektronun saniyenin yüz milyonda birinden kısa süre içinde çekirdeğe çekilmiş olacağını gösterir. Sonuçta Feynman'ın da ileri sürdüğü gibi, atomların var olmaya hakları yoktur.

Bu noktada kuantum kuramı imdada yetişir, çünkü elektronun dalga özelliğini tanır. Dahası, parçanın kütlesi ne kadar küçükse kuantum dalgası da o kadar büyüür.¹⁴ Boyutunuza bakılacak olursa, sizin dalga boyunuz da gülünç denebilecek ölçüde küçüktür. Bariz bir dalga davranışı göstermeyişinizin nedeni budur. Köşelerden geçtiğinizde bükülmemenizin ya da bir lamba direğinin iki yanından birden geçmeyişinizin nedeni de. Ama elektron, doğadaki en küçük parçacıktır. Bu ölçüde kuantum tuhaflığı sergilemesinin nedeni de en büyük kuantum dalgasına sahip olmasıdır. Dalga, temel olarak yayılımlı bir şeydir ve sıkıştırılıp çekirdeğe sığdırılmaz.¹⁵ Dolayısıyla atomlar da saniyenin yüz milyonda biri içinde yok olmak yerine sonsuza kadar var olabilir.

Hatta elektron dalgası öylesine büyük bir alana ihtiyaç duyar ki, bu durum atomların bir başka şaşırtıcı özelliğini, elektronların çekirdekten neden bu kadar uzakta dolandıklarını açıklar. Bir atom, yüzde 99,999999999999 oranında hiçliktir.¹⁶ Siz de yüzde 99,999999999999 hiçliksiniz.¹⁷ Atomların "boş" ya da çekirdekleriyle kıyaslandıklarında bu ölçüde büyük olmalarının nedeni, elektronun dalgasının geniş bir hareket alanına ihtiyaç duymasıdır, o kadar.

Ancak elektron dalgalarının atomlar hakkında bize söyleyecekleri daha çok şey vardır. Hatta bu dalgalar bize atomlarla ilgili *her şeyi* anlatır.

Atomlar: Neden farklı tipleri var?

Bir atomun içinde yaşayabilecek dalga tipleri bir taneyle sınırlı değildir. Pek çok farklı dalga vardır. Daha kıvrak ve daha şiddetli bir dalganın enerjisi, görece hantal bir dalganinkinden fazladır. Dolayısıyla çekirdeğin çekim gücüne karşı koyup yörüngesi boyunca daha uzaklarda dolanabilir. Fakat ne tür elektron dalgalarının mümkün olabileceğini belirleyen bir sınırlama da vardır: Hepsi de atomun içine düzgün biçimde yerleşebilmelidir. Atomun içinde tek tümsekli bir dalga düşünün. Ya da iki. Ya da üç vs. Bunlar atomun içine *sığar*; ama 1,5 ya da 2.687 tümsekli dalgalar sığmaz. Burada atom ile Güneş Sistemi arasında önemli bir ayrım ortaya çıkar. Bir gezegen ilke olarak Güneş'e herhangi bir uzaklıktaki bir yörüngede dolanabilirken, bir atomdaki elektron büyük ihtimalle çekirdeğe yalnızca *belirli ve özel uzaklıklarda* bulunabilir; bu uzaklıklar da yalnızca *belirli enerji düzeylerine* karşılık gelir.¹⁸

Bu durum, atomların neden yalnızca belirli bazı enerji düzeylerinde ya da dalga boylarında ışık yaydığını doğrudan açıklar (Enerji ne kadar yüksekse dalga boyu o kadar kısa olur). Atomdaki bir elektron, yüksek enerjili bir yörüngeden düşük enerjili bir yörüngeye düştüğünde, fazladan enerjisini ışık olarak yayar. Bu fotonun enerjisi ise iki durum arasındaki enerji farkına eşittir.

Ancak burada da bir bit yeniği var. Zaten ne zaman olmadı ki? Atom üç-boyutlu bir nesnedir. Bu da elektron olasılık dalgasının çekirdeğe yalnızca belirli *uzaklıklarda* değil, belirli *yönelimler* (oryantasyonlar) içinde de tepe oluşturabileceği anlamına gelir. Yerküreyi düşünün. Dünya üzerindeki herhangi bir konumu belirlemek için iki sayı gerekir. Benzer biçimde, uzayda belirli bir yönelim içinde olan bir elektron dalgasını belirlemek için de iki sayı gerekir. Bunlara elektronun çekirdeğe uzaklığını belirlemek için gerekli olan sayıyı da dahil edersek toplamda üç kuantum sayısı eder.

Dolayısıyla buradaki bit yeniği, atomun *herhangi* bir yüksek enerjili yörüngeden düşük enerjili bir yörüngeye düşerken ışık vermesidir. Yörüngelerin illa elektronun çekirdeğe uzaklığı bakımından farklı olması gerekmez; yönelimleri bakımından da farklı olabilirler. Bu arada elektron dalgasının –en azından en dıştaki elektron dalgalarının– yönelimi, kimyayı da açıklar. Bir atom bir

başka atomla en dıştaki elektronları aracılığıyla birleşir. Elektronların atomun dış yüzeyinde yaşadığını söyleyebiliriz. Bu yüzeyde atomun bir başka atoma yapışabildiği –ya da onunla bağ kura-bildiği– konumlar, aslında elektron dalgalarının en büyük olduğu, yani elektron içerme olasılığı en yüksek olan konumlardır.

Pauli Dışlama İlkesi

Bir bilmece daha var. Bir atomdaki elektronlar izin verilen kuantum dalgalarından, yani orbitallerden, herhangi birini işgal edebilir. Ancak gerçek dünyada nesneler enerjilerini asgariye indirmeye çalışır. Örneğin bir top fırsatını bulursa yerçekimi enerjisini en aza indirmek için tepeden düzlüğe kadar yuvarlanır. Öyleyse birden fazla elektronu olan bir atomda, elektronlar neden topluca enerji yokuşunun dibine kadar yuvarlanmaz? Neden atoma en yakın olan, en düşük enerjili orbitale doluşmazlar?

Eğer bunu yapsalardı, bildiğimiz şekliyle atomlar da var olmazdı. Bir kere böyle bir durumda ışık olmazdı. Fotonlar ancak bir elektronun bir enerji düzeyinden diğerine düşmesi ve bu süreçte de fazladan enerjisini yayması sonucu salınırlar. Ama bütün elektronlar *aynı* durumda ve *aynı* enerjide bulunsaydı dışarı salınacak enerji de olmazdı.

Daha ciddi bir sorun ise kimyayı –yani atomların birbirleriyle nasıl birleşip molekül oluşturduğunu– belirleyen elektronların *en dıştaki* elektronlar olmasıdır. Örneğin bazı atomlarda bir, bazı atomlarda ise iki, üç vs. dış elektron bulunur. Dahası, bazı atomların dış elektronları belirli doğrultulara bakarken, diğer atomların dış elektronları başka doğrultulara bakar. En hafif hidrojenen en ağır uranyuma kadar atomların böylesine büyük bir çeşitlilik göstermesinin nedeni budur. Ama farklı atomların tüm elektronları en içteki orbitale yığılmış olsaydı, atomların hepsi dünyaya hemen hemen aynı özellikleri sunacak, doğal biçimde ortaya çıkan 92 atom türü yerine yalnızca tek bir atom tipi olacaktı. Böyle bir durumda ne kimya ne karmaşıklık olurdu. Ne de biz.

Kuantum kuramı bu noktada bir kez daha atomun –ve evrenin– imdadına yetişerek onları bu boğucu ve karanlık kaderden

kurtarır. Kuantum bileşenlerinin farklı biçimlerde bir araya geldikleri zaman her türlü yeni ve şaşırtıcı davranışa yol açabileceklerini hatırlayın. Örneğin süperpozisyon, elektron spini ve açısal momentumun korunumu yasası birlikte yerelsizlik çılgınlığını ortaya çıkarır; yani kuantum parçacıkları birbirlerinden imkânsız uzaklıklarla ayrılmış olsa da birbirlerini anında etkileyebilirler.

Kuantum dünyasının normal dünyada eşi benzeri olmayan bir başka özelliği, elektronların birbirinin tıpatıp aynı oluşudur. Gerçek dünyadaki nesneler her zaman birbirinden ayırt edilebilir. Örneğin benzer iki arabayı, birinin boyasındaki bir çizik ya da lastik basıncındaki hafif bir farklılık sayesinde birbirinden ayırt etmek mümkündür. Ama elektronlar tıpatıp birbirinin aynıdır. Onları işaretleyemeyiz. İki elektron birbiriyle yer değiştirecek olsa, bunun farkına varmanın yolu yoktur – ilke olarak bile.

Şimdi de elektron spini, elektronların dalga özelliği ve elektronların birbirlerinden ayırt edilemez oluşunun doğurduğu bir sonuca bakalım. Bunlar birlikte Pauli Dışlama İlkesi'ni ortaya çıkarır.¹⁹ Bu ilke özetle, bir atomdaki iki elektronun aynı orbitali, daha kesin bir ifadeyle aynı kuantum sayılarını paylaşamayacağını söyler. Buradaki incelik, dördüncü bir kuantum sayısının –spinin– varlığında yatar. Manyetik alandaki bir elektronun ya yukarı spin ya da aşağı spin durumunda olabileceğini hatırlayın. Bu durumda Pauli İlkesi şöyle de ifade edilebilir: İki elektron, aynı *dört* kuantum sayısını paylaşamaz.

Pauli İlkesi, elektronların aynı orbital üzerinde birbiri üzerine yığılmasını engeller. Doğal yolla oluşan atomların 1 yerine 92 farklı türde olmasının nedeni budur. Dünyadaki çeşitliliğin ve sizin bu satırları okuyor olmanızın nedeni de yine budur.

Pauli İlkesi'ne bağlı olarak elektronlar, her biri çekirdekten bir öncekine göre daha uzak olan kabuklara yerleşerek düzenlenir. Birinci kabuk en fazla 2, bir sonraki 8, bir sonraki 18 elektron içerebilir ve bu böylece devam eder. Birkaç örnek verelim. 6 elektronu olan bir atom, iç kabuğunda 2, dış kabuğunda 4 elektron taşır. 12 elektronlu bir atom ise iç kabuğunda 2, bir sonrakinde 8, dış kabuğunda da 2 elektron taşır. Bazı atomların neden benzer davranışlar gösterdiği bu sayede kolayca anlaşılabilir. Örneğin lityum, sodyum ve potasyum

atomlarının her üçü de en dış kabuklarında birer elektron taşır ve bundan dolayı dış dünya için oldukça benzerdirler.

İşte size dünyadaki kararlılık ve çeşitliliğin kökeni... Atomların sergilediği dalga benzeri özelliğin, elektronların saniyenin küçücük bir kesiti içinde sarmallar çizerek çekirdeğe doğru çökmesini engellemesi gibi, Pauli Dışlama İlkesi de elektronların birbiri üstüne yığılmasını engeller ve bu sayede tek bir atom tipi yerine, çok büyük bir çeşitlilik doğar. “Masaları ya da çevremizdeki her şeyi elle tutulur hale getiren, elektronların birbiri üzerine binmiyor oluşudur,” demiştir Feynman.

Pauli Dışlama İlkesi, yarım tam sayı spini (yani $1/2$, $3/2$, $5/2$ vs. birimli spin) adı verilen özelliğe sahip tüm atom-altı parçacıklara uygulanabilir (Bu arada kuarklar da tıpkı elektronlar gibi $1/2$ spinlidir). Fermiyon adıyla bilinen bu tür parçacıklar, etkileşime girme konusundaki olağanüstü çekingenlikleriyle karakterize edilir. Öte yandan, tamsayı spinli –yani 0, 1, 2 vs. birimli spine sahip– parçacıklar son derece girişken olup Pauli Dışlama İlkesi’ne itaat etmezler. Bozonların bir türü olan fotonların, katrilyonlarla bir araya toplanıp lazer ışığı dediğimiz olguyu ortaya çıkarabilmelerinin nedeni de budur.

Dünyada kuantum kuramıyla açıklanamayacak şey yok gibidir. Şu ana kadar geliştirilmiş en başarılı fizik kuramı da budur. Kuantum kuramıyla filizlenmiş fikirlerden yararlanan icatlar, tahmine göre ABD gayrisafi yurt içi hasılasının yaklaşık yüzde 30’una karşılık gelir. İstisnasız her birimiz de kuantum kuramının birer ürünü olup, aslında bir kuantum dünyada yaşamaktayız. Kuantum dünyası sihirli bir dünya olsa bile, asıl fırtınalar estirdiği yer aklın alanı. “Eğer kuantum fiziği üzerinde düşünürken başının dönmediğini iddia eden biri varsa,” demişti Niels Bohr, “bu, olsa olsa onun kuantum fiziğiyle ilgili en ufak bir şey anlamamış olduğunu gösterir.”

16:

YAVAŞLIĞIN KEŞFİ

Özel Görelilik

Kuramımızda ışık hızı, fiziksel olarak, sonsuz büyüklükteki bir hız rolünü üstlenmektedir.

ALBERT EINSTEIN

Zürih bu trende ne zaman duruyor?

ALBERT EINSTEIN

Sonsuz, diğer tüm sayılardan büyük bir sayıdır. Bir cisim eğer sonsuz hızda gidebilseydi, onu yakalamanız asla mümkün olmazdı. Bunun da ötesinde, ne kadar hızlı hareket ederseniz edin, cisim size her zaman sonsuz hızla yol alır görünürdü çünkü sizin hızınız onunkinin yanında her zaman göz ardı edilebilir düzeyde kalacaktı.

Evrenimizde ise sonsuz hız, bir nedenle, her zaman ışığın hızıdır; yani saniyede 300.000 kilometre. Hiçbir maddesel varlık bu hıza yetişemez. Bir ışık kaynağına göre hangi hızla hareket ederseniz edin –ya da ışık kaynağı size göre hangi hızla hareket ederse etsin– ışık her zaman saniyede 300.000 kilometre hızla yol alır görünecektir.

Fizikçilerin c işaretini yakıştırdıkları ışık hızının inatla sabit kaldığı, Amerikalı fizikçiler Albert Michelson ve Edward Morley tarafından ortaya çıkarılmıştı. 1888’de gerçekleştirdikleri deneyde, Güneş çevresindeki yörüngesinde dolanan Dünya deneyde kullandıkları ışık demetiyle aynı doğrultuda yol alırken ışığın hızını ölçmüş ve ölçümü altı ay sonra, Dünya ters doğrultuda yol alırken tekrarlamışlardı. Onları hayrete düşüren sonuç, ışık hızının her iki durumda da aynı oluşuydu. Aslında Dünya, Güneş’in çevresinde ışık hızının yarısına karşılık gelen muazzam bir hızla dolanıyor olsaydı bile, Michelson ve Morley ışık hızını $(c + \frac{1}{2}c) = 1\frac{1}{2}c$ ya da $(c - \frac{1}{2}c) = \frac{1}{2}c$ olarak değil, c olarak ölçeceklerdi. Peki ışık hızının gösterdiği bu tuhaf sabitlik ne anlama gelir? Bu soru Einstein tarafından, onun mucizevi yılı olan 1905’te yanıtlandı.

Herhangi bir şeyin hızı, belirli bir sürede aldığı yoldur; örneğin bir araba bir saatte 50 kilometre yol alabilir. Öyleyse bir ışık demeti için yapılan hız ölçümlerinde –kendileri ya da ışık kaynağı hangi hızla hareket ederse etsin– herkesin aynı değeri elde etmiş olması için ışın içinde bir tuhaflik olması gerekir.

Tek bir kişi için söz konusu olan mesafenin –diyelim ki bir metre– bir başkası için de aynı olduğunu düşündüğümüz gibi, tek bir kişi için söz konusu olan sürenin de –diyelim ki bir dakika– bir başkası için aynı olduğunu düşünürüz. Ama herkes ışık hızı için aynı değeri elde ediyorsa bu doğru olamaz. Işık hızını, evrenin üzerine inşa edildiği bir kaya olarak kabul edersek, uzay ve zaman da yer değiştirip duran kumdan farksızdır.

Hatta Einstein'ın da fark ettiği gibi, yer değiştiren gözlemcinin bakış açısından uzay *küçülürken* (*büzülürken*) zaman da *yavaşlar*. Daha kesin bir ifadeyle, size göre hareket eden birinin kendi hareket yönünde küçüldüğünü ve sanki pekmezin içinde yürür gibi yavaşladığını görürsünüz.¹ “Hareket eden cetveller kısalır, hareket eden saatler de yavaşlar” ifadesi durumu açıklamaktadır.

Einstein'ın daha mizahi bir açıklaması vardır bunun için: “Bir adam güzel bir kızın yanında bir saat boyunca oturduğunda, bu süre ona bir dakika gibi gelir. Ama siz onu bir de sıcak bir sobanın üstünde bir dakika boyunca oturduğunda görün. Bu bir dakika, onun için bir saatten de uzun sürecektir. İşte görelilik budur!”

Peki ya yanınızdan uçarak geçen birinin gözünden ne olacaktır durum? O da *kendi* hareket yönünüz içinde *sizin* küçüldüğünüzü, sanki pekmez içinde yürüyormuşsunuz gibi, *sizin* yavaşladığınızı görecektir. Bunun nedeni her birinizin gördüğü şeyin birbirinize göre olan, yani *görelî hareketinize* bağlı oluşudur ve ikiniz de birbirinize göre *aynı* görelî hızda hareket edersiniz.

Bu gerçek, ışık hızının sabitliğine ek olarak, Einstein'ın kuramının ikinci temel taşı gözler önüne serer. Ve kuramın neden “görelilik” olarak adlandırıldığını açıklar. Bundan dört yüzyıl önce, birbirlerine göre sabit hızla hareket eden herkesin aynı şeyi gördüklerini fark eden ilk kişi Galileo olmuştu. Bir kişinin bir başkasına attığı ve havada kavis çizerek ilerleyen bir top düşünün. Atıcı ve tutucu ister bir kumsalda, ister suyu yararak geçen bir gemide olsun, top aynı eğriyi izleyecektir.

Galileo'nun birbirine göre sabit hızla hareket eden herkesin aynı şeyi gördüğünden kastı, aslında aynı hareket yasalarını gördükleriydi. Einstein'ın bundan iki buçuk yüzyıl sonra yaptığı ise, Galileo'nun fikirlerinin kapsamını genişletmekten ibaretti. Onun iddiasına göre aynı olan yalnızca hareket yasaları değil, *tüm* fizik

yasalarıydı. Işık hızının değişmez olduğunu ileri süren optik yasaları da bunlara dahildi.

Yanınızdan sabit hızla geçip giderken uzamsal olarak küçülüp zamansal olarak yavaşlayan kişiyi yeniden ele alalım. Bu kişinin bakış açısından siz de ona göre aynı görelî hızla hareket eder, fakat geriye doğru gidirsiniz. Sonuçta ikinizin de gördüğü aynı şeydir. Göreliliğin sihri işte budur.

Akla kaçınılmaz olarak şu soru gelir: Neden göreliliğin tuhaf etkilerine –teknik olarak zaman genişmesi ve Lorentz Büzülmesi’ne– hiç tanık olmayız? Ya da başka bir deyişle, yanımızdan koşarak geçen birinin hareketi yönünde küçüldüğünü ya da yavaşladığını neden görmeyiz? Yanıt, bu tür etkilerin yalnızca birbirinin yanından ışık hızıyla geçen cisimler için fark edilebilir olduğudur. Işık da inanılmaz bir hızla (bir yolcu uçağının hızının bir milyon katı kadar) hareket eder. Görelilik, bu anlamda yavaşlığımızın keşfidir.

Peki ama göreliliğin etkilerini göremiyorsak, ışık hızına yaklaştıkça zamanın yavaşladığını nereden biliyoruz? Uzayın büzülüp küçüldüğünü nereden biliyoruz? Kanıtlar gerçekte şu anda bile vücudunuzun içinden geçip gitmektedir.

Muonlar atom-altı parçacıklardır. Yüksek enerjili atom çekirdekleri olan kozmik ışınlar hava atomlarıyla çarpışınca, atmosferin yaklaşık 12,5 kilometre yükseklerinde muonlar oluşur. Atom-altı parçacık yağmuru halinde atmosferin alt tabakalarına doğru yağar, ancak belirli bir zaman aralığında bozunurlar.² Bu aralık çok kısadır: saniyenin 1,5 milyonda biri kadar. Bu durumda hiçbirinin atmosferin 500 metre aşağısından öteye bozunmadan geçemiyor olması gerekir. Ve elbette hiçbirisi 12,5 kilometre aşağıdaki yer yüzeyine ulaşamıyor olmalıdır.

Ama ulaşırlar.

Bunun nedeni muonların, ışık hızının yüzde 99,92’si kadar hızla yol almalarıdır. Ama sizin bakış açınızdan, yaşamlarını ağır çekimde geçiriyor gibidirler. Hatta onlar için zaman, sizin için olduğundan 25 kat daha yavaş geçmektedir ki bu da bozunma zamanının geldiğini anlamaları için 25 kat daha uzun süre gerektiği anlamına gelir. O zaman geldiğinde ise Dünya’nın yüzeyine çoktan çarpmışlardır bile.

Ama tabii bir başka bakış açısı daha var: muonunki. Onun açısından zaman normal hızında akıp gitmektedir. Ne de olsa muon da tıpkı sizin gibi *kendisine göre* sabit konumdadır. O da *sizi* kendi hareket yönünde küçülür görür. Ve muonun bakış açısından, ışık hızının yüzde 99,92'si kadar hızla kendisine yaklaşan, yeryüzüdür. Ama küçülen yalnızca siz değilsinizdir. Atmosfer de küçülmektedir ve sonunda normal kalınlığının $1/25$ 'ine ulaşır. Bu da muonların, bozunmaya uğramadan önce yeryüzüne varacak zamanları olduğu anlamına gelir.

Hangi bakış açısından bakarsanız bakın –ister muonun zamanının yavaşladığı kendi bakış açınızdan, ister atmosferin küçüldüğü muonun bakış açısından– muon sonunda yere varacaktır. Bu da görelilik büyüsunün bir başka örneğidir.

Uzay-zaman

Siz de bir muon gibi ışık hızına yakın hızlarda yol alabilseydiniz nasıl olurdu? Bir kere şurası kesin ki dünyayla ilgili bazı derin gerçekler öğrenirdiniz. Göreliliğin bize bir kişi için geçerli olan bir zaman aralığının bir başkası için aynı olmadığını söylediğini düşünebilirsiniz. Söyler de. Ama asıl vurguladığı, bir kişi için geçerli olan zaman aralığının, bir başkası için hem zamansal *hem de* uzamsal bir aralık olduğudur. Başka bir ifadeyle, bir kişinin aynı konumda iki farklı olay –örneğin iki patlama– olarak gördüğü şey, bir başkası için iki farklı konumda gerçekleşen iki olay gibi görünebilir.

Göreliliğin, bir kişi için geçerli olan bir uzamsal aralığın bir başkasınıninkiyle aynı olmadığına işaret ettiğini de düşünüyor olabilirsiniz. Ama gerçekte işaret ettiği şey, bir kişi için geçerli olan bir uzamsal aralığın, bir başka kişi için uzamsal *ve* zamansal bir aralık olduğudur. Buna göre, bir kişinin aynı anda gerçekleşen iki olay olarak algıladığı şeyi, bir başkası farklı zamanlarda gerçekleşen iki olay olarak algılayabilir.³

Ama ışık hızına yakın hızlarda uzam aralıkları zaman aralıklarına, zaman aralıkları da uzam aralıklarına dönüşebiliyorsa, bundan uzay ve zamanın temel olgular *olmadıkları* sonucu çıkmaz mı?

Kesinlikle. Temel olan olgu, ışık hızına yakın hızlarda aşikâr hale geldiği üzere, *uzay-zaman*'dır. Düşük hızlı bir dünyada bu yekpare olgunun ancak gölgelerini görebiliriz: uzay gölgesini ya da zamanın gölgesini.

Bir benzetme yapalım. Orta noktasından asılmış ve dev bir pusula iğnesini andıran bir baston düşünün. Küp biçimli bir odada yer alıyor ve birbirine bitişik iki duvarda pencereler var. Oda loş olduğu için baktığınız şeyi baston olarak değil, sadece bir nesne olarak görüyorsunuz. Pencerelerden birinden içeri bakıyor ve gördüğünüz şeyi “uzunluk” olarak isimlendiriyorsunuz. Sonra bitişik duvardaki pencereden bakıyor ve gördüğünüz şeyi bu sefer “genişlik” olarak isimlendiriyorsunuz. Gayet mantıklı. Buraya kadar her şey yolunda.

Şimdi de duvarların bir döner tepsi üzerine yerleşmiş olduğunu farz edin (Bu pek de basit bir benzetme olmadı!). Duvarlar dönüyor ve siz yine pencerelerden içeri bakıyorsunuz. Şaşkınlıkla, uzunluğun değişmiş olduğunu fark ediyorsunuz. Genişliğin de. Birden uzunluk ve genişlik etiketlerinizin hiç de akıllıca olmadığını anlıyorsunuz. Temel olan şey nesnedir (asılı halde duran baston). Siz ise nesnenin izdüşümlerini –gölgelerini– temel özellikleriyle karıştırdınız.

Uzay ve zaman kendini böyle gösterir. Temel nesne uzay-zamandır. Ama bizler onun izdüşümlerini –gölgelerini– temel olanla karıştırmışızdır. Bu bizim suçumuz değil. Hatamızın bariz hale gelmesi, uzayın zamana, zamanın da uzaya dönüştüğü ışık hızına yakın hızlarda olur. Aslına bakılırsa, ışık hızına yakın hızlarda yol almak, bakış açımızı döndürmek (döner levhanın üstündeki odayla yaptığımız gibi) ve uzay-zamanın farklı uzay ve zaman izdüşümlerine tanıklık etmek gibidir.

Bu kavrayışa ilk ulaşan kişi Einstein değil, kendisine “tembel köpek” lakabını takmış olan eski matematik hocası Herman Minkowski'ydı. Daha sonraları hatasını fark eden Minkowski, uzay-zamanın taşıdığı temel önemi de anlamıştı. “Bundan böyle,” diyordu, “tek başına uzay ve tek başına zaman yerle bir olacak ve tutunmayı başaran da yalnızca ikisi arasındaki birlik olacaktır.”

Kütle bir enerji biçimidir

Maddesel hiçbir cisim, ışık hızını yakalayamaz. Bu oldukça şaşırtıcı. Çünkü gerçekte sonsuz hızdan söz ediyor olsaydık, bir cismi ne kadar güç ve ne kadar süreyle itsek de, bu hıza asla ulaşamazdı. Oysa ışık hızı insan standartlarına göre çok yüksek bir hız olsa da, sonsuzluğun yanında çok küçük kalır.

Işık hızı erişilemez olduğuna ve kozmik hız sınırını çizdiğine göre, bir cismi giderek daha çok hızlanacak şekilde sürekli ittiğinizde bir şeyler olması ve itmenize karşı bir tür direnç oluşması gerekir. Ve bu direncin ışık hızına yakın bir yerlerde sonsuz olması gerekir ki, cisim ne kadar itilirse itilsin o noktaya ulaşmasın.

Cismin direnç sağlayan bir özelliği vardır: kütlesi. Hatta kütleyle de buna göre tanımlarız. Örneğin bir buzdolabı gibi, itilmeye karşı büyük direnç gösteren bir cismin büyük kütleyle sahip olduğu söylenir. Ve örneğin bir tüy gibi, itilmeye karşı çok az direnç gösteren bir cisminse küçük kütleyle sahip olduğu söylenir. Bunun bizi götürdüğü yeri anlamış olmalısınız: Işık hızına yaklaşmakta olan bir cismin direnci artarsa, bu, onun *kütlesinin de artmakta* olduğunu gösterir.

Peki nereden gelir bu fazladan kütle? Enerjinin korunumu yasası olarak bilinen temel fizik yasası, enerjinin ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini, hiçbir zaman var veya yok edilemeyeceğini söyler. Örneğin elektrik enerjisi bir elektrik sobasında ısı enerjisine dönüştürülebilir. Veya aldığınız besinlerdeki kimyasal enerji kaslarınızda hareket enerjisine dönüştürülebilir. Ama bir cismi ısrarla itmenize rağmen bu iş için harcadığınız enerji hareket enerjisine dönüşmüyorsa, dönüştüğü başka bir şey olmalıdır. Tek değişen de cismin kütlesi olduğuna göre, bu enerji kütleyle artırıyor olabilir. Ama hatırlayın ki enerji yalnızca bir türden diğerine dönüşebilir. *Öyleyse kütle de bir enerji biçimi olmalıdır.*

Zaten öyledir. Einstein uzay ve zamanın aynı şeyin farklı yüzleri olduğunu keşfetmekle kalmamış, enerjinin –hareket enerjisi, ses enerjisi ve aklınıza gelebilecek her türlü enerjinin– eşdeğer bir kütleyle sahip olduğunu da keşfetmişti.

Tüm bunların size çok uzak olduğunu düşünüyorsanız, bir daha düşünün. Kütlenizin çoğunluğunu oluşturan kuarklar aslında önemsenmeyecek kadar varla yok arasındadır.⁴ Hatta kütlenizin

ancak yüzde 1 kadarına karşılık gelirler. Bu tuhaf durum, Higgs Mekanizması adı verilen bir olguyla açıklanır. 4 Temmuz 2012’de Cenevre yakınlarındaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’ndan yapılan açıklamalarla keşfi büyük gürültü koparan Higgs parçacığını duymuş olabilirsiniz.⁵ Öyleyse kütlenizde aslan payına sahip olan, kalan yüzde 99’luk bölüm nereden gelir? Yanıt görelilikte gizlidir.

Atomların proton ve nötronları içindeki kuarklar, burada ışık hızına yakın hızlarla dönerler. Bu, onların çok büyük bir hareket enerjisine sahip oldukları anlamına gelir. Bu hareket enerjisi ise, Einstein’a göre kütleye sahiptir. Protonlarla nötronların kütlesinin çoğu buradan gelir – ve tabii sizin de. Göreliliğin etkileri olmasaydı, ağırlığınız 1 kilogramın altında olurdu.

Aklınıza şöyle bir soru gelebilir: Kuarklar neden ışık hızına yakın hızlarla döner? Bunun nedeni, son derece büyük bir çekirdek kuvvetinin pençesinde olmalarıdır. Bir kuvvet alanı enerji, enerji de kütle içerir. Dolayısıyla kütlenizin çoğuna karşılık gelen de bu “gluon alanı”dır. Hangi açıdan baktığınız aslında o kadar da önemli değildir. Önemli olan, sahip olduğunuz kütle gibi son derece sıradan ve gündelik bir olgunun, göreliliğin etkileri olmaksızın açıklanamıyor oluşudur.

Ancak Einstein, yalnızca enerjinin kütleye sahip olduğunu değil, kütlenin de bir enerjiye karşılık geldiğini göstermiştir. Hatta kütle, enerjinin bilinen en yoğun halidir ve enerjisi de fiziğin gelmiş geçmiş en ünlü formülüyle ifade edilir: $E = mc^2$.

Bu formül iki yönlü uygulanabilir; hem enerji hem de kütle için. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nın yer altındaki devasa yarış pisti boyunca zıt yönlerde dolaşan atom-altı parçacıkları ele alalım. Parçacıklar kafa kafaya çarpıştıklarında hareket enerjileri, şapkadan çıkan tavşan misali hiç yoktan beliriveren yeni parçacıkların kütle enerjisine dönüşür. Ama aynı zamanda –ki asıl şaşırtıcı olan da budur– kütle enerjisi de ısı enerjisi gibi başka enerji biçimlerine dönüşebilir. Küçük bir kütlenin, nükleer bir ateş topunun muazzam ısısına dönüştüğü nükleer bombalarda gerçekleşen şey budur.

Göreliliğin, dünyayla ilgili olarak kesin gözüyle baktığımız şeyleri elimizden bir anda söküp aldığını düşünüyor olabilirsiniz. Ama aslında yaptığı şey, perdeyi aralayarak arkadaki daha derin

gerçeklik katmanını gözler önüne sermektir.

Dünya karmaşık, şaşırtıcı ve sürekli değişim içindedir. Bunlardan bir anlam çıkarmaya çalıştığımızda, gemisi batmış ve fırtınalı denizde kayalara tutunmaya çalışan denizcilere döneriz. Fizikçiler somut ve kalıcı bir şeylere tutunmak için çaresizce çırpınır. Bunlar, herkes için aynı olan ve belirli bir bakış açısına bağımlı olmayan şeylerdir.

Evvel zaman içinde fizikçiler, uzay ve zamanın evrenin sağlam kayaları olduğunu düşünürdü. Belirli bir nesnenin uzunluğunu ya da olaylar arasındaki zaman aralığını kim ölçerse ölçsün sonuç aynı çıkardı. Einstein yanıldıklarını gösterdi. İnsanların yaptıkları ölçümler, bakış açılarına, daha doğrusu birbirlerine göre hangi hızla yer değiştirdiklerine bağlıdır.

Evvel zaman içinde fizikçiler, kütlenin de evrenin sağlam bir kayası olduğunu düşünürdü: 1 kilogramlık kütleyle sahip bir cisim, yarın da 1 kilogramlık kütleyle sahip olacak ve bu kütleyle sonsuza kadar koruyacaktı. Einstein, onların da yanıldığını gösterdi. Bir hidrojen bombasında, kütlenin yaklaşık yüzde 1'i ortadan kaybolarak, başta ısı enerjisi olmak üzere başka enerji biçimlerine dönüşür.

Ancak doğa bir eliyle bizden aldığını öbür eliyle geri verir. Kütle bir zamanlar düşündüğümüz gibi sert bir kaya olmayabilir; *ama enerji öyledir* ve kütle de aslında bir enerji biçiminden ibarettir. Uzay ve zaman da bir zamanlar olduklarını düşündüğümüz kayalar değildirler belki; *ama uzay-zaman öyledir*.⁶ Fizik, dünyanın kendi bakış açımızdan bağımsız gerçekleri için girdiğimiz arayıştır. Einstein ise gerçeklik perdesini aralayarak bize neyin gerçekten kaya gibi sağlam, neyin gerçekten değişmez olduğunu göstermiştir.

17:

KÜTLEÇEKİMİN SESİ

Genel Görelilik

Kuş gözlemleyen bir fizikçi uçurumdan düşerse dürbünü için endişelenmez; dürbün de nasılsa kendisiyle düşmektedir.

SIR HERMANN BONDI

Kesin bir şey varsa, o da ışığın ağırlığı olduğudur ... Işık ışınları Güneş'e yakınken dümdüz bir hat üzerinde yol almazlar.

ARTHUR EDDINGTON

Einstein'ın görelilik kuramı, bir ışık demetinin hızını ölçen herkesin aynı sonucu alabilmesi için uzay ve zamanda neler olması gerektiğini söyleyen reçetedir.¹ Einstein'ın "herkes" sözcüğüyle kastettiği, birbirine göre sabit hızla hareket eden gözlemcilerdir. Ancak bir an düşünürsek bunun çok özel bir durum olduğunu anlarız. Çok az cisim sabit hızla hareket eder. Trafikteki bir araba bir yavaşlar bir hızlanır, ışıklara gelince durur. Turuncu alevler ve beyaz dumandan oluşan bir sütun üzerinde yükselen bir roket, Dünya'nın üzerinde yörüngede kalabilmek için gereken, saatte 29.000 kilometrelik hıza ulaşana kadar hızlanır da hızlanır.

Öyleyse Einstein'ın 1905'te yaptığı, birbirlerine göre sabit hızla yer değiştiren, hiç de tipik sayılamayacak "özel" gözlemcilerin bakış açısıyla dünyanın neye benzediğini tespitten ibaretti. Bundan sonraki adımı, dünyanın tipik veya "genel" gözlemciye nasıl göründüğünü açıklamaktı. Bu gözlemciler birbirlerine göre hızlarını zaman içinde değiştiriyor, hızlanıyor, yavaşlıyorlardı. Bunu açıklayabilmek için Einstein'ın, özel görelilik kuramını bir şekilde genel görelilik kuramına dönüştürmesi gerekiyordu. Bu, Einstein'ın yaklaşık on yılını alan zihinsel bir mücadele süreci gerektirmiş olsa da, onun Isaac Newton'dan bu yana tarihteki en büyük fizikçi olarak yerini perçinleyen anıtsal bir gelişmeydi.

Özel göreliliği genelleştirmeye kalkışan Einstein'ın karşı karşıya olduğu ciddi bir sorun vardı. Özel görelilik, yalnızca özel durumlar için geçerli olmakla kalmayıp, bilimin en önemli temellerinden biriyle de *tümüyle çatışma halindedir*: Newton'un kütleçekim kuramı.

Newton'a göre, herhangi iki cisim arasında (örneğin, Güneş ve Dünya), birbirlerine olan uzaklıkları ve kütlelerine bağlı bir çekim kuvveti vardır. Ancak özel görelilik, *bütün enerji biçimlerinin* etkin bir kütleye sahip olduğunu söyler. Örneğin, bir fincan kahveyi ısıtacak olursanız, ısı enerjisi, onu soğuk olduğu duruma göre çok

az da olsa daha kütleli hale getirecektir. Sonuç olarak sadece kütle enerjisi değil, bütün enerji biçimleri birbirini kütleçekimsel olarak etkiler. Newton'un da savunmuş olduğu üzere, kütleçekimin kaynağı kütle değil, *enerjidir*. Kütle enerjisi, enerjinin en aşına olduğumuz biçimidir, o kadar.

Özel görelilik ve Newton'un kütleçekim yasası arasındaki uyumsuzluk bu kadarla kalmaz. Einstein'a göre ışık, kozmik hız sınırını belirler. Kuramı da buna bağlı olarak şu öngöründe bulunur: Güneş birdenbire ortadan kaybolda –pek olası görünmese de öyle olabileceğini varsayalım– Dünya bunu hemen fark etmeyecektir. Gezegenimiz, ışık hızıyla yol alan kütleçekimin Güneş ve Dünya arasındaki mesafeyi katetmesi için gereken süre içinde, her şeyden habersiz, yörüngesinde kaygısızca yol almaya devam edecektir. Güneş'in ortadan kaybolduğunu ancak 8,5 dakika sonra fark edecek olan Dünya, düz bir rotada yıldızlara doğru uzaklaşacaktır.

Şimdi bu senaryoyu Newton'un kütleçekim kuramının öngörülerıyla kıyaslayalım. İki cisim arasında *anında bir kuvvet* oluşur; bir başka deyişle kütleçekim etkisi, iki gök cismi arasında *sonsuz hızla* yol alır. Buna göre Newton'un kuramının öngörüsü de şöyledir: Güneş birden ortadan kaybolacak olsa, Dünya durumu anında fark edecek, böylece Einstein'ın kozmik hız sınırı ilkesini ihlal edecektir.

Einstein, özel görelilik kuramını inşa ederken fiziğin temel taşlarından biri olan Newton'un kütleçekim yasasını da kasıtsızca yerle bir etmişti. Kendisini güzel bir binayı yıkan ama yerine yenisini nasıl koyacağı hakkında en ufak bir fikri olmayan bir vandal gibi hissetmiş olsa gerek. Fakat bir çözüm bulma umudunu yitirmek üzereyken aklına parlak bir fikir geldi. Bu fikir aslında yüzyıllardır bilindiği halde önemi daha önce kimse tarafından anlaşılmamış basit bir gözlemi içeriyordu.

On yedinci yüzyıl İtalyan bilim insanı Galileo Galilei'nin, eğik duran Pisa Kulesi'nden biri ağır, diğeri hafif iki kütle attığı ve ikisinin de yere aynı anda çarptığını gözlediği söylenir. Aynı deney daha sonra 1972'de, işleri karmaşıklaştıran hava direnci saf dışı edilerek Ay'da tekrarlandı. Bir çekiç ve bir kuş tüyünü aynı anda yere bırakan Apollo 15 kumandanı Dave Scott, eşzamanlı olarak

havalanan iki Ay tozu bulutçuğundan hareketle, ikisinin de yere aynı anda indiğini gösterdi.

Bir an için bunun ne kadar tuhaf bir durum olduğunu düşünün. Biri küçük, diğeri büyük iki kütleli alıp bunları tamamen aynı kuvvetle itecek olursanız, küçük olan kütlelerin daha fazla hız kazanacağı ortadadır. Buzdolabı gibi büyük bir kütlelerin, tabure gibi küçük bir kütleyle kıyaslandığında harekete karşı daha fazla direnç gösterdiği herkesçe bilinir. Zaten kütle tanımı buna dayanır. Ama kütleçekim kuvveti küçük bir kütle ile büyük bir kütleli yere doğru çektiğinde, iki kütle *tam olarak aynı oranda* hız kazanır. Bir başka deyişle kütleçekim kuvveti, tamı tamına kütleli oranlı olarak artar veya azalır. Daha büyük kütle için daha büyük olmayı bir şekilde *bilir*. Ama nasıl? Böyle bir ayarlamamanın tamamen doğal olarak nasıl gerçekleşebildiğini yine Einstein'ın dehası ortaya çıkardı.

Herhangi bir gezegen ya da ayın kütleçekiminden uzak bir roket içinde yol alan bir astronot düşünün. Roket saniyede 9,8 metre hızla ivmeleniyor.² Bu, yere doğru düşmekte olan bir cismin ivmesiyle tamı tamına aynı olduğundan (teknik tabirle $1g$), astronotun ayakları sanki Dünya yüzeyindeymiş gibi kabinin tabanına yapışır. Diyelim ki astronot bir kağıt atacıyla bir golf topunu aynı yükseklikte tuttu ve sonra ikisini aynı anda bıraktı. Bekleneceği üzere yere aynı anda düşeceklerdir; tıpkı Dünya'da olduğu gibi.

Şimdi de bu manzaraya uzaktan bakın. Farz edin ki roketin dışında, boşlukta süzülüyorsunuz ve roketin içini görmenize izin veren X-ışınları gözlerle sahipsiniz (kabul, pek gerçekçi sayılmaz). Bu tanrısal bakış açısıyla göreceğiniz şey ne olur? Astronot, ataç ve golf topunu elinden bırakır, onlar da uzayda hareketsiz biçimde asılı kalır. Başka nasıl olabilir ki? Ne de olsa roket, herhangi bir gezegenin kütleçekiminden yeterince uzaktır. Ama iki nesne orada öylece asılı dururken, kabin tabanı, onları karşılamak üzere *yukarıya doğru ivmelenir*.

Dünya'daki kütleçekimin, hem büyük hem de küçük kütleleri aşağı doğru aynı ivmeyle nasıl çekebildiği, bizim için önceden tam bir bilmeceydi. Ama roket senaryosunda olan biten hiçbir şeyin bilmececi bir tarafı yok. Hareketsiz durumdaki ataç ve golf

topunu karşılamak üzere yukarı doğru ivmelenen cisim kabin tabanı olduğuna göre, ikisinin bu tabanla aynı anda karşı karşıya gelmesinden daha doğal ne olabilir ki?

Ama durun bir dakika. Roket senaryosunun kütleçekimi açıklayabilmesi için, kütleçekimin *ivmeyle aynı şey olması* gerekir. Zaten öyledir de! Einstein'ın dehası, bu iki kavramın birbirinden tümüyle ayırt edilmez olduğunu görmekte yatıyordu. Roketin pencereleri tamamen perdelenir, titreşimler de algılanmaz hale getirilirse astronot, Dünya'daki karartılmış bir odada yaşayacağı deneyimin *aynısını* yaşayacaktır. Kütleçekim, Einstein'ın fark ettiği üzere, ivmenin *ta kendisidir*.

Öyleyse tuhaf biçimde, ivmeleniyoruz ama bunu fark etmiyoruz. Ve fark etmediğimiz için de deneyimimizi açıklamak için bir kuvvet icat etmişiz: kütleçekim.

Kütleçekim ve zaman

Roket düşünce deneyi, Einstein'a kütleçekim ve ivmenin aynı şey olduğunu göstermişti. Öyleyse ivmelenmekte olan bir kişinin bakış açısıyla dünyanın neye benzediğini açıklayabileceği bir kuram bulabilirse, ister istemez bir kütleçekim kuramı da bulmuş olacaktı. *Bir taşla iki kuş*. Ama nasıl yapacaktı bunu? O sıralarda İsviçre'deki bir patent bürosunda memur olan Einstein, ileride en büyük düşüncesi olarak nitelendireceği bir düşünceyle baş başa buldu kendini: "Dönüm noktası niteliğindeki çözüm, günün birinde beynimde aniden beliriverdi. Bern'deki patent bürosunda, bir sandalyede oturmaktaydım. Birdenbire kafama dank etti: Serbest düşmeyle düşmekte olan biri, kendi ağırlığını hissetmeyecekti."

Neden bir dönüm noktasıydı bu? Yerçekimi ve ivme aynı şey olduğuna göre, bir ağırlık –yani yerçekimi– algılamayan biri, ivmelenmiyor demektir. Başka bir deyişle, durumu özel görelilikle açıklanabilir çünkü özel görelilik, ivmelenmeyen bir gözlemci için dünyanın neye benzediğini ele alır. Einstein, bir ivme kuramının bir kütleçekim kuramı demek olduğunu bulmakla kalmamış, bunu, elinde zaten mevcut olan özel göreliliğe bağlayan kilit köprüyü de

bulmuştu. Düşmekte olan bir kişi yerçekimini hissetmeyeceği için, dünyayı algılayışı da özel görelilikle açıklanabilirdi.

Bu kişiye göre ivmelenmekte olan –yani yerçekimini hisseden– bir başka kişinin, her an için sabit hızla ilerlediği varsayılabilir. Dolayısıyla dünyasının her bir anda neye benzediğini öngörmek için özel görelilikten yararlanılabilir.

Size göre hareket etmekte olan birine zaman yavaşlar gibi görüneceği için, size göre ivmelenmekte olan birine de zamanın yavaşlar görünmesi şaşırtıcı değildir. Ancak ivme ve kütleçekim aynı şey olduğundan, bu durum güçlü bir yerçekimi hisseden biri için de zamanın daha yavaş aktığı anlamına gelir.

Başka türlü ifade edecek olursak, *kütleçekim zamanı yavaşlatır*.

Biri bir binanın zemin katında, diğeri de en üst katta çalışan iki kişi düşünün. Zemin kattaki kişi, Dünya kütlelerine daha yakın olduğu için yerçekimini diğer kişiye göre çok az farkla da olsa daha güçlü hissedecek ve zaman onun için daha yavaş geçecektir. Özetle, uzun zaman hayatta kalmak istiyorsanız, bir kulübede yaşayın.

Zamanın bu şekilde yavaşlaması, yani “zaman genleşmesi”, son derece küçük ölçekte gerçekleştiğinden, bunu ancak kusursuz hassaslıkta bir atom saatiyle görebilirsiniz. Ama ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü fizikçileri 2010 yılında zoru başarmış ve bir merdivende, başka birinden bir basamak aşağıda durduğunuzda zamanın sizin için çok az farkla da olsa yavaş akacağını göstermişlerdir.³

Zamanın yavaşlaması ancak kütleçekimin yeterince güçlü olduğu durumlarda fark edilebilir. Bildiğimiz en güçlü kütleçekim kaynağı ise kara deliklerdir.⁴ Bir kara deliğin kenar ya da ufkuna yakın bir bölgede asılı kalabilseydiniz, zaman sizin için öyle yavaş akardı ki evrenin geleceği hızlı çekimde bir film gibi gözünüzün önünden geçerdi.

Uzayın tepeleri ve vadileri

Henüz yanıtlamamış olduğumuz soruya dönersek: Kütleçekim ivmeden ibaretse, hızlanmakta olduğumuzu neden hissetmiyoruz?

ıg ivmesiyle hareket eden roketi yeniden ele alalım. Diyelim ki, astronot, kabinin bir duvarından karşı duvara, tam olarak yatay ve yerden 1 metre yükseklikte bir lazer ışını gönderdi ve bir de baktı ki, ışının karşı duvarda çarptığı noktanın yüksekliği, *1 metreden az*.

Bu tuhaf olsa da zaten beklenen bir şeydir. Işık evrendeki en hızlı şey olsa bile, kabinin bir duvarından diğerine varması yine de zaman alır. Ayrıca uçuşu sırasında kabin tabanı da ona doğru ivmelenir. Astronot bu nedenle ışık demetinin aşağı, yere doğru büküldüğünü görür. (ıg kadar küçük bir ivmeyle, etki *çok küçük* olsa bile yeterince duyarlı aygıtlarla ölçülebilir.)

İki açıklama daha yapalım. Birincisi, ışığın tanımlayıcı özelliklerinden birinin, herhangi iki nokta arasındaki en kısa yolu seçmesi olduğudur. Dolayısıyla astronot lazer demetinin çizdiği eğriden hareketle, ivmelenmekte olan bir roketteki en kısa yolun düz bir çizgi değil, bir *eğri* olacağı sonucuna varacaktır. İkincisi –ki asıl önemlisi de bu– ivmenin kütleçekimden ayırt edilemez olması nedeniyle astronotun ister istemez, kütleçekimin varlığında ışık demetinin izlediği yolun da bir eğri olduğu sonucuna varacak olmasıdır. Özetle *kütleçekim, ışığı bükür*.

Gerçi Einstein kütleçekimin ışığın izlediği yolu büküğünü, daha genel görelilik kuramını inşa etmeden tahmin etmişti. Ne de olsa özel görelilik, tüm enerji biçimlerinin eşdeğer kütlelerinin olduğunu, dolayısıyla kütleçekimden etkilendiklerini –ve tabii kendilerinin de kütleçekim *uyguladıklarını*– ileri sürer. Işık parçacıkları olan fotonlar enerjiye sahip oldukları için bir kütleye de sahiptirler ve buna bağlı olarak kütleçekim tarafından bükülüyor olmaları gerekir.

Einstein'ın kütleçekim kuramı, ışığın bu bükülme durumuna yeni ve incelikli bir ilave daha getirir. Kütleçekim ile ivmenin aynı şey olduğu iddia edilmiş olsa da, bu iddia roket örneği için bütünüyle geçerli sayılmaz. Bırakılan iki nesne, astronotun bakış açısından yere doğru “düşerken” birbirine paralel yollar çizer. Ancak aynı iki nesne Dünya’da düşmeye bırakıldığında olan bu değildir. Çünkü Dünya’nın yerçekimi her zaman Dünya’nın *merkezine* doğrudur (En uç durumda, yerkürenin karşıt uçlarında yaşayan

insanları yerçekimi *zıt yönlerde* çeker.)⁶ Bundan dolayı, ışık demetinin kütleçekim etkisiyle bükülmesi, beklenenin *iki katıdır*.

Einstein'ın kütleçekim etkisiyle bükülen ışık hakkındaki öngörüler 29 Mayıs 1919'da gerçekleşen tam Güneş tutulması sırasında doğrulanarak bir zafere dönüştü. Tam Güneş tutulmasında Güneş'in parıltısı Ay tarafından gölgelendiğinden, bu dönem yıldızların Güneş'in diskine oldukça yakın konumda görülebildiği tek zaman aralığıdır.⁷ Bu yıldızlardan Dünya'ya doğru gelen ışıkların yollarının, devasa kütleli Güneş'in yakınından geçerken onun kütleçekim etkisiyle sapması beklenir. İngiliz gökbilimci Arthur Eddington liderliğinde Afrika'nın batı kıyısı açıklarındaki Principe Adası'na yapılan bir araştırma gezisinde ışığın, Einstein'ın genel görelilik kuramının öngörülerine uyar biçimde büküldüğü doğrulandı. Elde edilen değer, özel göreliliğin öngördüğünün gerçekten de iki katıydı.

Işığın kütleçekim etkisiyle bükülüyor olması, önceki sorumuza, yani “Kütleçekim ve ivme aynı şeyse, ivmelenmekte olduğumuzu neden hissetmiyoruz?” sorusuna kilit bir ipucu sağlar. Hatırlarsanız ışık, her zaman iki nokta arasındaki en kısa yolu seçer. Öyleyse kütleçekimin varlığında izlediği yol neden eğridir?

Tepeden tepeye en kısa yolu seçerek ilerleyen bir yürüyüşçü düşünün. Yüksekten uçan bir kuşun bakış açısından, yürüyüşçünün düz bir yol izlemediği açıktır. Coğrafyadaki iniş-çıkışlardan dolayı dolambaçlı bir yol olacaktır bu. Aradaki paralelliği görebildiniz mi? Işığın kütleçekimin varlığında kavisli bir yol izlemesi, uzayın da kütleçekimin varlığında kavisli olduğu anlamına gelir.

Gerçekte kütleçekim de bundan ibarettir: bükülmüş uzay ya da daha kesin bir ifadeyle *bükülmüş uzay-zaman*.

Einstein'dan önce hiç kimse böyle bir durumun varlığını sezememişti. Buna şaşmamak gerekir aslında. Uzay-zaman dört-boyutlu bir olgudur; kuzey-güney, doğu-batı, yukarı-aşağı ve geçmiş-gelecek doğrultuları boyunca uzanır. Bizler üç-boyutlu yaratıklar olduğumuzdan, dört-boyutlu gerçekliği doğrudan deneyimleyemeyiz.

Dünya'nın yüzeyine niye çakılı olduğumuzu nihayet anlayabiliriz. Bizi oraya bağlayan bir kütleçekim “kuvveti”, görünmez bir elastik bağ yoktur. Bizi yerimizde tutan, Dünya çevresindeki

uzay-zamanın bükük olmasıdır. Bizler, sığ bir uzay-zaman vadisinin dibinde durmakta ve tıpkı gerçek bir vadinin dibine düşen bir top gibi, aşağı doğru ivmelenmekteyizdir. Ancak bizi durduran bir şey vardır: yer. Yer, düşmemizi önler ve bizi geri iterek *yerçekimi algısı* yaratır.

Kütleçekimin ivme demek olduğunu Einstein'dan önce hiç kimsenin tahmin etmemiş olması şaşılası değildir. İçinde bulunduğumuz uzay-zaman vadisini göremediğimiz gibi, yerin yüzeyi de serbest düşüşümüzde engel olur.

Aşına olduğumuz bir örneği daha ele alalım: Dünya çevresinde dolanmakta olan Ay'ı yörüngede tutan, Dünya'ya lastik bantla tutturulmuş etkisini yaratacak türden bir kütleçekim kuvveti değildir. Einstein'a göre Dünya, Ay çevresindeki uzay-zamanı bükerek bir vadi oluşturur, Ay da tıpkı bir rulet çarkı çevresinde dönen top gibi, vadinin kenarları boyunca yol alır.

Bunların hiçbirinin farkına varmayız, çünkü uzay-zaman bükülmesini doğrudan deneyimleyemeyiz. Bu olgunun varlığını keşfetmek için Einstein'ınki gibi bir deha gerekmiştir.

Bir benzetmeyle durumu biraz daha anlaşılır kılabiliriz. Bir arabadasınız. Araba keskin bir dönüş yapıyor ve kendinizi dışarı doğru itilmiş hissediyorsunuz. Bunu bir kuvvetle –fizik biliyorsa– nız merkezkaç kuvvetiyle– ilişkilendiriyorsunuz.

Ancak yolun kenarında durmakta olan birinin bakış açısından böyle bir kuvvet yoktur. Arabanın içindeki yolcu (siz), düz bir çizgi üzerinde seyrine devam ederken, araba viraja girince *araba* yolcu ya doğru yaklaşıyordur. Roket örneğinde de astronot kütleçekimi algıladığını düşünürken, dışarıdan bakan (ve X-ışını gözlere sahip) bir gözlemci için böyle bir kuvvet yoktu. Astronot yalnızca hareketsiz biçimde havada durmakta ve roketin zemini de kendisine doğru yaklaşmaktaydı.

Sonuç olarak Dünya'nın yüzeyinde yaşayan bizler bir yerçekimi kuvveti olduğunu düşünürüz, çünkü aslında ivmelenirken hareketsiz bir şeye –yer yüzeyine– çarpmış olduğumuzu fark etmeyiz. İvmelenmemiz ise aslında habersiz olduğumuz bir durumdan, uzay-zamanın bükük olmasından kaynaklanır.

Kütleçekim “kuvveti” diye bir şey yoktur. Kendi eylemsizliğimiz eşliğinde, bükülmüş uzayda yol almaktayızdır, o kadar.

“Kara delik” terimini ilk kez ortaya atan Amerikalı fizikçi John Wheeler, Einstein’ın kütleçekim kuramını –genel görelilik kuramını– tek bir cümleye sığdırmayı başarmıştır: “Madde, uzay-zamana nasıl büküleceğini söyler; bükülmüş uzay-zaman ise maddeye nasıl hareket edeceğini söyler.” İşte hepsi bu.

Ama şeytan ayrıntıda gizlidir. Genel göreliliği sözlerle –hatta matematik denklemleriyle bile– açıklamak kolay olduğu halde, kuramın öngörülerinin gerçek dünyada ne anlama geldiğini anlamak, bunun da ötesinde, dış dünyadaki işleyişine tanıklık etmek son derece zordur.⁸ Bunun nedeni, öngörülerinin yalnızca kütleçekimin güçlü olduğu durumlarda Newton’un kütleçekim yasasından sapmasıdır. Ve Dünya ve Güneş Sistemi’nde kütleçekim oldukça zayıftır. Dünya’nın kütleçekiminin zayıflığı konusunda ikna olmadıysanız, kolunuzu dışarı doğru uzatın. Dünya’nın kütlesi 6.000 milyar milyar tonu bulduğu halde, bunca madde kolunuzu aşağı çekmeyi başaramaz.

Kütleçekim kütleçekimi yaratır

Genel görelilik kuramı, kendisiyle ilgili kanıtlar bu kadar belli belirsiz olmasa, belki daha önce de ortaya çıkarılabılırdi. Fakat böyle bir gereksinim de yoktu. Einstein’ı harekete geçiren şey, zaten kendisinin eseri olan bir kuramı genelleştirme isteğiydi. Genel görelilik, bu nedenle bilim tarihi içinde son derece sıra dışı bir yer tutmaktadır. Kuramı belki de benzersiz kılan bir özelliği vardı: Yerleşik kurama ters düşen bir gözlemden hareketle ortaya çıkarılmamıştı. Tek bir adamın saplantısının sonucuydu.

Bütün bunlara rağmen, Einstein’ın genel görelilik kuramını kurgulamakta olduğu sıralarda, Newton’un kütleçekim yasasıyla çelişen bir gözlem gerçekten de *vardı*. Bunu önemli bulmak şöyle dursun, varlığından haberdar olan insan sayısı bile çok azdı. Bu gözlem Merkür’ün yörüngesiyle ilgiliydi.

Newton, iki kütle arasındaki çekim kuvvetinin belirli bir kurala göre zayıfladığını keşfetmişti: Aralarındaki uzaklık iki katına çıktığında kuvvet dört kat, uzaklık üç katına çıktığında kuvvet dokuz kat zayıflıyordu vs.⁹ Newton bununla yetinmeyerek bu ters-kare

kuvvetinin etkisi altındaki bir cismin izlediği yolun *elips* biçiminde olacağını da matematik becerilerini sergileyerek gösterdi.¹⁰ Bu sonuç, gezegenlerin Güneş çevresindeki yörüngelerinin, Eski Yunan bilim insanlarının iddia ettiği gibi dairesel değil, eliptik olduğu gözleminde bulunan Alman gökbilimci Johannes Kepler'in bulgularını açıklıyordu.

Aslına bakılırsa, bir gezegenin Güneş'e yönelmiş bir ters-kare kuvvetin etkisi altında yol aldığı ifadesi tam olarak doğru değildir. Çünkü her gezegen, Güneş'in uyguladığı çekimin yanı sıra *diğer bütün gezegenlerin* tek tek uyguladığı çekimin de etkisi altındadır; özellikle de kütlesi Güneş'inkinin 1/1.000'i kadar olan Jüpiter'in. Sonuçta yörüngesi değişmeyen bir elips değil, küçük adımlar halinde değişen, rozete benzeyen bir desen çizerek "yalpalayan" bir yörüngedir. Bu durum diğer gezegenler kadar Merkür için de geçerlidir. Ancak Merkür'ün şaşırtıcı özellikteki yörüngesi, diğer gezegenlerin kendisine uyguladığı toplam çekim etkisinden beklenecek olanın *üstünde* bir yalpalanma gösterir.

Merkür'ün bu sıra dışı yalpalaması –gezegen yaklaşık her 3 milyon yılda bir kendini yineleyen bir rozet çizer– genel görelilikle açıklanabilir. Einstein'a göre tüm enerji biçimleri –ısı enerjisi, ışık enerjisi, ses enerjisi ve en önemlisi kütleçekim enerjisi– etkin kütleye sahiptir. Bu da tüm diğer kütleler gibi kütleçekim enerjisinin de bir çekim oluşturduğu anlamına gelir. Diğer bir deyişle, *kütleçekim, kütleçekim yaratır*.

Bunun etkisi oldukça azdır ve yalnızca kütleçekimin görece güçlü olduğu, Güneş'e yakın yerlerde hissedilebilir. Merkür ise Güneş'e en yakın gezegen olduğu için Newton'un öngörebileceğinden daha güçlü bir kütleçekime maruz kalır. Bir gezegen, ancak Newton'un ters-kare kuvvetinin etkisi altındayken yörüngesi tam bir elips çizceğinden, genel görelilik Merkür'ün sıra dışı bir yalpalanma göstermesi gerektiğini öngörür. Bu yalpalanma diğer gezegenlerin uyguladığı çekim gücünden kaynaklı yalpalanmadan daha fazla olacaktır. Einstein bu etkiyi hesaplamış ve Merkür'ün uzayda *her 3 milyon yılda bir* kendini tekrarlayan bir yörünge deseni ortaya çıkarması gerektiğini bulmuştur. Gözlemlenen de tam olarak budur.

Einstein'ın kuramının Merkür'ün anormal yalpalanmasını açıklayabilmesi, sadece küçük bir camiaı ilgilendiriyordu.

Dünyayı ayağa kaldıracak bir durum değildi. Ama 1919'daki tam Güneş tutulması sonucunda ışığın kütleçekim etkisiyle büküldüğünün doğrulanması gerçekten de böyle bir etki yaptı. Bir Alman'ın öngörüsünün bir İngiliz tarafından doğrulandığı bu gözlemin Birinci Dünya Savaşı felaketinin hemen ardından gelmesiyle, Einstein bilim dünyasının ışıklarını üzerine çekmiş ve Isaac Newton'dan bu yana en büyük fizikçi olarak alkışlanmıştı.

Işığın, Güneş'in çekim etkisiyle bükülmesi, enerjinin uzay-zamanı büküğünü doğrular. Merkür'ün yörüngesindeki sıra dışı yalpalanma ise kütleçekim enerjisi de dahil tüm enerji biçimlerinin bir kütleçekime sahip olduğunu doğrular. Einstein'ın kuramının bir başka öngörüsü ise kütleçekimin zamanı yavaşlattığıdır. Bu olgu süper-duyarlı atom saatleriyle Dünya'da sınanmadan çok daha önce uzayda, beyaz cüce adı verilen gök cisimlerinin ışığında aranmıştı.

Kırmızıya kayma

Beyaz cüce, Güneş gibi yıldızların geçirdikleri evrimin son noktasını temsil eder. Isı kaynağı durumundaki nükleer yakıtını tüketmiş olan böyle bir yıldız, bünyesinde depolamış olduğu ısıyı yavaş yavaş uzaya bırakırken parlamaya devam eder. Bir Güneş'in kütlesini Dünya'ninkini geçmeyen bir hacme sığdırabilen beyaz cücenin bir küp şeker büyüklüğündeki her bir parçası, yaklaşık bir araba ağırlığındadır. Böylesine yoğun bir nesnenin yüzey kütleçekimi, Güneş'inkinin kabaca 10.000 katıdır. Einstein'a göre, bunun anlamı, zamanın da Dünya'da olduğundan çok daha yavaş akması gerektiğidir.

Böyle bir etkinin gözlenebilir olması için, beyaz cüce yüzeyinde rahatlıkla görülebilen bir saat bulunması gerekir. Ve inanılmaz gelse de, vardır böyle bir saat.

Sodyum ya da demir gibi bir elementin atomu belirli renklerde ışık saçar. Bu renkler o elemente özgü olup, onun ışıktan bir parmak izi gibi işlev görürler. Renk dediğimiz şey, özünde bir ışık dalgasının hangi hızla yukarı-aşağı titreştiğinin bir ölçüsüdür. Bu türden düzenli bir titreşim, tıpkı saatin tik-takları gibidir. Gökbilimciler

bir beyaz'cüce ve üzerindeki belirli bir elementten gelen ışığı gözlediklerinde, ışığın gerçekten de beklendiği gibi, Dünya'da olacağından daha *hantal* bir titreşim sergilediğine tanık olurlar. Bir başka deyişle, beyaz cüce üzerindeki bir saat *daha yavaş* işler. Ve bu yavaşlama tam olarak Einstein'ın öngördüğü kadardır.

Kırmızı ışığın titreşim hızı, mavi ışığının yarısı kadardır. Titreşim hızının yavaşlaması, ışığı tayfın kırmızı ucuna doğru iter.¹¹ Bu yüzden bu olgu "kütleçekimsel kırmızıya kayma" olarak adlandırılır.

Kırmızıya kayma başka amaçlara da hizmet eder. Örneğin, uzak galaksilerden gelen ışığı gözlemleyen gökbilimciler, bu ışığın Dünya'da olduğundan daha yavaş bir titreşim sergilediğini görmüştür. Kozmolojik kırmızıya kayma adını alan bu durum, beyaz cücedekiyle aynı nedenden ortaya çıkmıştır.

Uzak galaksilere baktığımızda, aslında evrenin daha genç olduğu zamanki hallerini görürüz, çünkü ışıklarının uzayda yol alıp bize ulaşması uzun zaman almıştır. Evren daha gençken aynı zamanda daha *küçüktü*. Bunun nedeni evrenin genişlemekte olması ve içerdiği galaksilerin da Büyük Patlama sonrasında kozmik birer şarapnel parçası gibi birbirinden uzaklaşmalarıdır. Uzak galaksiler kozmik maddenin ortalamada daha yüksek bir yoğunluğa sıkıştırıldığı, bu yüzden kütleçekimin bugüne göre daha güçlü olduğu bir evrende yaşıyordu. Einstein'a göre böyle bir evrende zaman daha yavaş akardı. Bunu, bu galaksilerden gelen ışığın yavaş titreşimlerinde, yani kozmolojik kırmızıya kayma olgusunda gözlemliyoruz.

Ancak fizikte, yoğurt yemenin genelde birden fazla yolu vardır. Uzak galaksiler ve beyaz cücelerden gelen ışığın kırmızıya kayması, bir öncekine tümüyle eşdeğer bir başka yolla, güçlü kütleçekimden kurtulan ışığın *enerji kaybettiği* şeklinde ifade edilebilir. Işığın enerjisi, ne kadar hızlı titreştiğine bağlıdır. Yüksek enerjili ışık hızlı biçimde titreşirken, enerjisini kaybeden ışık daha yavaş titreşerek *kırmızıya kayar*.

Kütleçekimin sesi

Einstein'ın kütleçekim kuramının doğrudan gözlenip doğrulanmayı bekleyen bir öngörüsü hâlâ mevcut: kütleçekim dalgaları.

Genel görelilik kuramında uzay-zaman, evrenin tiyatro eserlerinin önünde oynadığı edilgen bir sahneden ibaret değildir; maddenin varlığında bükülebilen etkin bir ortamdır aynı zamanda. Hatta yukarı-aşağı da titreştirilebilir ki bu da göletteki eşmerkezli dalgalar gibi dışarı doğru yayılan bir dalga oluşturur. Bu bir kütleçekim dalgasıdır.

Ancak uzay-zaman davul derisi kadar esnek yapıda olmayıp çelikten *bir milyar milyar milyar* kez daha serttir. Bu durum, uzay-zamanın güçlü kütleçekim dalgaları oluşturmak üzere titreştirilmesini son derece zorlaştırır. Uygulamada bunun gerçekleşmesi, evrendeki maddenin yarattığı en büyük ölçekli çalkantıları gerektirir: iki süper-yoğun nötron yıldızının¹² ya da kara deliğin¹³ birleşmesini.

Ancak büyük kütleçekim dalgaları, nötron yıldızları ve kara delikler tarafından, ikisi tek bir oluşum meydana getirmek üzere birleşmeden *çok önce*; hatta henüz bir arada yol aldıkları dönemde oluşturulur. Bu durum Einstein'ın kuramının 1974'te dâhiyane ve incelikli bir sınavdan geçmesine olanak tanımıştı. Amerikalı gökbilimciler Russell Hulse ve Joseph Taylor, birbiri çevresinde dolaan iki nötron yıldızından oluşmuş bir sistem keşfetti. Bunlardan bir tanesi bir pulsardı, yani dönerken bir yandan da radyo dalgalarıyla uzayı deniz fenerinin ışığı gibi süpüren bir yıldız.

PSR B1913+16 olarak bilinen ikili pulsar sistemini dikkatle gözlemleyen Hulse ve Taylor, iki nötron yıldızının birlikte sarmallar çizerek yol aldığını ve her yıl birbirine 3,5 metre kadar yaklaştıklarını belirlediler. Bu durum, teknik olarak “orbital enerji kaybına” uğradıkları biçiminde ifade edilir. Bu kayıp enerji, Einstein'ın kuramınca nötron yıldızlarının uzaya kütleçekimsel dalgalar halinde yaydıkları öngörülen miktarla *tamı tamına* uyuşmaktadır. Kütleçekimsel dalgaların varlığı hakkındaki bu *dolaylı* kanıt, Hulse ve Taylor'a 1993 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandırmıştır.

Yeni yarış, kütleçekim dalgalarını *doğrudan* algılayabilmektir. Başta insanlar bunu asılı durumdaki dev metal çubuklarla arıyordu. Böyle bir çubuğun, geçmekte olan bir kütleçekim dalgasının çarpmasıyla çan gibi çınlayacağı düşünülüyordu. Ancak en ufak titreşimler, örneğin binlerce kilometre ötede çarpan dalgalar bile böylesine küçük ölçekli bir sinyali rahatlıkla boğabilir.

Son yılların seçimi ise, uzaydaki deformasyonu lazer ışığından yapılan cetvellerle ölçmeye yarayan lazer interferometre teknolojisidir. Kütleçekim dalgalarının sahip olduğu ilginç bir özellik, yarıdan geçtikleri maddeyi bir yandan uzatırken, bir yandan da bu doğrultuya dik yönde sıkıştırmalarıdır. Avrupa ve ABD’de, her biri bu etkiyi algılayabilecek ve birbirine dik açıyla konumlandırılmış iki kola sahip dev dalga dedektörleri inşa edilmiştir. Örneğin Lazer İnterferometre Kütleçekimsel Dalga Gözlemevi (LIGO), ABD’nin iki farklı eyaletindeki dedektörlerden oluşur ve birbirine dik konumdaki kolları 4 kilometreyi bulur.

Bu tür dedektörleri kullanan fizikçiler aşılması güç zorluklarla karşı karşıya kalır. En güçlü astrofiziksel kaynaktan gelen kütleçekim dalgaları bile, Dünya’ya ulaştıklarında uzaklıktan dolayı ciddi oranda sönmüş olur. Deneycilerin algılamaya çalıştıkları uzay deformasyonu o kadar küçüktür ki, Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığı, en fazla bir atom çapının onda biri ölçeğinde değiştirebilir.

Yeterince güçlü bir atımın olası kaynakları, sarmallar çizerek birbiri çevresinde dolanan nötron yıldızları ya da kara deliklerle sınırlı kalmayıp, bir yıldız çekirdeğinin katastrofik çöküşüyle doğan bir kara delik de bunlara dahil edilebilir. Sözünü ettiğimiz bu son sürecin, muazzam kütleli bir yıldızın süpernova halinde patlamasıyla gerçekleştiği düşünülmektedir.

Kara deliklerin varlığına ilişkin çok büyük miktarda dolaylı kanıtı sahip olduğumuz halde, elimizde hiç dolaysız kanıt yoktur, çünkü kara delikler doğaları gereği hem çok küçük hem de çok karardır. Ancak bir kara delik oluşurken kendisini çevreleyen zarın ya da olay ufkunun şiddetle sarsılarak bol miktarda kütleçekim dalgası oluşturması beklenir. Ve tıpkı bir çan sesinin o çana özgü olup biçim ve boyutlarını ele vermesi gibi, bir kara deliğin doğumuyla ortaya çıkıp uzay-zamanda yayılan dalgaların da bu olayın tartışmasız birer imzası olduğu düşünülmektedir. Bir kara deliğin doğum çığlıklarının algılanması, Einstein’ın kütleçekim kuramını doğrulamakla kalmayacak, kara deliklerin varlığına ilişkin uzun zamandır beklenen kesin kanıtları da sunmuş olacaktır.

Kütleçekim dalgalarını ses dalgalarıyla karşılaştırmak yerinde olacaktır. Tarihimiz boyunca evren hakkında bildiğimiz her şeyi bize sağlayan şey ışık, yani görme duyumuz olmuştur.¹⁴ Evrenin

söylediklerine ise tam anlamıyla sağır kalmışsızdır. Kütleçekim dalgaları, *kütleçekimin sesidir*. Onları bir kez algıladığımızda, evreni de sonunda “işitmiş” olacağız.

18:

ÇOK KÜÇÜK ŞEYLERİN
GÜMBÜRTÜSÜ

Atomlar

Fizikçi, atomun kendisine bakma yoludur.

NIELS BOHR

Bir kum tanesinde bir dünyayı görmek,
Bir yaban çiçeğinde bir cenneti.
Sonsuzluğu avuçlarının içine almak,
Bir anın içine ebediyeti.

WILLIAM BLAKE, "Auguries of Innocence", 1803

Richard Feynman, savaş sonrası dönemde yaşamış Amerikalı fizikçiler arasında belki de en önemlisiydi. Geliştirdiği kuantum elektrodinamik kuramı kendisine Nobel Ödülü kazandırdı. Bu kuram, ışığın maddeyle nasıl etkileşimde bulunduğunu tanımlarken, gündelik dünyayı neredeyse her yönüyle açıklamış olur. *Feynman'ın Fizik Dersleri*'nde Feynman şu soruyu sorar: "Tüm bilgi birikimimiz bir felaket sonrasında tümüyle kayboldu ve bir sonraki kuşağa yalnızca tek bir cümle aktarılacak olsa, en az kelimeyle en çok bilgiyi içeren cümle hangisi olurdu?" Feynman yine kendisi yanıtlar: "Tüm nesneler atomlardan yapılmıştır."¹

Atom fikrinin tarihi oldukça eskidir. MÖ 440'lı yıllarda Yunan filozof Demokritos eline belki bir sopa, belki bir taş, belki de bir vazı olarak kendine şu soruyu yöneltti: "Bu nesneyi yarıya, sonra yine yarıya bölsün, bu şekilde bölmeye sonsuza kadar devam edebilir miyim?" Devam edebilecek olması, Demokritos için akıllamaz bir durumdur. Ona göre, artık daha fazla bölünemeyecek bir madde parçacığına er veya geç ulaşılması gerekirdi. Yunanca'da "kesilemez", *a tomos* demek olduğundan, Demokritos bu parçacığa "atom" adını verdi.

Demokritos düşüncelerini daha da ileriye taşıyarak atomların birkaç farklı türü olduğu varsayımında bulundu. Onları farklı biçimlerde bir araya getirmekle bir çiçek, bir bulut ya da yeni doğmuş bir bebek ortaya çıkarmak mümkündü. "Renk, acı, tatlı, yalnızca zihinde var olan kavramlardır, ama gerçekte var olan, yalnızca atomlar ve boşluktur" sözü ona aitti.

Bu düşünce, hayal gücünde inanılmaz bir sıçramaydı. Çevremiz şaşırtıcı ölçüde karmaşık görünür. Ama Demokritos'a göre bu bir yanılsamadan ibarettir. Gerçekliğin bu görüntüsünün altında nesneler oldukça basittir aslında.² Her şey sınırlı sayıdaki atom tipinden meydana gelir. Her şey kombinasyonların ürünüdür. Kısacası atomlar, doğanın alfabesidir.

Demokritos bu fikre, düşünce gücüyle varmıştı. Atomlar var olsalar bile çıplak gözle görülemeyecek kadar küçüktüler. Demokritos'un fikrini destekleyecek dolaylı kanıtların çıkması, iki binyıldan uzun süren bir bekleyişi ve bilimin yükselişini gerektirmişti. Örneğin bir buhar makinesinde buhar, kabına basınç uygulayarak itme eyleminde bulunur. Kabın içine hareket edebilen bir duvar –piston– yerleştirilmesi, bir eğirme makinesinin ya da bir trenin mekanizmasını çalıştırabilir. Eğer buhar, boşlukta gelişigüzel biçimde uçuşan sayısız küçük atomdan³ oluşuyorsa, piston hareketi bu şekilde açıklanabilirdi. Bu atomların her birinin pistonu çarpışı (tenekeden bir çatıya düşen yağmur damlaları gibi) küçük birer kuvvet uygular. Bu kuvvetlerin toplu haldeki etkisini ise basınç olarak gözlemleriz.⁴

On dokuzuncu yüzyılda yaşamış İskoçyalı fizikçi James Clerk Maxwell, “Öyleyse maddenin birçok özelliği, özellikle de gaz halindeyken sergilediği özellikler, küçük parçalarının hızlı hareket halinde olduğu ve hızın sıcaklıkla birlikte arttığı hipotezinden türetilir,” demişti. “Kusursuz bir gazdaki basınç, sıcaklık ve yoğunluk arasındaki ilişki, parçacıkların düz ve sabit hızlarda ilerlerken bulundukları kabın kenarlarına çarpıp basınç oluşturdıkları varsayımıyla açıklanabilir.”⁵

Buhar gibi gazların davranışı, Demokritos'un, gerçekliğin ufak madde parçacıklarından oluştuğu yönündeki görüşüne kanıt sunar. Peki ama bu parçacıkların farklı tiplerde olabileceği görüşü için ne diyeceğiz? Bunun kanıtı da beklenmedik bir yerden gelmişti.

Uzun süre boyunca kurşun gibi temel malzemeleri altın gibi değerli malzemelere dönüştürmenin mümkün olabileceğini düşünen simyacılar başarısız olmakla kalmayıp, iddialarının tam tersini kanıtlamışlardı. Bazı maddeler, hiçbir şekilde daha basit maddelere parçalanamaz. On sekizinci yüzyılın sonlarına doğru Fransız kimyacı Antoine Lavoisier, bu tür *temel (elemental)* malzemelerin, içeriğinde tek bir atomun bulunduğu büyük yığınardan oluştuğunu tahmin etmişti. Altının bu anlamda bir element olduğu açıktı. Ancak yıllar içinde kimyacılar –simyacıların takipçileri– bundan çok daha fazlasını keşfetti. Günümüzde doğal yolla oluşan ve en hafifleri olan hidrojenen en ağır olan uranyuma kadar değişen

92 element biliyoruz; uranyumdan daha da ağır olan plütonyum gibi yapay elementleri de kendimiz ortaya çıkardık.

İngiliz fizikçi William Prout 1815'te birçok atomun, hidrojen atomunun kütesini tamsayılarla katlayan kütlelere sahip olduğunu fark etti. Prout bundan yola çıkarak atomların aslında daha küçük şeylerden –hidrojen atomlarından– oluştuğunu ileri sürdü. On dokuzuncu yüzyıl sonları ve yirminci yüzyıl başlarında parçaları adım adım belirlenen atomun gerçekte bir değil, üç küçük şeyden oluştuğu açıklık kazandı. Protonlar ve nötronlar, kütle bakımından Prout'un hidrojen yapıtaşına yakın olsalar da, elektronlar bundan yaklaşık 2.000 kat daha hafiftir.

Yavaş yavaş ortaya çıkan resim, atomu minyatür bir Güneş Sistemi olarak göstermekteydi. Buna göre merkezde Güneş'e benzer bir çekirdek vardır ve bu çekirdek, içerdiği protonlar ve nötronlarla atomun kütesinin neredeyse tamamını oluşturur (en hafif atom olan hidrojen, yalnızca tek bir proton içeren çekirdeğiyle bu konuda bir istisnadır). Çekirdeğin çevresindeyse, tıpkı Güneş çevresindeki gezegenlere benzer biçimde, yörüngede dolanan elektronlar vardır. Çekirdekteki protonlardan her biri pozitif elektrik yüküne sahiptir. Negatif elektrik yüklü elektronların sayısı ise protonlarınkiyle aynıdır. Elektronları çekirdeğe bağlı halde tutan şey de aslında bu karşıt yükler arasındaki çekim kuvvetidir.

Atomun çizdiği bu gezegen sistemi resmi, 1911'de Yeni Ze-landalı fizikçi Ernest Rutherford tarafından ortaya çıkarılmıştı. Rutherford'un öğrencileri Hans Geiger ve Ernest Marsden 1909'da dünyanın en küçük makineli tüfeğinden (bir radyoaktif radyum örneği) ince bir altın folyoya atom-altı mermiler ateşlediler. O zamanların atom resmi, daha çok bir Noel pudingini andırıyordu: pozitif yüklerden oluşmuş bir kürenin üzerini üzüm gibi süsleyen elektronlar. Buna göre Geiger ve Marsden'in atom-altı mermileri (alfa parçacıkları) altın atomlarının arasından, gerçek mermilerin bir sivrisinek bulutu içinden geçmesine benzer biçimde uçup geçecekti. Ama iki genç deneyciyi hayretler içinde bırakan sonuç, 8.000 parçacıktan bir tanesinin *geri sekmesi* oldu. Puding modelinin tersine, atom kütesinin yüzde 99,9'unun küçücük bir çekirdekte yoğunlaşmış olması gerektiğini fark etmek Rutherford'un iki yılını

aldı. 8.000 alfa parçacığından birinin çarpıp üzerinden sektiği şey, işte bu çekirdekti.

Bu gezegen modelinin yaşattığı şoklardan biri, atomun akıllamaz derecede boş olmasıydı. Atomun yüzde 99,999999999999 gibi bir kısmı hiçlikten ibarettir. Dünyadaki tüm insanların tüm atomlarındaki boş bölgeleri sıkıştırabilecek olsanız, tüm insan ırkını tek bir küp şekere sığdırabilirdiniz. Atomla ilgili en güzel imgelem, İngiliz oyun yazarı Tom Stoppard’dan gelir: “Elinizi yumruk yapın. Yumruğunuzun bir atom çekirdeği büyüklüğünde olduğunu kabul edersek, atom St. Paul Katedrali kadar olur. Eğer bu bir hidrojen atomuysa, boş katedralde bir kubbeye, bir mihraba uçup duran bir güveden farksız, tek bir elektrona sahiptir.”⁶

Çekirdeğin uzağında hızla dolanan elektronlar, atomun diğer atomlarla ilişkiye geçtiği yüzey kısmını oluşturur. Protonlara eşit olan sayıları, bir atomun nasıl davrandığını, örneğin molekül oluşturmak üzere diğer atomlarla nasıl bağ kurduğunu belirler. En hafif atom olan hidrojen atomu, çekirdeğinde bir proton ve çevresinde dolanan bir elektron içerir. Ondan sonra gelen helyum iki proton, iki elektrona, en hafif üçüncü atom olan lityum ise üç proton ve üç elektrona sahiptir vs.

Çekirdekdeki nötronlar herhangi bir elektrik yükü taşımaz ve atomun kendini dünyaya nasıl sunduğunu belirlemede herhangi bir rol oynamazlar. Onun yerine çekirdek içinde arabulucu olarak işlev görerek, güçlü çekirdek kuvveti aracılığıyla çekirdek parçalarını bir arada tutarlar. Çekirdeğin protonlar arasındaki muazzam elektriksel itme kuvveti sonucu patlayıp parçalanması, nötronlar sayesinde önlenmiş olur.

Atomun daha da küçük yapıtaşlarından –protonlar, nötronlar ve elektronlardan– yapılmış olduğunun anlaşılmasıyla, Demokritos’un fikirlerinin de pencereden uçup gittiği izlenimi ortaya çıkabilir. Ancak Demokritos’un ileri sürdüğü düşünce, madenin en son noktada *bölünemez* parçacıklardan oluştuğu biçimindeydi. Ve öyle anlaşıyor ki haklıydı da. Dünya nihai olarak *gerçekten de* bölünemez parçacıklardan oluşmuştur. Tek uyumsuzluk, bunların, “atom” olarak adlandırmaya karar vermiş olduğumuz parçacıklar olmayışıdır. Bu bizim hatamızdır. Nihai temel

yapıtaşlarının atom değil, lepton ve kuark olarak bilinen *atom-altı* parçacıklar olduğu artık bilinmektedir.

Kuarklar ve leptonlar

Aslına bakılırsa, normal madde, bildiğimiz kadarıyla yalnızca dört temel yapıtaşından oluşur: iki lepton ve iki kuark. Elektron ve elektron nötrinosu, iki leptonu oluşturur. Atom içinde yörünge halinde olduğu için elektron iyi bilinir ama nötrino son derece “içine kapanık” olduğundan daha az tanınır. Nötrinolar Güneş’in merkezinde gerçekleşen ve güneş ışığını oluşturan nükleer tepkimeler yoluyla çok büyük miktarlarda üretildikleri halde, normal maddeyle öylesine ender olarak etkileşime girerler ki, Dünya sanki şeffafmış gibi, içinden uçup geçerler.⁷ Hatta siz farkına bile varmadan baş parmağınızın tırnağından her saniye 100 milyar Güneş nötrinosu akıp gitmektedir. Bunlar 8,5 dakika önce Güneş’in merkezinde yer almaktaydılar.⁸

İki leptona ek olarak, iki de kuark vardır: yukarı kuark ve aşağı kuark. Bunlar proton ve nötronu oluşturmak üzere üçlüler halinde gruplanır. Proton iki yukarı ve bir aşağı kuarktan, nötron da iki aşağı ve bir yukarı kuarktan oluşur. Kuarkların varlığı, özünde Geiger ve Marsden’in 1909’da gerçekleştirdikleri deneyin tekrarlanmasıyla kanıtlanmıştır. Geiger ve Marsden bu deneyde atomlara ateşledikleri alfa parçacıklarının, derinlerdeki atom çekirdeği tarafından geri püskürtüldüğünü gözlemlemişti. Fizikçiler bu sefer, protonların üzerine elektron ateşlediler. 1960 sonlarıyla 1970’lerin başlarında gerçekleştirilen deneylerde, geriye seken elektronlar, yine atomun derinlerinde nokta biçimli üç parçacığın varlığını ortaya koymuştur: kuarkların.

Günümüz fizikçileri proton ve nötronların kuarklardan meydana geldiği konusunda artık emin olsalar da, bunlardan bir tanesini ayırıp serbest bir kuark yaratmak imkânsızdır. Bunun nedeni, kuarkları bir arada tutan güçlü çekirdek kuvvetinin özel davranış biçimidir. Bu kuvvet, süper-güçlü olmakla yetinmeyerek (Newton, “en küçük parçacıklar birbirlerine en güçlü çekimle bağlanabilir”

derken haklıydı), iki kuark arasındaki uzaklık arttıkça güçlenmeye devam eder. Kuarklar, sanki uzatıldıkça direnci artan bir lastikle bağlanmış gibidir. Bu “lastiği” uzatmak için harcanan enerji, birbirlerinden kurtuldukları anın çok öncesinde, enerjinin korunumu yasasının verdiği yetkiyle, yeni parçacıkların kütle enerjisine dönüşür. Fizik yasaları, bir kuark – karşı-kuark çiftinin vücut bulmasına neden olur.⁹ Deneyciler bu aşamada iki kuarkı daha ayırmak durumunda kalacak, ancak bunu yapmaya çabalarken yine iki kuark daha ortaya çıkacaktır.

Peki elektron, nötrino, yukarı kuark ve aşağı kuarkın gerçekten de doğanın nihai parçalanamaz tanecikleri olduğunu nereden biliyoruz? Pauli Dışlama İlkesi’nden. Bu kuantum fermanı, belirli atom-altı parçacıkların aynı kuantum sayıyı paylaşamayacağını söyler. Bu durum, elektron söz konusu olduğunda, bir atomdaki iki elektronun aynı yörüngeyi (ve spini) paylaşamayacağı anlamına gelir. Böylece elektronların birbiri üzerine yığılmaması garantilenmiş olur. Aksi durumda dünyadaki çeşitliliği farklı kombinasyonlarına borçlu olduğumuz 92 atom türüyle değil, yalnızca tek bir atom türüyle kalakalırdık.

Pauli İlkesi üç şeyin sonucudur ve bunlardan biri, elektron gibi parçacıkların birbirinden ayırt edilemez oluşudur.¹⁰ Eğer iki şey birbirinden ayırt edilemiyorsa, bu onların daha küçük bileşenlerden oluşmadıklarına işaret eder; çünkü eğer oluşsalardı, bileşenlerinin düzenleniş biçimleri onları ayırt etmede kullanılabilirdi. Hem lepton hem de kuarklar Pauli İlkesi’ne uyar. Bunun tek yolu ise birbirinden ayırt edilmez olmaları, yani daha küçük bileşenler içermeyip doğanın gerçek anlamda bölünemez madde tanecikleri olmalarıdır.

Hepsi bu mu yani? Dünya nihai olarak yalnızca dört yapıtaşından (elektron, nötrino, yukarı kuark ve aşağı kuark) mı oluşmuştur? Tam olarak değil. Yine burada da bir bit yenisi var. Zaten ne zaman olmadı ki? Doğa, bilemediğimiz bir nedenden dolayı, yapıtaşlarını *üç katlamayı* seçmiştir! Yani yalnızca tek bir parçacıklar dördlüsü yerine, her biri temelde aynı parçacıkların kademeli olarak daha kütleli biçimlerini içeren *üç* dördlü vardır: elektron, elektron nötrinosu, yukarı kuark ve aşağı kuarktan oluşan 1. kuşak; *daha ağır* olan muon, muon nötrinosu, garip kuark ve tilsim

kuarktan oluşan 2. kuşak ve *daha da ağır* olan tau, tau nötrinosu, alt kuark ve üst kuarkı içeren 3. kuşak.

Daha ağır olan iki ailenin gündelik dünyada herhangi bir rol oynamıyor oluşu ilginçtir. Oluşumları için büyük miktarda enerji gerektiğinden bunlar yalnızca evrenin var oluşunun ilk anındaki Büyük Patlama'nın süper-enerjili ateştopu içinde yaygın olabilmişlerdi. Özünde elektronun daha ağır bir versiyonu olan muon 1936'da keşfedildiğinde, Amerikalı fizikçi "I. I." Rabbi, şu ifadeyi kullanmıştı: "Bunu kim sipariş etti?" Aynı şey, doğanın dört temel yapıtaşının bütün eşleri için de söylenebilir: *Ya bunları kim sipariş etti?*

Bu temel yapıtaşlarının üç kuşakla kaldığını ve çok daha fazlasının olmadığını nereden biliyoruz peki? Yanıt şaşırtıcı bir kaynaktan, kozmolojiden gelir. Evren doğduktan sonraki bir ila onuncu dakikalar arasında Büyük Patlama'nın ateştopu, protonlarla nötronların, en ağır ikinci element olan helyumun çekirdeklerini oluşturacak şekilde birbirleriyle çarpışıp yapışık halde kalmalarını sağlayacak kadar sıcak ve yoğundu. Bu ilkel helyum ilginç biçimde bugüne kadar kalmıştır ve evrenin her yerinde gözlenebilmektedir. Gökbilimciler, helyumun tüm atomların yüzde 10 kadarına karşılık geldiğini bulmuştur. Ancak öyle anlaşıyor ki çok daha fazla sayıda nötrino kuşağı bulunsaydı, oluşturacakları fazladan kütleinin yarattığı kütleçekim, Büyük Patlama ateştopunun genişlemesini engelleyecek ve evrenin daha yoğun ve daha sıcak halde çok daha uzun süre kalmasına neden olacaktı. Sonuçta ortaya çıkacak olan helyumun miktarı da bu nedenle farklılık gösterecekti. Yapılan hesaplamalara göre evrenin yüzde 10'luk bir helyum oranına sahip olması, ancak en fazla üç veya dört kuşak nötrinin varlığında mümkündür. Bu nedenle, temel yapıtaşları arasında daha da ağır olan bir dördüncü kuşak ortaya çıkarılmayı bekliyor olabilir. Ancak fizikçilerin çoğu böyle bir şeyin olmadığı kanısındadır.¹²

Bu üç parçacık kuşağında altı kuark ve altı lepton olmak üzere toplamda on iki temel yapıtaşı olduğunu düşünüyor olabilirsiniz. Ama hepsi bu kadar değil; bir de kuark ve leptonları birbirine yapıştıran kuvvetler vardır. Örneğin yukarı ve aşağı kuarkları, proton ve nötron oluşturmak üzere üçlüler halinde yapıştıran kuvvetler.

Kuvvet taşıyıcıları

Kuantum kuramına göre kuvvetler, *kuvvet taşıyıcı parçacıkların* el değiştirmesiyle ortaya çıkar. Tenis oynayan iki tenisçi düşünün. Oyuncular, topu karşı tarafa gönderen rakibinden gelen kuvveti hissedecektir. Fizikçiler tarafından bilinen dört temel kuvvet vardır: vücudunuzdaki atomları bir arada tutan elektromanyetik kuvvet, yalnızca atomun küçücük çekirdeği içinde işleyen güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetleri ve gezegen, yıldız ve galaksileri bir arada tutan kütleçekim kuvveti. Elektromanyetik kuvvet fotonla, zayıf çekirdek kuvveti üç vektör bozonuyla (W^+ , W^- ve Z), güçlü çekirdek kuvveti sekiz gluonla, kütleçekim kuvveti ise gravitonla taşınır. (Gerçi şu ana kadar kimse bir graviton tespit edebilmiş değil, kütleçekimin böyle bir parçacıkla kuantum tanımını yapmak da henüz kotarılamadı.)

Öyleyse elimizde 12 temel yapıtaşı ve 13 kuvvet taşıyıcı parçacık var. Hepsi bu kadar mı? Aslında bir parçacık daha var: 2012'de İsviçre'de Cenevre yakınlarındaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda keşfi büyük gürültü koparan Higgs bozonu. Bu bozon, bütün uzayı doldurup diğer parçacıkların geçişini engelleyerek onlara *kütle* kazandıran, bir tür görünmez pekmeze benzetilebilecek Higgs alanı içinde, yerel bir topak gibidir. Ama tabii her zamanki gibi hikaye bundan ibaret değildir.

Şaşırtıcı gelse de, proton ve nötronların içindeki kuarklar görece hafiftir ve normal maddenin (siz de dahil) yalnızca yüzde 1'lik kısmına karşılık gelirler. Higgs parçacığının açıkladığı da budur. Öyleyse kütlenin geri kalanının kaynağı ne olabilir? Kuarklar, çok büyük güce sahip güçlü çekirdek kuvvetinin etkisi altında, ışık hızına yakın hızlarda dönüp durur. Kütlenizin kalan yüzde 99'luk kısmına karşılık gelen de, onların bu muazzam hareket enerjileridir çünkü Einstein'ın keşfettiği üzere, tüm enerji biçimleri etkin kütleyle sahiptir.¹³ Bu hareket enerjisi –dolayısıyla, sahip olduğumuz kütle– güçlü çekirdek kuvvetinden sorumlu gluon alanlarından gelir.

İşte şimdi oldu: 13 kuvvet taşıyıcı parçacıkla birbirine yapışmış halde 12 temel yapıtaşı. Ve tüm parçacıklara kütlelerini

sağlayan alana bağlı durumdaki ilave bir parçacık. Temel yapıtaşları ve temel kuvvetleri kapsayan bu kuantum tanımlaması, Standart Model olarak bilinir ve fiziğin belki de en büyük başarısıdır. Ancak en temel açığı, doğadaki dört temel kuvvetten yalnızca üçünü açıklıyor olmasıdır. Hâlen Einstein'ın genel görelilik kuramıyla açıklanmakta olan kütleçekim ise, inatla dışarıda kalmayı sürdürmektedir.¹⁴

12 temel yapıtaşı + 13 kuvvet taşıyıcı parçacık + Higgs parçacığı, epeyce bir temel parçacık sayılır. Ama aslında dahası da vardır – işte bir bit yeniği daha. Her bir parçacığın zıt özellikler (elektrik yükü ya da spin) taşıyan bir anti-parçacığı vardır. Bir parçacık ve anti-parçacığı her zaman birlikte doğar. O zaman neden maddenin egemen olduğu bir evrende yaşıyoruz sorusu akla geliyor. Fizikçilerin bu konuda ileri sürdükleri en iyi tahmine göre, Büyük Patlama sırasında fizik yasalarındaki bir dengesizlik, maddenin oluşumunu ya da anti-maddenin yok oluşunu yeğlemiş olabilir. Ayrıca doğa, proton ve nötron gibi ağır parçacıkların (baryonların) yanı sıra orta ağırlıkta parçacıkların (mezonların) varlığına da izin verir. Bunlar kuark üçlülerinden değil, yalnızca iki kuarktan (bir kuark ve bir *anti-kuark*) oluşmuştur.

Baştan alırsak, elimizde şunlar var: 12 temel yapıtaşı + 13 kuvvet taşıyıcı parçacık + Higgs parçacığı + *hepsinin anti-parçacığı*. Ancak fizikçiler bu sayıyı azaltma umutlarını yitirmiş değil. James Clerk Maxwell'in elektrik ve manyetik kuvvetlerin tek bir *elektromanyetik* kuvvetin farklı yüzleri olduğunu gösterdiği on dokuzuncu yüzyıl sonlarından beri, “tek çatı altında toplama” böceği tarafından ısırılıp durmakta olan fizikçiler, dört temel kuvvetin, aynı süper-kuvvetin farklı görünüşleri olduğunu düşünmektedir.

Bu süper-kuvvet, onlara göre Büyük Patlama'nın ilk anlarının yüksek enerjili koşullarından baskın çıkmış ve sıcaklık düşmeye başladıktan sonra da yinelemeli biçimde bölünerek bugün varlığını bildiğimiz kuvvetleri oluşturmuştur. Aslına bakılırsa, yüksek enerjili parçacıkların çarpıştırıldığı 1980'lerin deneylerinde fizikçiler elektromanyetik kuvvetlerin ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin, tek bir elektrozayıf kuvvet oluşturmak üzere yeniden birleşmelerine gerçekten de tanık olmuşlardır.

Süpersimetri

Bazı fizikçiler bu tekleştirme ruhunun etkisiyle, fermiyonların, yani temel yapıtaşlarının, bozon adı verilen kuvvet taşıyıcı parçacıkların farklı yüzlerinden ibaret olabileceğini ileri sürmüştür.¹⁵ Ancak süpersimetri adını alan bu incelikli görüşün ciddi olumsuzluklarından biri, bilinen fermiyonlardan hiçbirinin, bilinen bozonlardan herhangi birinin eş parçacığı gibi görünmemesidir! Yollarından vazgeçmek niyetinde olmayan fizikçiler ise bunun üzerine, bilinen parçacıkların süpersimetrik eşlerinin çok büyük kütleyle sahip olduğunu ve güncel parçacık hızlandırıcılarının da bunları parçacık çarpışmalarıyla oluşturacak güce sahip olmadığı varsayımında bulunmuşlardır.

Süpersimetri görüşü doğruysa, fermiyonların bozonların eş parçacıkları olduğunu da göstermiş olacaktır. Ama ne yazık ki böyle bir şey için ödenecek bedel, yepyeni bir parçacıklar grubunun daha ortaya çıkmasıdır! Örneğin elektronun varsayımsal süpersimetrik eşi selektron, fotonunki de fotinodur. Birleştirme için fazlaca büyük bir bedel gibi görünebilir bu. Ancak o ölçüde büyük bir getirisi de olabilir. Bunun nedeni de, maddenin nihai bileşenleri öyküsündeki bir başka düğüm noktasında yatar: karanlık madde.

Atomlardan yapılmış olan maddelerin –yani sizi, beni, yıldızları oluşturan ve bilimin, uğruna 350 yılını harcadığı malzemenin– evrenin kütle enerjisinin ancak *yüzde 4,6'sına* karşılık gelmesi, itiraf etmeli ki biraz can sıkıcıdır.¹⁶ Bunun karşısındaki yüzde 71,4'lük büyük çoğunluk, görünmez karanlık enerjidir – ancak bu, şu anda bizim için fazla önem taşıyor. Asıl önemli olan, evrenin kütle enerjisinin yüzde 24'ünün, seçilebilir herhangi bir ışık yaymayan ve varlığı ancak görülebilir yıldız ve galaksilere uyguladığı çekim ile dolaylı olarak çıkarsanan karanlık maddeden oluşuyor olmasıdır. Evrenin görünür maddesini nicelik olarak beşten fazlasına katlayan bu karanlık maddenin kimliği bir sırdır. Ancak ihtimallerden biri, şu ana kadar keşfedilmemiş süpersimetrik parçacıklardan yapılmış olmasıdır.

Süpersimetri, belirli bir olaylar yelpazesinin, aslında aynı olayın farklı yüzlerinin dışavurumundan ibaret olduğunu göstermek için geliştirilmiş, modern bir kuramdır. Ancak bu tekleştirme arzusu,

Demokritos'un, gerçekliğin, az sayıdaki temel yapıtaşının farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmesinden oluştuğu yönündeki indirgemeci arzusuyla ister istemez çatışır. Öyle ya, indirgemeci yaklaşım temel yapıtaşlarını tek bir noktamsı temel parçacığa indirgeyebilecek olsaydı, bu parçacık nasıl farklı yüzlere sahip olabilirdi? Nokta benzeri bir parçacık, tanım gereği her açıdan aynı görünür. Ancak tekleştirme yaklaşımının indirgemeci yaklaşımla çatışmasını engelleyebilecek bir durum vardır: temel yapıtaşının nokta benzeri bir parçacık olmaması. Sicim kuramı adı verilen kuramın önerisi de budur.

Sicim kuramı

Sicim kuramına göre maddenin temel yapıtaşları, kütle enerjisinden oluşan tek boyutlu sicimlerdir. Bunlar çok küçük keman telleri gibi titreşebilir; öyle ki hızlandıkça enerjileri de artan titreşimler, kendilerini, ağırlıkları giderek artan parçacıklar halinde gösterir. Örneğin elektron böyle bir titreşimdir.

Sicimlerin fantastik denebilecek ölçekte, tipik olarak bir atomdan *milyon milyar* kez küçük oldukları kabul edilir. Böylesine küçük bir ölçek üzerinde araştırma yapmak, teknolojik yeterliğimizin çok ötesindedir ve atom-altı parçacıkları olağanüstü bir enerji düzeyine çıkaracak bir parçacık hızlandırıcısı gerektirir; çünkü kuantum kuramına göre bir parçacıkla ilintili olan bir kuantum dalgası, momentumunun (ya da enerjisinin) büyümesi oranında küçülecektir. Dolayısıyla aşırı yüksek enerji, araştırmayı aşırı küçük ölçeklerle yapmak anlamına gelir. Aşırı yüksek enerji yüklü Büyük Patlama'nın, aşırı küçük ölçekli şeylerin gümbürtüsüyle yankılanmasının nedeni de budur.

Sicim kuramının popülerlik kazanmasının nedeni, belirli bir sicimin –titreşen bir halkanın– kütleçekim enerjisinin varsayımsal taşıyıcısı olan gravitonun özelliklerini taşımasıdır. Sicim kuramı böylece, doğanın dört kuvveti arasında, diğerleriyle birleşmesi en zor olduğu anlaşılan kütleçekimini de otomatik olarak içine alır. Ancak kuramdaki en temel sorun şudur ki, tüm temel kuvvetlerin davranışını yeniden üretmek için toplam on boyuta –yani aşına

olduğumuz dört boyuta ek olarak altı boyuta daha– ihtiyaç vardır. Sicim kuramının yandaşları bu fazladan boyutların bariz biçimde ortaya çıkmamış olmasını, rulo halinde yuvarlanmış ya da atomdan çok küçük olacak şekilde sıkıştırılmış olmalarına bağlar.

Sicim kuramı, “Her şeyin Kuramı” için olası bir adaydır. Böyle bir kuram hem temel yapıtaşlarını hem de bunların temel kuvvetler aracılığıyla birbirleriyle nasıl etkileştiklerini, küçük bir kağıt parçasına bile sığdırılabilecek derli toplu bir denklem kümesiyle açıklayabilir. Kuram, Stephen Hawking’in de aralarında bulunduğu bir grup fizikçiye göre, fiziği nihai ve muzaffer bir sona taşıyacaktır. Ancak Her şeyin Kuramı’nın, sanıldığı gibi bir şey olmadığı da ortaya çıkabilir. İki nedenle.

Birincisine göre evren, tek başına Her şeyin Kuramı’nın kaçınılmaz bir sonucu olarak doğmuş olamaz. Çünkü böyle bir kuram, doğası gereği ister istemez bir *kuantum kuramı* olacak, bir başka ifadeyle, neyin gerçekleşmekte olduğunu değil, farklı şeylerin gerçekleşme olasılıklarını öngörecektir. Bir elektron ne zaman bir engelin solundan ya da sağından geçme seçeneğiyle karşı karşıya kalsa ya da bir atom ne zaman bir ışık fotonu çıkarıp çıkarmama seçeneğiyle karşı karşıya kalsa, seçtiği şey rassal olacaktır. Ve bu tür şeyler Büyük Patlama’dan bu yana defalarca tekrarlanmıştır. Bugün gördüğümüz evren, yalnızca Her şeyin Kuramı’nın değil, Her şeyin Kuramı *artı* akıllamaz ölçüde büyük olan bir kalıcı rastlantılar dizisinin sonucudur. Milyarlarca ve milyarlarca sayıda başka olası evren de ortaya çıkabilirdi – hepsi de aynı Her şeyin Kuramı’ndan olmak üzere. Rastlantı eseri seçilmiş olan bizim evrenimiz, bunlardan yalnızca bir tanesidir. Amerikalı fizikçi Murray Gell-Mann, bu durumu şöyle ifade eder: “Çevremizdeki dünyada yer alan herhangi bir varlık, örneğin bir insan, varlığını yalnızca fiziğin basit, temel ilkelerine değil, aklın alamayacağı kadar uzun bir ihtimaller zincirinin sonuçlarına da borçludur ki bu sonuçların hepsi de ihtimallere bağlı olarak pekâlâ farklı biçimler alabilirdi.”⁷

Eğer onu bulabilirsek, Her şeyin Kuramı insan düş gücünün bir zaferi olacak. Bunda hiç kuşku yok. Ama bunun da ötesinde, iki buçuk binyıl önce Demokritos’la başlayan indirgemeci yaklaşımın kısıtlamalarını da ortaya çıkaracak. Evrenin hem temel bileşenlerini hem de tarifini öğrenmiş olacağız. Bu da inanılmaz bir başarı

demektir. Ama tarifi sonunda, girişimin tam başarısı için gerekli bir talimat da olacak: 13,77 milyar yıl süreyle pişirin.¹⁸

Her şeyin Kuramı'nın bir kısıtlaması daha vardır. O kağıt parçasının arkasına karalanmış olan denklemler kümesi, doğanın temel madde yapıtaşlarının, doğanın temel kuvvetleri aracılığıyla nasıl etkileştiklerini tanımlayacak olsa da, yeni doğan bir bebeği, Shakespeare'in bir sonesini ya da iki kişinin neden birbirine aşık olduğunu açıklayamayacaktır. Böyle şeyler nasıl ortaya çıkar? Fizikçilere sorarsanız, bu olgular "belirir".

Belirme

Evrenin tipik bir özelliği –en azından bizim bulunduğumuz köşesi olan Dünya'da– temel yapıtaşlarının daha büyük yapıtaşları oluşturmak üzere bir araya gelmeleri, sonra bunların da bir araya gelerek daha da büyük yapıtaşları oluşturmaları ve bu şekilde devam etmesidir. Örneğin kuarklarla leptonlar atomları oluşturmak üzere bir araya gelir. Atomlar –DNA mega-molekülleri de dahil– molekülleri oluşturmak üzere bir araya gelir. Moleküller gaz, sıvı ve katıları –ve biyolojik hücreleri– oluşturmak üzere bir araya gelir. Hücreler bitki, hayvan, insan –ve beyinleri– oluşturmak üzere bir araya gelir. Ve insan beyinleri de küresel bir teknolojik uygarlık oluşturmak üzere bir araya gelir.

Giderek daha fazla sayıda yenilik ve daha büyük karmaşıklık da beraberinde getiren bu hiyerarşik yapılanmada, belirli bir düzeydeki yapıtaşlarının etkileşimini düzenleyen yasalar, bir sonraki düzeyin yapıtaşlarını düzenleyen yasalar hakkında herhangi bir ipucu vermez. Amerikalı biyolog Edwin Grant Conklin'e göre, "Yaşam tek başına atom, molekül ya da genlerde değil, organizasyondadır; ortak yaşamda değil, sentezdedir."¹⁹

Bütün, parçalarının toplamından daha büyüktür. Örneğin kuarkların atom çekirdeklerini oluşturmak üzere birbirlerine nasıl yapıştıklarının bilgisi, bir kimyacıya atomların molekülleri oluşturmak üzere nasıl bir araya geldiği hakkında bir şey söylemez. Tek bir hücrenin nasıl çalıştığının bilgisi ise bir nörobilimciye, gülebilen, Ay'a insan göndermek üzere plan yapabilen ya da *Mona*

Lisa tablosunu ortaya çıkarabilen bir beyin yapmak üzere 100 milyar hücrenin birlikte nasıl çalıştıkları konusunda herhangi bir ipucu vermez.

İşte bu nedenle, dünyayı açıklama yolunda oluşmuş hiyerarşik düzenin tabanında oturan fizik, sahip olduğu temel statüye rağmen kimyacıları, biyologları ya da sosyologları gereksiz kılmaz. Her bir karmaşıklık düzeyinde yeni yasalarla tanımlanan yeni olgular, bir alt düzeydeki yapıtaşlarının etkileşimi sonucu belirir. Böylece, örneğin, çok sayıda su molekülü bir su damlası oluşturmak üzere bir araya geldiğinde, ıslaklık adını verdiğimiz bir özellik belirir ki bu özellik, tek bir su molekülü söz konusu olduğunda herhangi bir anlam taşımaz. Çok sayıda atom, bir kutu boya yapmak üzere bir araya geldiğindeyse, tek bir boya pigmenti molekülü için hiçbir şey ifade etmeyen, renk dediğimiz özellik belirir.

Belirme olgusu sihir gibi görünse de değildir çünkü herhangi bir eklemenin yapılması değil, daha ziyade bazı bilgilerin göz ardı edilmesi söz konusudur. Tek bir gaz molekülünün uzaydaki hareketi pekâlâ öngörülebilir olsa da, gaz kütlesini oluşturan katrilyonlarca gaz atomunun izini sürmek mümkün değildir. Bu nedenle fizikçiler bu takibi imkânsız boyutlardaki bilgiye değil, ortalamalara odaklanırlar. Geriye çekilip büyük resmi daha iyi görebilmek adına bazı gereksiz ayrıntıları devre dışı bırakırlar. Bu süreçte basınç ve sıcaklık gibi nicelikler de icat ederler ki bunlar büyük sayılardaki mikroskobik bileşenlerin davranışlarını tanımlayan ortalamalardır aslında. Ortalamalardan oluşan parametreler arasındaki ilişkileri fark edip bunların davranışlarını yönlendiren yeni yasaları belirlemeleri, ancak bu uzaktan bakma yaklaşımıyla mümkündür.

“Geceleri daireler çizerek dolaşan bir jaguar, kuark dünyasıyla elbette ilişkilidir,” diye yazmıştır Çinli-Amerikalı şair Arthur Sze. Ama uygulamada ikisini tek bir betimsel çerçeveye sığdırmak, yirmi birinci yüzyılda sahip olduğumuz becerilerin çok ötesindedir. Ortalamalarla çalışmamızın nedeni, her şeyi en temel yapıtaşlarının davranışları cinsinden açıklayacak matematiksel beceriye sahip olmayışımızdır.

Ortalamaları üst üste yığdıkça, bu sürecin sonucunda yeni yasalar belirir. Bunlar da yaklaşık değerlerden elde edilen yaklaşık

değerlerdir. Bir buçuk kiloluk jöle kıvamındaki ufak maymun beyinlerimizle bütünsel olarak algılayamayacağımız kadar karmaşık olan dünyayı anlamlandırmamızın yolu budur. Thomas Carlyle'ın ifadesiyle: “Evreni anlar geçinmiyorum kesinlikle; o benden çok daha büyük ... İnsanlar daha alçak gönüllü olmalı.”

Dolayısıyla Her şeyin Kuramı bir gün gerçekten keşfedilse bile bilimin tamamını yerinden etmeyecektir. Dünyanın temel yapıtaşları arasındaki etkileşimi açıklasa bile, çiçekler, soneler ya da küçük bir bebeğin kıkırdaması hakkında söyleyeceği hiçbir şey olmayacaktır.

19:

ŞU AN GİBİSİ YOK

Zaman

“Günlerden ne?” diye sordu Ayı Winnie.

“Bugün,” diye atıldı Piglet.

“En sevdiğim gün,” dedi Winnie.

A.A. MILNE, *Winnie the Pooh*

Seninle zaman bağlamında konuşamam –
senin zamanın ile benimki farklı.

GRAHAM GREENE, *Zor Tercih*

Pencereden bakıyor ve dışarıda Vikingleri görüyorsunuz. Arkalarında Romalılar. Onların da arkasında Mısırlılar. Çılgınca mı? Oysa gördükleriniz, teleskoplarından evreni izleyen gökbilimcilerin gördüklerinden daha çılgınca değil. Çünkü göksel bir cisim ne kadar uzaktaysa, *zamanın da o kadar gerisindedir*.

Işık, boşlukta saniyede 300.000 kilometre hızla yol alır. Ama bunun yerine, *bir yüzyılda 100 metre* hızla yol alıyor olsaydı, bir kilometre öteye baktığınızda I. William'ı İngiltere'yi işgal *etmek-teyken*, yaklaşık 2,2 kilometre ötede Publius Scipio'yu Hannibal ve filleriyle *savaşmaktayken*, ufuk çizgisine yakın, 4,5 kilometre ötede ise Mısır firavunu Khufu'yu Keops Piramidi'nin inşaat alanına yaptığı haftalık teftişlerden birini *gerçekleştirirken* görebilirdiniz.

Bütün bu olayların hâlâ izlenebiliyor olmasının nedeni, bir yüzyılda 100 metre ilerleyen ışığın, size, onlarla ilgili haberleri, aradaki mesafeyi *salyangoz hızıyla* katederek ulaştırmasıdır. Yani? Douglas Adams'ın unutulmaz sözleriyle, “*Uzay büyüktür. Gerçekten büyük. Ne kadar baş döndürücü, nefes kesici, akıllamaz büyüklükte olduğuna inanamazsınız.*”¹ Işık, yüzyılda 100 metrelik hızından *10 milyon milyar* kat büyük hızla yol alsa da, evrenin uçsuz bucaksızlığı karşısında ancak *salyangoz hızıyla* yer değiştirir gibidir.

Berrak bir gecede dışarıda durup gökyüzüne baktığınızda, Ay'ın 1,25 saniye önceki halini, en yakın yıldız sistemi Alpha Centauri'nin (gerçi bunu görmek için güney yarımkürede yaşammanız gerekir) 4,3 yıl önceki halini, Andromeda galaksisinin ise (çıplak gözle görülebilecek en uzak cisim) *Homo erectus* atalarımızın Afrika savanlarına ilk yayılmaya başladığı 2,5 milyon yıl önceki halini görürsünüz.

Gökbilimciler, güçlü teleskopların yardımıyla kozmik zamanın daha gerilerine gidip Güneş ve Dünya henüz doğmamışken yaşayıp

ölen galaksileri belirleyebilmektedir. Görebildikleri şeylerden biri, gözlemlenebilir evrenin en dış sınırlarında yer alan, zamanın 13,8 milyar yıl gerisindeki “son saçılma yüzeyi”nin² ışıldayan perdesidir. Bu bölge, ışıkla görülebilecek en uzak sınırı belirler.

Tüm bunlar, zamanın sandığımız şey olmadığını söyler bize. Zaman, ışığın sonlu hızından dolayı uzaklık ile ayrılmaz bir bağ oluşturmuştur. Ya da Einstein’ın ifadesiyle, “zaman ile sinyal hızı arasında koparılamaz bir bağ vardır.” Dünya’nın ötesine baktığımızda, evreni “şimdiki” haliyle gördüğümüzü düşünüyor olabiliriz. Ama gerçekte gördüğümüz, uzayın zamanın gerisine doğru birbirini izleyen “kabukları”dır.

Arkeologların karasal zamanın toprak katmanlarında derinlere inmeleri gibi, teleskoplar da kozmik zamanın, soğan kabuğu misali katmanları boyunca derinlere iner. Ancak gökbilimciler, geçmişi gerçek anlamda *görebilme* gibi büyük bir avantaja da sahiptir. Evrenin “şu anda” neye benzediğini bilemeseler de, evrenin bütün tarihinin, teleskopik gözleri önünde oynanıyor olmasıyla bu eksiği telafi etmiş olurlar.³

Öyleyse evrenimizde “şimdi” kavramı anlamsızdır. Alpha Centauri’de şu anda neler olup bittiğini anlamamanın hiçbir yolu yoktur, çünkü yıldız sistemiyle ilgili bilgiyi taşıyan ışık, yalnızca sistemin 4,3 yıl önce neye benzediğini bilmemize izin verir.

Zaman, uzay ve ışık hızı arasındaki bağlantı evrende ne kadar geçerliyse, Dünya’da da o kadar geçerlidir. Önemli bir fark, Dünya’daki uzaklıkların çok daha kısa olmasıdır. Konuşmakta olduğunuz bir arkadaşınızın yüzünün görüntüsünü size taşıyan ışık, gözlerinize saniyenin milyarda birinden kısa süre içinde ulaşır. Bu, beyninizce algılanabilecek en kısa zaman aralığından 10 milyon kat daha kısa bir süredir. Sonuçta gecikmeyi fark etmezsiniz bile. Büyük ölçekli evrende kesinlikle var olmayan “şimdi” kavramı, Dünya’daki çoğu durum için oldukça iyi bir kestirimdir ve işimizi görür. Dünyadayken hepimizin aynı “şimdi” içinde yaşamakta olduğunu güvenle varsayabiliriz.

Öyle mi acaba?

Görelilik ve zaman

Işık hızının sonlu olması, Einstein'a göre olayların geç ulaşmasından öte başka şeylere de neden olur. Işık, kozmik hız sınırıdır ve bir ışık kaynağına göre hızları ne olursa olsun, bir ışık demeti için herkes aynı hızdadır.⁴ Einstein'ın 1905'te fark ettiği gibi, böyle bir durum, ancak size göre hareket etmekte olan birinin uzayının, hareketi doğrultusunda küçülmesi ve bu arada da zamanının yavaşlaması koşuluyla mümkün olabilir.

Einstein daha sonra özel göreliliği genelleştirmiştir. 1915 tarihli genel görelilik kuramına göre, biri size göre ivme kazanmaktaysa –ki bu da *daha güçlü kütleçekimi deneyimlemekle* eşdeğerdir– size o kişinin zamanı yavaşlar görünür.⁵ Örneğin gökbilimciler gözlemini evrenin uzaklarına, daha önceki bir zamanın kabuğuna çevirdiklerinde, o zamanki evrene ait olan maddenin bugünküne göre daha küçük hacimli olduğunu görürler. Bunun nedeni ise zamanın Büyük Patlama'dan bu yana genişlemekte olmasıdır. Maddenin daha yoğun olduğu bir zamanda evrenin toplam kütleçekimi daha güçlü, zaman akışı daha yavaştı.

Zamanın birbirine göre yer değiştiren *ya da* farklı kütleçekimlerine maruz kalan insanlar için farklı hızlarda akıyor olması, neyin geçmiş, neyin şimdi, neyin gelecek olduğu konusunda fikir birliğine varmalarını imkânsız kılar. Dahası, gerçekliğin temel tanımı olarak başvurduğumuz, Einstein'ın görelilik kuramında *ortak* geçmiş, şimdi ve gelecek kavramları yoktur bile. Öyleyse sorulacak soru şudur: Bunun var olduğu yönünde neden bu kadar güçlü bir izlenime sahibiz?

Çünkü göreliliğin zaman üzerindeki etkileri, iki kişinin ancak belirgin biçimde farklı kütleçekimlere maruz kalmaları ya da birbirlerine göre ışık hızının fark edilebilir kesirleri içinde yol almaları durumunda hissedilir. Dünya üzerinde yaşayan 7 milyar insanın deneyimlediği yerçekimi ise hemen hemen aynıdır. Işık hızının milyonda birinden düşük hızla yol alan uçaklarda yer değiştirdiğimiz zamanlarda bile bu değişmez.

Ama cep telefonu gibi elektronik aygıtların gezegen üzerindeki konumumuzu hesaplarken başvurduğu Küresel Konumlandırma

Uyduları için aynı şey geçerli değildir. Bu uydular uzunlamasına konumlanmış yörüngelerinde dolanırken Dünya'ya yaklaşıp, sonra tekrar uzayın derinlerine yol aldıkları bir döngü izlerler. Bu, yörüngede attıkları her turda bir hızlanıp bir yavaşladıkları, bunun da ötesinde, Dünya'ya yakınken güçlü, Dünya'nın uzağında ise daha zayıf bir kütleçekimine maruz kaldıkları anlamına gelir. Bunun sonucunda uydular ortak bir geçmiş, şimdi ve gelecek deneyimlemez. Bu durum da konumumuzu GPS uydularına göre hesaplayan program tarafından dikkate alınmak zorundadır. Görelilik yalnızca belirli bir kesimin ulaşabildiği bir kuram olmayıp, yirmi birinci yüzyılda yaşayan bizlerin günlük yaşamının da zorunlu bir parçasıdır.

Yaşamımızı, görelilik etkilerinin çok az hissedildiği aşırı yavaş şerit ve aşırı zayıf kütleçekim etkisinde geçiririz. Ancak görünüşler yanıltıcı olabilir. Göreliliğin, gizlediği bir numarası daha vardır. Ve bunun zaman kavramı üzerindeki etkileri inanılmaz ölçüde büyüktür.

Uzay-zaman haritası

Einstein, bir kişinin zaman aralığının bir başka kişinin zaman aralığından farklı olduğunu göstermekle kalmamıştır. Bir kişinin zaman aralığının bir başka kişinin zaman *ve uzam* aralığı olduğunu ve bir kişinin uzam aralığının, bir başka kişinin uzam ve *zaman* aralığı olduğunu da göstermiştir. Einstein'ın bir zamanlar matematik hocası olan Hermann Minkowski, "Bundan böyle tek başına uzay ve tek başına zaman kavramları gölgelere karışacak ve geriye yalnızca ikisi arasındaki birlik kalacaktır," sözleriyle açıklamıştı bu durumu.

Minkowski'nin söz ettiği birlik, uzay-zamandır. "Görelilik kuramından alınabilecek en önemli ve belki de tek ders," der İngiliz fizikçi Roger Penrose, "uzay ve zamanın birbirinden bağımsız kavramlar olarak ele alınamayacağı ve olgularla ilgili 4-boyutlu bir resim sunabilmek için *uzay-zaman* kavramı olarak birleştirilmeleri gerektiridir."⁶

Üç-boyutta yaşayan sıradan canlılar olarak, 4-boyutlu uzay-zamanı tüm ihtişamıyla görebilme becerisine sahip değiliz. Deneyimleyebileceğimiz tek şey, Minkowski'nin de dediği gibi 4-boyutlu uzay-zamanın *gölgeleridir*. Ve bu gölgeler de (uzay ve zaman) bir başka kişiye göre hangi hızla hareket ettiğimize bağlı olarak büyüklüklerini değiştirir. Üç boyutlu uzay ve tek boyutlu zamanın hüküm sürdüğü bir evrende yaşadığımızı düşünüyor olabiliriz, ama gerçekte dört boyutlu bir uzay-zaman evreninde yaşıyoruz.

Zaman kavramıyla ilgili olarak sözünü ettiğimiz büyük etkiler de bu noktada devreye girer.

Dört uzay-zaman boyutundan her biri *uzayın özelliklerine* sahiptir. Bununla kastettiğimiz, uzay-zamanın da bir *haritanın* –4-boyutlu bir haritanın– özelliklerine sahip olmasıdır. (Bu ona atfettiğimiz bir özellik olabilir, ama yine de bir haritadır sözünü ettiğimiz.) Ve New York, Los Angeles ve Büyük Kanyon'un karasal bir haritanın noktalarını oluşturması gibi, Büyük Patlama, Dünya'nın doğumu ve evrenin sonu da, uzay-zamanın 4-boyutlu haritasındaki noktaları oluşturur. Yaşamınızın bütün olayları da öyle. Einstein'a göre bunun anlamı, geçmiş, şimdiki zaman ve geleceğin *eşzamanlı olarak* var olduklarıdır.

Çoğu kişiyi tedirgin edebilecek bu düşünce, eski arkadaşı Michele Besso 1955'te öldüğünde, Einstein'ı bilakis rahatlatmıştı. Besso'nun yaslı ailesine yazdığı (ve onların belki de tam anlamıyla takdir etmemiş olabilecekleri) bir mektupta Einstein şöyle diyor-du: “Bu tuhaf dünyadan, benden biraz erken davranarak gitmiş oldu. Bu hiçbir şey ifade etmez. Fiziğe inanan bizim gibi insanlar, geçmiş, şimdi ve gelecek arasındaki ayrımın inatçı bir sürekliliğe sahip bir yanılsamadan ibaret olduğunu bilir.”

Peki ama geçmiş, şimdi ve gelecek inatçı bir yanılsamadan ibaretse ve hiçbir biçimde *zaman içinde yol almıyorsak*, neden tam tersiymiş gibi hissediyoruz? Hatta, neden zaman içinde yol almıyormuş gibi hissetmekle kalmayıp, hep *aynı yönde* yol almıyormuş gibi hissediyoruz?

Bu sorular çok uzun bir süre boyunca –hatta Einstein'ın sahneye çıkışından bile önce– fizikçilerin kafasını kurcalamıştı. Fiziğin temel yasaları, zamanın doğrultusu konusunda herhangi bir ayrım

yapmaz. Örneğin kütleçekim yasası, Dünya'nın Güneş çevresinde geriye doğru dolanmasına da pekâlâ izin verir. Zamandaki bu tersinebilirlik özelliğine karşın, hayatımızı tersine yaşayamaz, mezardan beşiğe yol alamaz, her geçen yılla birlikte gençleşemeyiz. Garip gelse de, neden zaman içinde –ve belirli bir yönde– yol aldığımızı hissediyoruz sorusuna temel fiziğin bir yanıtı yoktur. Ama bu yanıtı verebilecek başka bir alan vardır: termodinamik.⁷

Zamanın oku

Önünüze bir şato resmi, bir de aynı şatoyu harap ve sarmaşıklarla kaplı halde gösteren bir başka resim konsa, virane durumdaki şatonun daha sonra geldiğini *bilirdiniz*. Şatolar parçalanıp yıkılır ve yıkılma süreci tersine işlemez. Nesnelerin bozulduğu ya da düzensiz hale geldiği yön, bizim zaman ile ilişkilendirdiğimiz yöndür. Bu “zaman oku”nu bize sağlayan, termodinamiğin ikinci yasasıdır.

Bunu görmenin basit bir yolu var. Kırık bir bardağın parçalarını havaya atın. Parçaların aşağı düştüklerinde yeniden sağlam bir bardak oluşturmaları mümkündür. Ancak bunun, yani bardağın yeniden bütün hale gelmesinin *tek bir* yolu vardır. Bu durumu, bardağın çok sayıda kırık parçacık oluşturabileceği sayısız yolla kıyaslayın. Bardakların kırılmaları ama kırılmış bardakların ilk hallerine dönmeyişleri, kırılma yollarının yeniden bir bütün oluşturma yollarından –düzensiz durumların düzenli durumlardan– çok ama çok daha fazla olmasındandır. Zamanın geri değil de ileri akması bundandır. Şatoların parçalandıkları halde eski hallerine dönmeyişleri, fincanda bırakılan kahvenin ısınmak yerine soğuması ve insanların gençleşmek yerine yaşlanmaları da bundandır.

On dokuzuncu yüzyılda yaşamış Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann'ın, termodinamiğin ikinci yasasını ortaya koyarken temel aldığı yaklaşım da bu olmuştu:⁸ bir cismi oluşturan bileşenlerin, sonuç hep aynı cismi verecek şekilde kaç olası yolla düzenlenebildiği.⁹ Bütün haldeki bir bardak için tek bir yol vardır. Ama kırık bir bardak için trilyon kere trilyonlarca yol. Eğer tüm sonuçlarda yollar aynı oranda olası ise, bardağın kırık halde kalma ihtimali,

parçaların zıplayıp yeniden bir araya gelme ihtimallerinden çok daha büyüktür. İkinci durum tümüyle imkânsız değildir (termodinamiğin ikinci yasası temel fizik yasalarından, sarsılmaz olmasıyla değil, *istatistiksel* olmasıyla ayrılır) ama böyle tuhaf bir duruma tanıklık edebilmek için evrenin şu anki yaşını kat be kat aşan bir süre boyunca beklemeniz gerekir.

Özetle, gerçeklikle ilgili temel resmimiz –görelilik– tüm uzay-zamanın bir harita gibi serili olduğunu ve aslında hiçbir şeyin zaman içinde yol almadığını söyler. Bizim neden zamanın sanki tutarlı biçimde hep ileri doğru aktığını deneyimlediğimizi ise zamanın termodinamik oku açıklar.

Peki zaman okunun nihai kökeni nedir? Evrenin düzensiz hale gelebilmesi için, geçmişte *daha düzenli* olması gerektiği açıktır. Çünkü eğer maksimum düzensizlikte olsaydı, gidecek bir yeri olmazdı. Zaman okunun nihai gerekçesi, evrenin Büyük Patlama sırasında son derece düzenli bir durumda olmasıdır.¹⁰

Öyleyse, belki de nihayet zamanı anlama konusunda bir yerlere varmaya başladık. Ortak bir geçmiş, şimdi ve gelecek kavramına, bizim gerçeklikle ilgili temel tanımımızda –görelilikte– rastlayamasak da, bunları deneyimleriz, çünkü yaşamımızı kozmik yavaş şeritte ve zayıf kütleçekiminin etkisi altında geçirmekteyiz. Her ne kadar, görelilik zamanın akış yönünü belirlemese de gençleşmez, hep yaşlanırsınız; çünkü Büyük Patlama olağanüstü yüksek bir düzen haliydi. Ve entropi ilkesi gereği düzen hep düzensizliğe, dolayısıyla geçmiş hep geleceğe doğru gider.

Ama aslında bunların hiçbirisi şimdiki zamanı neden algıladığımızı, tüm dikkatimizi neden duyularımızca en son toplanan bilgiye verdiğimizizi tam olarak açıklamaz. Örneğin neden 10 saniye önce topladığımız bilgiye odaklandığımız *gecikmeli bir şimdiki zamana* sahip değiliz? Neden 10 dakika arayla toplanmış verilere odaklandığımız *iki şimdiki zamana* sahip değiliz? Kaliforniya Üniversitesi'nden fizikçi Jim Hartle'a göre, açıklamayı fizikte aradığımızda tümüyle yanlış yere bakıyoruz demektir; asıl bakmamız gereken yer biyolojidir.

Şu an gibisi yok

Hartle'a göre Dünya'da yaşam başladığında, canlılar zamanı birçok farklı şekilde yaşamış ve örneğin, gecikmeli şimdiki zamana, iki şimdiki zamana ya da üç şimdiki zamana vs. sahip canlılar varolmuş olabilir. Ama gecikmeli şimdiki zamanda yaşayan bir ağaç kurbağası için yaşamın nasıl olabileceğini bir düşünün, der Hartle. Bir sinek görür. Dilini dışarı uzatır. Ama güncelliğini yitirmiş bilgilerden yararlanmakta olduğu için, dilini tam olarak uzattığında sinek çoktan uçup gitmiştir. Böyle bir köstekle yaşamak zorunda kalan kurbağa sonunda açlıktan ölecektir.

Bu durum Hartle'a göre en son gelen bilgiye odaklanmamızın ve "şimdi" kavramına sahip olmamızın nedenidir.¹¹ Gerçekliği deneyimlemede kullanabileceğimiz tüm diğer yollar, türümüzün yok oluşuyla sonuçlanacakken, bu bizim sağkalımımızı garantiye alacaktır. Dolayısıyla Hartle, evrende başka canlıların olması durumunda, onların da zamanı tıpkı bizim gibi deneyimleyeceğine inanır.

Zamanın *aktığı* yolundaki inancımız doğru olamaz. Çünkü bir şeyin –örneğin bir nehrin– akması, başka bir şeye –örneğin bir nehir yatağına– göre değişmesi anlamına gelir. Zaman da gerçekten aksaydı, *bir başka şeye* göre akması gerekirdi. İkinci bir zaman türü gerekirdi ki bu saçmadır.

"Cırt cırt bantları bir kenara bırakırsak," der Amerikalı komedyen Dave Barry, "zaman evrendeki en gizemli şeydir. Onu göremezsiniz, ona dokunamazsınız, ama su tesisatçısı sizden onun bir saati karşılığında 75 dolar talep eder; üstelik herhangi bir şeyi tamir etme garantisi de vermeden." Einstein'ın dehası, zamanın *ne olduğunu* bir kenara bırakıp zaman hakkında neler söyleyebileceğimize odaklanmaktı. "Zaman," demişti Einstein, "saatin ölçtüğü şeydir." Büyük Amerikalı fizikçi John Wheeler ise Einstein'ın faydacı (pragmatik) anlayışı ile Barry'nin şaşkınlığını aynı cümleye sığdırmayı başarmıştı: "Zaman, her şeyin aynı anda olmasını önleyen şeydir."

20:

ÖYÜNÜN KURALLARI

Fizik Yasaları

Fiziğin çalışma alanının simetri olduğunu
söylersek pek de abartmış sayılmayız.

PHILIP ANDERSON¹

Kaplan! Kaplan! Gecenin ormanlarında
Parlak bir alev gibi dolanan,
Hangi ölümsüz el ya da göz, hangi,
Çatabildi o korkutucu simetrini?

WILLIAM BLAKE, *Songs of Experience* (1794)

Dünya düzenden yoksun değildir. Güneş her sabah doğar. İnsanlar gençleşmez, yaşlanır. Bir sonuç her zaman bir sebebi izler. Dünyanın kumaşında bir düzen vardır. Amerikalı fizikçi Feynman'ın dediği gibi, “Doğa, desenlerini dokumak için en uzun iplikleri seçer; bu yüzden kumaştaki küçük parça bile bütün dokumanın *düzenini* gözler önüne serer.” Bu düzenlenme, sahne arkasında, gerçekliğin derisinin altında, dünyayı idare eden kurallar –yasalar– olduğuna işaret eder.

Her şeyin bir Üstün Varlık eliyle yürütüldüğü inancından dolayı, insanlık tarihinin uzun bir bölümü boyunca insanlar gerçekliğin yüzeyini kazıma gereği duymamıştır. Ama Newton her şeyi değiştirmiştir. Oldukça dindar bir kişi olduğu halde, Tanrı'nın zihnini anlamak istiyordu. Üstün Varlık'ın yaratılarını yönlendirirken oynadığı oyunun kurallarını öğrenmek istiyordu. Her yerde ve her zaman geçerli olan evrensel bir yasayı ortaya çıkarmayı başardı. Evrensel kütleçekim yasası, iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin, aralarındaki uzaklık ve kütlelerine nasıl bağlı olduğunu sayısal olarak gösterir. Bu yasa pek çok açıdan dikkate değerdir.

Birincisi, kütleçekim yasasını formüle etmek, cesaret bir yana, düş gücünde de inanılmaz bir sıçrama gerektirmişti. O sıralarda gökler Tanrı'nın yetki alanına girmektedir. Yunanlar bile gezegenimizin toprak, hava, ateş ve sudan, gökyüzünün de tümüyle farklı ve göksel bir “beşinci element”ten oluştuğuna inanmaktaydılar. Newton gökyüzü ve yeryüzünü, bir bütünün aynı yasalara bağlı parçaları olarak ele alma cesaretini göstermişti.

Ama böyle bir yasayı saklandığı yerden nasıl çekip çıkaracaktı? Newton'un dehası, tüm kütleler arasında bir çekim kuvveti olduğunu ve bu kuvvetin sırf elmanın değil, Ay'ın da Dünya'ya doğru düşmesine neden olduğunu fark etmesini sağlamıştı. Ay, bize elbette düşmekteymiş gibi görünmez. Ama Newton'un birinci hareket yasasının da söylediği gibi, herhangi bir kuvvetin yokluğunda,

kütleli bir cismin izleyeceği yol düz bir çizgi olacaktır. (Bu kedi eylemsizliği yasasına benzer biraz. Buna göre, “Dinlenme halinde ki hareketsiz bir kedi, bir dış etki tarafından uyarılmadığı sürece –mama kutusunun açılması ya da yakınlardaki bir farenin koştu-rarak geçmesi gibi– hareketsiz kalmaya devam eder.”²⁾ Öyleyse bir şeyin, Ay’ın düz çizgi biçiminde olması beklenen yolunu sürekli olarak Dünya’ya doğru büküyor olması gerekir. İşte bu “bir şey”, iki cisim arasındaki kütleçekim kuvvetidir. Bir elmanın ağaçtan düşmesi ne kadar gerçekse, Ay’ın da Dünya’ya doğru düşüyor ol-ması o kadar gerçektir. Aradaki fark, Ay ne kadar hızlı düşerse düşsün Dünya’nın altta kalan yüzeyinin, bir eğri *çizerek ondan uzaklaşmasıdır*. Bu nedenle Ay hiçbir zaman daha fazla yaklaşa-maz; onun yerine *daimi bir dairesel hareketle* düşer.

Ay’ın düşüşü, elmanınkinden çok daha yavaştır; ne de olsa Dünya’nın çevresinde dönmesi 27 gününü alır. Ay’ın Dünya’nın merkezine olan uzaklığının, düşen bir elmanınkine kıyasla, ne ka-dar fazla olduğunu bilen Newton, kütleçekim kuvvetinin uzaklıkla nasıl zayıfladığını bu sayede buldu. Kütleçekim bir ters-kare yasa-sını izliyordu. Bir başka deyişle, iki kütle arasındaki çekim kuvveti, aralarındaki uzaklık iki katına çıkınca dört kat azalır, üç katına çıkınca dokuz kat azalır ve böyle devam eder.

Ayrıntılar bu noktada fazla önemli değildir. Önemli olan, Newton’un evrensel bir fizik yasasını bulmuş olmasıydı. Bugün bi-liyoruz ki onun bu kütleçekim yasası, bir elmanın ağaçtan düşüşü ve Ay’ın Dünya çevresindeki dolanma hareketini açıklamakla kal-maz, Samanyolu’nun merkezinin çevresinde dolanan yıldızların ve büyük galaksi kümeleri içinde dolanan galaksilerin hareketlerini de açıklar.³

Newton’un evrensel kütleçekim yasasının basitliği şaşırtıcıdır. Çevremizdeki dünya son derece karmaşık olduğu için, onu yön-lendiren yasaların da aynı ölçüde karmaşık olması beklenebilir – çelimsiz maymun beyinlerimizin yetilerini kat be kat aşacak kadar karmaşık olabilirler. Ama öyle değildirler. Hatta evren öylesine basittir ki, bundan 350 yıl kadar önce, bilimin yeni yeni filizlenme-yeye başladığı bir dönemde bir adam tek başına evrensel bir yasayı ortaya çıkarabilmişti ve bu yasa tüm zamanlar ve tüm yerler için

geçerliydi – zamanın başlangıcından sonuna, evrenin bir ucundan diğer ucuna.

Newton'un keşfettiği yasa basit ve evrensel olmakla kalmayıp *matematikselsel olarak* da ifade edilebilir. Özlü formülü çok büyük bir olgular yelpazesini özetler.⁴ Tam olarak söylemek gerekirse, iki cisim arasındaki kütleçekim kuvvetini, her birinin kütlesi ve aralarındaki uzaklıkla ilişkilendirir. Newton'un açtığı yoldan giden bilim insanları yine matematikselsel olan başka evrensel doğa yasaları bulmuştur. Bu durum Avusturyalı fizikçi Eugene Wigner'in, "matematikselsel doğal bilimler üzerindeki mantık dışı etkiliği"nden bahsetmesine neden olmuştur. Ve İngiliz fizikçi Paul Dirac'ın, "Tanrı üst düzey bir matematikçidir," sözlerine...⁵

Fizikçilerin çoğu, doğanın, gerçekten de bir tahta ya da kağıt üzerine karaladıkları simge ve matematikselsel bağıntılara göre hareket ettiğine inanmakta hâlâ zorlanırlar. Üstelik kendi denklemlerinde var olan mesajları da defalarca atladıkları olur – tıpkı Einstein'ın evreni açıklayan denklemlerinde saklı olan Büyük Patlama'yı atladığı gibi. Nobel Ödülü sahibi Steven Weinberg bu durumu şöyle ifade eder: "Hatamız kuramlarımızı fazla ciddiye almak değil, yeterince ciddiye almamaktır."

"Fizik yasalarının olağanüstü özelliği, onlara inanın veya inanmayın, her yerde geçerli olmalarıdır," der Amerikalı gökbilimci Neil deGrasse Tyson.⁶ Amerikalı fizikçi Alan Sokal ise şöyle demiştir: "Fizik yasalarının sosyal kabullerden ibaret olduğuna inanları, dairemin pencerelerinde o yasaları çiğnemeyi denemeye davet ediyorum. Ama hatırlatayım, dairem yirmi birinci katta."⁷ Peki nereden gelir fizik yasaları?

Simetri

Bu sorunun yanıtıyla ilgili bir ipucu –en azından soruyu ele alma biçimiyle ilgili isabetli bir öneri– Emmy Noether isimli Alman matematikçiden gelmişti. Bilim tarihinin belki de en önemli keşiflerinden birini 1918'de gerçekleştiren Noether'in başarısı, fizik yasalarının, derin simetrilerin bir sonucu olduğunu kanıtlamasıydı.

Simetriker, çeşitli değışim ya da dönüşümlerin etkisi altındaki dünyanın değışmeden kalan öğeleridir.⁸ “Kendisine belirli bir etkide bulunduğunuzda, işlemin sonunda ilk haliyle aynı olan şey simetriktir,” diye açıklar bunu Alman fizikçi Herman Weyl. Beş kolu olduğunu bildiğimiz bir denizyıldızını ele alalım.⁹ Denizyıldızını tam bir dönüşün beşte biri oranında çevirirseniz, görünüşü yine aynı olacaktır. Matematikçiler denizyıldızının beşli dönel simetriye sahip olduğunu söyler.

İlk bakışta bunun fizikle hiçbir ilgisi yokmuş gibi görünebilir. Ama tam tersidir. Çünkü Noether’in keşfine göre, fizik yasaları simetriden doğmuştur.

Bir deneyi ister bugün ister önümüzdeki hafta yapın, her şeyin aynı olması koşuluyla aynı sonucu alırsınız. Bu, zaman-öteleme simetrisi, fizikteki en ünlü yasalardan birini ortaya çıkarır: enerjinin sıfırdan yaratılıp yok edilemeyeceğini, ancak bir biçimden diğerine (örneğin petrolün kimyasal enerjisinin arabada hareket enerjisine) dönüşebileceğini söyleyen enerjinin korunumu yasası.

Bir deneyi ister Londra’da ister New York’ta yapın, her şeyin aynı olması koşuluyla yine aynı sonucu alırsınız. Bu öteleme simetrisi her bilardo oyuncusunun sezgisel olarak bildiği üzere, momentumun korunumu yasasını ortaya çıkarır. Momentum, bir cismin kütlesiyle hızının çarpımının sayısal değeridir. Örneğin beyaz top, durmakta olan kırmızı topa hızla çarparsa, beyaz topla kırmızı topun çarpışmadan önceki toplam momentumu, topların çarpışmadan sonraki momentumlarına eşit olmalıdır. Buna momentumun korunumu yasası denir.

Bir de iki-boyutlu uzayın simetrisi vardır: dönel simetri. Bir deneyi, örneğin kuzey-güney doğrultusunda yaparsanız, doğu-batı doğrultusunda yaptığınız deneyle aynı sonucu alırsınız. Bu durum, açısız momentumun korunumu yasasını tanımlar. Fazla ayrıntıya şimdilik gerek yok ama şu kadarını söyleyelim: Bu yasa, tek nokta üzerinde hızla dönmekte olan bir buz patencisinin, kollarını içeri çektiğinde daha hızlı dönmesinin nedenidir.

Ama elbette yaşadığımız dünya üç uzamsal boyut ve bir zaman boyutu içerir. Işık hızının sabit olmasından dolayı uzay ve zaman birbirine ayrılmaz biçimde bağlı olduğundan, gerçekte dört

uzay-zaman boyutlu bir evrende yaşarız. Bu dört uzay-zaman boyutunun dönel simetrileri de Einstein'ın özel görelilik kuramının yasalarını doğurur. Genel görelilik kuramını beraberinde getiren başka uzay-zaman simetrileri de vardır.

Simetrilerle fizik yasaları arasındaki bağlantı bu örneklerle sınırlı değildir ve çok daha ötelere uzanır. Elektron gibi kuantum varlıklar, gerçek değil de matematiksel boyutları olan, bütünüyle soyut bir uzayda yaşar şekilde hayal edilebilir. Örneğin iki kuantum parçacığı açıklamak için altı, üç parçacığı açıklamak için dokuz uzamsal boyut gerekir. Işın ilginç, kuantum kuramının tüm yasaları bu soyut uzaylardan türemiştir. Hatta Noether'in teoremi öylesine güçlüdür ki, fiziğin tümü altta yatan derin simetrilerin sonucu olarak görülebilir. Amerikalı fizikçi John Wheeler'ın sözleriyle, “Bir simetri ilkesinden en ekonomik biçimde türetilmiş olmayan hiçbir fizik yasası yoktur.”

Doğanın temel yasalarının ardında simetrinin yattığını keşfeden Noether, böylece temel fizikteki en güçlü fikri ileri sürmüştü. Einstein da bu görüşteydi. Noether'in 1935'teki ölümü üzerine New York Times'a yazdığı mektupta şöyle diyordu: “Fraulein Noether, yüksek eğitime kadınların da dahil olmaya başlamasından bu yana kendini göstermiş en önemli ve yaratıcı matematik dehasıdır.”

Peki ne anlama geliyor bu kadar simetri? Doğrusunu söylemek gerekirse, hepsi için ortak olan çarpıcı bir özellik, bunların *hiçliğin* simetrisi oluşlarıdır. Doğru okudunuz. Enerjinin korunumu ve diğer yasaları ortaya çıkaran normal uzay ve zaman simetrileri, aynı zamanda boş uzay ve zamanın, yani boşluğun da simetrileridir. Öyleyse, kuantum kuramı yasalarının türediği soyut uzay simetrileri de hiçliğin simetrileridir. Sonuçta bunlar gerçek birer varlığa sahip olmayan soyut matematiksel uzayların da simetrileridir. Tüm bunlar şu anlama gelir: Yaşadığımız evreni yönlendiren fizik yasaları, tümüyle boş bir evrende geçerli olan fizik yasalarıyla aynıdır. “Tanrı her şeyi hiçlikten yarattı, ama içinden o hiçlik kendini gösteriyor,” der Fransız şair Paul Valéry.

Tüm bunlar oldukça anlamlı. Sonuçta kozmolojinin nihai sorusu şudur: Nasıl olup da hiçlikten bir şeyler doğabildi? Fizik

yasaları bize evrenin, hiçlik durumuna sandığımızdan daha yakın olduğunu söyler. evren *yapılandırılmış bir hiçliktir*. Öyleyse hiçlik-ten varlığa geçmek de sandığımız kadar zor olmayabilir mi?

Maddeler soğudukça simetrileri de bozulmaya başlar. Suyu ele alalım. Suyun her yeri aynı görünür. Ama donarak buz haline geldiğinde, buzun içinde çatlaklar ve kabarcıklar ortaya çıkmaya başlar. Buz farklı yerlerde farklı görünür.

Evren, Büyük Patlama sonrasında genişleyip soğudukça buna benzer bir durumun meydana gelmiş olabileceği düşünülüyor. Bu çerçevede, evren başlangıçta yüksek simetri özelliği göstermesine karşın, soğumayla birlikte giderek daha fazla miktarda madde “donmuş” ve simetriyi azaltmıştır. Fizikçiler, simetrinin “kırılmış” olduğundan söz eder. Buna göre simetri günümüzde öylesine iyi biçimde gizlenmiştir ki, onu ortaya çıkarmak olağanüstü bir fizik zekâsı ve yaratıcılığı gerektirir. Yani fizikçiler Büyük Patlama’nın koşullarını yeniden yaratmak üzere atom-altı parçacıkları Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda çarpıştırdıklarında, ilkel evrenin daha simetrik halini yeniden yaratmış olurlar. Temel simetrileri görmek ve temel yasaları türetmek böylece daha kolay hale gelir.

Yeniden su örneğine dönelim. Daha düşük sıcaklıklarda buzun yapılandırılmış hiçliği, suyun yapılandırılmamış hiçliğinden daha kararlıdır. Acaba içinde yaşadığımız evreni biçimlendiren de bu olabilir mi? Amerikalı fizikçi Victor Stenger’e göre, olabilir. Ona göre, bir şey olması, hiçbir şey olmamasına baskındır; çünkü bir şey, hiçbir şeyden daha kararlıdır. Biz ve çevremizdeki her şey aslında boşluktaki örüntülerden ibaretiz.

BEŞİNCİ KISIM

Kozmik Bağlantı

21:

DÜNÜ OLMAYAN GÜN

Kozmoloji

Eğer sıfırdan bir elmalı turta yapmak isterseniz,
önce evreni yaratmanız gerekir.

CARL SAGAN

Eğer günün birinde evrenin ne işe yaradığı ve
neden var olduğu tam olarak anlaşılabilirse
evrenin anında yok olacağı ve yerine daha da
tuhaf ve açıklanamaz bir şeyin geleceğini ileri
süren bir teori var. Bir başka teori daha var ki o
da bunun zaten gerçekleşmiş olduğunu söyler.

DOUGLAS ADAMS, *Evrenin Sonundaki Restoran*

Tüm yaşamınızı tarlanın ortasındaki bir sandalyede oturarak geçireseydiniz, zihninizde Dünya ile ilgili bir resim oluşturmak size epeyce zor gelirdi – imkânsız gelmezse tabii. Aynı ölçüde engellenmiş durumdaki gökbilimcilerin bütün yaşamları da, bilinmez ve izbe bir kozmik köşede duran küçücük bir kaya topunun yüzeyine mihlanmış halde geçer. Ancak böylesi bir dezavantaja karşın, evrenin resmini oluşturmada inanılmaz bir başarı elde etmişlerdir. evrenin içerik ve kapsamını öğrenmekle kalmamış, tüm bunların daha en başta nasıl varlık kazandığı konusunda da epeyce fikir sahibi olmuşlardır.

Doğa bize insaflı davranmıştır. Venüs gibi aşılmaz bulutlarla çevrelenmiş bir gezegen değildir üzerinde yaşadığımız. Dünya'mızın Samanyolu'ndaki yeri, yıldızlara boğulmuş ve gecenin hiç bilinmediği merkez bölgesi değildir. Ayrıca, yıldızların çoğunun yakıtlarını tüketip ortadan bir bir kaybolmalarından önce, yani tam zamanında çıkmışızdır kozmik sahneye. Ve Yer'e bağlı teleskoplarımızla, bakışlarımızı evrenin uzak ufuklarına kadar ulaştırmayı başarmışızdır.

Bizden önceki kuşaklar, elimizdeki evren resmine sahip olabilmek için neler vermezdi. Bu resimde Dünya, bir avuç başka gezegen, uydu ve Güneş Sistemi'nin oluşum sürecinden kalan artıklar eşliğinde, Güneş çevresinde dolanır. Güneş ise 100 milyar kadar yıldızıyla karanlıkta dev bir rüzgâr gülü gibi ağır ağır dönen Samanyolu'nun merkezinin çevresinde dolanır. Galaksinin merkezinden dış çeperine uzanan doğrunun yaklaşık üçte ikisine karşılık gelen bir konumda bulunan Güneş'in bir dönüşü tamamlaması 220 milyon yıl kadar sürer. Bu da demektir ki, Dünya'nın, tam da şu anda bulunduğu konuma son gelişinde, dinazorlar 150 milyon yıllık egemenliklerine yeni başlamışlardı.

Ancak Samanyolu, 100 milyar yıldız adasından, yani galaksilerden yalnızca biridir. Ölçekler hakkında fikir sahibi olmak için, evrenin bir kilometre çaplı bir küre olduğunu düşünün. Bu küre,

her biri kabaca bir aspirin tableti büyüklüğündeki 100 milyar galaksiyle doludur. Bize en yakın galaksi olan Andromeda, bizden 10 santimetreyi biraz aşan bir uzaklıkta yer alır. Andromeda ve yakın olduğumuz birkaç galaksi, bize kütleçekim etkisiyle bağlıdır. Fakat diğerleri birbirinden, bir patlama sonrasındaki şarapnel parçaları gibi hızla ayrılmaktadır.

Galaksilerin birbirinden hızla uzaklaşıyor olması, 1929'da Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble tarafından keşfedildi. Birbirinden uzaklaşmanın işaret ettiği kaçınılmaz sonuç, evrenin geçmişte daha küçük olması gerektiğidir. Hatta evrenin genişlemesi sürecini tersinden, geriye sarılmış bir film gibi düşünersek, her şeyin mümkün olan en küçük hacme sıkıştığı bir ana –yaklaşık 13,8 milyar yıl öncesine– ulaşırız. İşte bu, evrenin *doğum* anıdır: Büyük Patlama anı.

Bilim tarihindeki en derin keşiflerden biri, hiç kuşkusuz, evrenin sonsuz bir geçmişe sahip olmadığı ve bir doğum anı yaşadığıdır. Belçikalı rahip ve matematikçi George Lemaitre'in ifadesiyle, “dünü olmayan gün”dür bu.

Büyük Patlama

Evren küçücük bir hacim içine sıkıştırılmış durumdayken, ortam oldukça sıcak olmalı. Bir bisiklet lastiği pompasının içindeki hava neden ısınıyorsa işte o nedenle. Büyük Patlama sıcak bir patlamaydı. Evren buna bağlı olarak sıcak ve yoğun bir başlangıç durumundan, bir ateş topu halinde doğmuştur ve o zamandan bu yana da genişleyip soğumaktadır. Soğuyan enkaz ve parçalar, Samanyolu da dahil, çevremizde gördüğümüz galaksileri oluşturmuştur.¹

Soğuk ve uçarı tozdan gelecek olan
Asla ve her zaman
Büyük sessizlik ve ziyan...

Bu kol, bu el,
Benim sesim, senin yüzün, bu aşk.
JOHN HAINES²

Büyük Patlama'nın ateş topu, bir nükleer bombanın ateş topu gibiydi. Fakat nükleer ateş topunun ısısı çevredeki havaya bir saat, bir gün ya da bir hafta içinde dağılırken, Büyük Patlama'nın ateş topunda var olan ısıнын gidecek yeri yoktu. Evrenin içinde hap-solup kalmıştı ki zaten tanımı gereği evrenden başka bir şey de yoktur. Bunun sonucu olarak, Büyük Patlama'nın ısısı bugün bile çevremizdedir.

Bu "kozmetik arkaplan ışıınımı" bir zamanlar kör edici bir parlaklığa sahipken, Büyük Patlama'dan sonra evrenin giderek genişlemesiyle soğumuş ve görünür ışık olmaktan çıkmıştır. Onun yerine, çıplak gözle görülemez bile televizyonunuzca yakalanabilen bir tür ışık olan mikrodalgalar halinde gösterir kendini.³ Televizyonda kanal ayarlaması yaparken ekranda görülen karlanmanın yüzde biri, Büyük Patlama'dan kalan artık ısıdan kaynaklanır. Bu ısı televizyon anteninize yakalanmadan önce uzayda 13,8 milyar yıl boyunca yol almıştır. Dokunmuş olduğu son şey ise Büyük Patlama'nın ateş topudur.

Kozmik arkaplan ışıınımı, evrenin en çarpıcı özelliğidir. Evrendeki ışık parçacıklarının, yani fotonların yüzde 99,9'u Büyük Patlama'nın arkaplan ışıınımından, yüzde 0,01'lik bölüm ise yıldız ve galaksilerin ışığından gelir. Gözlerimiz görünür ışık yerine mikrodalgalara duyarlı olsaydı, bütün uzayı dev bir ampulün içi gibi bembeyaz parıldar halde görürdük.⁴

Büyük Patlama ateş topunun arkaplan ışıınımı ve evrenin genişlemesi, evrenin başlangıçta sıcak ve yoğun olduğunun ve o zamandan beri de genişleyip soğuduğunun iki güçlü kanıtıdır.⁵ Bir başka güçlü kanıt da, evrenin kütlesinin yaklaşık yüzde 25 oranında helyumdan, yani en ağır ikinci elementten oluşmasıdır. Yıldızların ışığı, en hafif element olan hidrojenin helyumla füzyonunun bir yan ürünüdür.⁶ Gökbilimciler evrende ne kadar yıldız ışığı olduğunu hesaplayarak evrenin ilk hidrojeninin ancak yüzde 1 ya da 2 kadarının yıldızlarca helyuma dönüştürülmüş olduğunu bulmuşlardır. Bu durumda helyumun da başka bir yerde sentezlenmiş olması gerekir.

Hidrojen atomlarının merkezleri, yani çekirdekleri, yüklü olmaları nedeniyle birbirlerini şiddetle iter. Karşılıklı itişlerini yenip helyum çekirdeği oluşturmak üzere birleşmeleri, ancak birbirleriyle çok

yüksek hızda çarpışmalarıyla (yani yüksek sıcaklıkla) ve çarpışmaların sık oluşuyla (yani yüksek yoğunlukla) mümkündür. Bu iki koşulun, evrenin doğumunu izleyen bir ila onuncu dakikalar arasında Büyük Patlama'nın ateş topu içinde sağlanmış olduğu düşünülüyor. Hesaplamalar, evrendeki hidrojenin yüzde 25'inin helyuma dönüşmüş olması gerektiğini gösteriyor. Gökbilimcilerin evrende var olduğunu gözlemledikleri helyum oranı da tam olarak budur.

Evrenin doğumunu betimleyen Büyük Patlama resmi, birçok soruyu da beraberinde getirir. En sık gündeme gelmiş olanlardan biri, Büyük Patlama'nın nerede gerçekleştiğidir. İngiliz gökbilimci Sir Fred Hoyle'un 1949'da BBC'nin bir radyo programında ortaya attığı "Büyük Patlama" ifadesinin kendisi de bu noktada kafa karışıklığına neden olur. Ne de olsa bir patlamanın belirli bir yerde gerçekleşmesi ve şarapnel parçalarının önceden var olan bir uzaya doğru saçılmaları beklenir. Ama Büyük Patlama tek bir yerde değil, *her yerde* olmuştu. Üstelik önceden var olan bir uzay da yoktu. Uzay da tıpkı madde, enerji ve hatta zaman gibi Büyük Patlama ile var olmuştu.

Evrene bakıp da tüm galaksilerin bizden uzaklaştığını görmemiz, Büyük Patlama'nın burada, Dünya'da gerçekleştiği anlamına gelmez. Gökbilimciler evrenin genişlemekte olduğunu söylediklerinde, *tüm galaksilerin diğer tüm galaksilerden* uzaklaştığını kastederler. Bir başka ifadeyle, kendimizi bir tür sihirle bir anda evrenin öbür ucundaki bir galakside bulabilseydik, yine diğer tüm galaksilerin bizden uzaklaştığını görecektik. Herkes merkezdedir ve hiç kimse merkezde değildir, çünkü *merkez diye bir şey yoktur*.

Bu durumu daha anlaşılır kılmak için sıklıkla verilen örnek, fırında pişen üzümlü kek örneğidir. Kek kabardıkça her bir üzüm, geri kalan üzümlerden ayrılır ve genişlemeye merkez olan herhangi bir üzüm de yoktur. Tabii burada gerçek bir kekin bir kenara sahip olduğu gerçeğini görmezden gelip sonsuz bir kek düşlememiz gerekiyor. Ama yine de evrenin Büyük Patlama sonrasındaki genişlemesine ilişkin tüm benzetmeler eksik kalmaya mahkumdur; çünkü anlamaya çalıştığımız olgu, *temelde görselleştirilemez özelliktedir*. Büyük Patlama dört uzay-zaman boyutu içinde gerçekleşmiştir. Üç-boyutlu olan biz düşük düzeyli varlıkların doğrudan algılayabileceği boyutlardan bir fazla boyut demektir bu.

Evrenin Büyük Patlama'yla doğumuna ilişkin daha pek çok soru akla geliyor. Neydi Büyük Patlama? Büyük Patlama'yı yönlendiren neydi? Büyük Patlama'dan önce ne olmuştu? Bu soruları yanıtlamak mümkündür. Ama Büyük Patlama modeline bazı ciddi –ve tartışmaya açık– eklentiler yapmak koşuluyla.

Geniştirilmiş Büyük Patlama modeli: şişme

Temel Büyük Patlama görüşü tüm başarılarına karşın, evrenle ilgili gözlemlerimizle birden çok noktada çelişir. Bir kere, kozmik arkaplan ışıınımı bize uzayın her yönünden ve aşağı yukarı eşit olarak ulaşır. Bir başka ifadeyle, uzayın her yeri neredeyse tam olarak aynı sıcaklığa sahiptir: mutlak sıfırın yaklaşık üç derece ($2,725^{\circ}$) üzeri.⁷ Burada bir sorun var çünkü evrenin genişlemesini bir filmi geriye doğru seyrederek gibi, Büyük Patlama anına kadar izlersek, evrenin bugün gökyüzünde, aralarında 1 dereceden fazla açıklık olan bölgelerinin (yeryüzünden görüldüğü şekliyle Ay'ın eninin iki katı açıklık olan bölgelerin) önceleri birbiriyle temas halinde olmadığını görürüz.⁸ Daha kesin bir ifadeyle, evrenin başlangıcından bu yana bu bölgeler arasında herhangi bir etkinin birinden diğerine geçmesi için –ışığın belirlemiş olduğu kozmik hız sınırında yol alınsa bile– yeterli zaman olmamıştı. Dolayısıyla ateş topunun bir parçası diğerlerinden biraz daha hızlı soğuduysa, ısı, sıcaklığı eşitlemek için başka yerlerden o bölgeye gelmiş olamazdı. O zaman da kozmik arkaplan ışıınının *gökyüzünün her yerinde* aynı sıcaklıkta olmaması gerekirdi.

Bu durumun pek çok fizikçi tarafından kabul edilen tuhaf bir açıklaması var: Oluştuktan sonraki ilk bir saniyenin küçük bir bölümünde, evren ömründeki en hızlı, ışıktan bile hızlı genişlemeyi yaşamıştır.⁹ Bu şişme dönemi, öylesine aklın alamayacağı büyüklükte bir hıza sahipti ki, evren boyutça iki katına çıktı, sonra bir daha, bir daha... ve bunu *60'tan fazla kez tekrarladı*. Bu şişme anının sonraki genişlemeye karşılaştırılması, hidrojen bombasının küçük bir dinamit lokumuyla karşılaştırılmasına benzetilmiştir.

Şişme olgusu, kozmik arkaplan ışıının sıcaklığının her yerde aynı oluşunu güzelce açıklar. Ne de olsa, evren sandığımızdan çok

daha hızlı genişlediyse, başlarda düşündüğümüzden küçük de olabilir, ama aradan geçen 13,8 milyar yılda yine de şimdiki boyutlarına ulaşabilirdi. Ve eğer sandığımızdan küçük olsaydı, tüm parçaları ısı alışverişine izin verecek ölçüde birbirine yakın olur ve evren genişledikçe aynı sıcaklığı korurdu.

Parçacık fiziğinden çıkmış bir fikir olan şişme kuramı, 1979'da Rus fizikçi Alexei Starobinsky ve 1981'de de ondan bağımsız olarak Amerikalı fizikçi Alan Guth tarafından önerilmiştir. Temelindeki fiziksel mekanizmanın ayrıntıları belirsizliğini koruyor olsa da kuram, evrenimizin doğuşuyla ilgili muhteşem bir tablo ve asıl önemlisi, Büyük Patlama'nın *ne olduğu* ile ilgili bir açıklama sunar.

Günümüzde kozmologların çoğunluğunca kabul gören tuhaf hikaye şu şekilde: Başlangıçta şişme özellikli, "sahte vakum" vardı. Bu, günümüzde çevremizi saran gerçek vakumun –boşluğun– tuhaf ve yüksek enerjili bir biçimiydi.¹⁰ Bir kere, "itici kütleçekim" sahipti.¹¹ İtici kütleçekim, vakumun genişleyip daha büyük bir vakum oluşturmaya yol açmış, bu şekilde daha da artan itici kütleçekim ise, vakumun da daha büyük hızla genişlemesine neden olmuştu. Farz edin ki iki elinizin arasında bir deste kağıt para tutuyorsunuz ve ellerinizi birbirinden ayırdıkça aralarında yeni kağıt paralar beliriyor. Şişme özellikli vakum için de durum buydu. Bu şişmenin fizikçiler tarafından "hakiki beleş yemek" olarak nitelendirilmesi, bu nedenle oldukça yerindedir.

Ancak sahte vakum, doğası gereği kararsızdı.¹² Tamamen gelişigüzel biçimde olmak üzere, orada burada küçük bölgeler, normal ve daha düşük enerjili vakuma parçalanmaktaydı. Bu olduğunda şişme özellikli vakumun muazzam enerjisinin bir yere gitmesi gerekiyordu. Bu enerji, madde yaratmaya ve aynı anda maddeyi müthiş bir sıcaklığa ısıtmaya gitti. Böylece *sıcak büyük patlamalar* oluştu.

İçinde kabarcıkların gelişigüzel zamanlarda ve yerlerde belirdiği sonsuz bir deniz düşünün. Bu kabarcıkların her biri, büyük patlama evrenleridir. Bu büyük patlama evrenlerinden biri de *bizim evrenimizdir*.

Büyük Patlama ile ilgili olarak peşimizi bir türlü bırakmayan o sorulardan bir kısmını şimdi yanıtlayabiliriz. Bir kere, Büyük Patlama tek seferlik bir olay değildi. Sürekli olarak genişlemekte

olan şişme özellikli vakum okyanusunda gerçekleşen yerel olaylardan biriydi yalnızca. Bozunmakta olan vakumun enerjisiyle meydana gelmişti. Büyük Patlama bir başlangıç da değildi. Şişme özellikli vakumun şişmeye başlamasından beri bu vakum boyunca havai fişek gibi, bir oradan bir buradan diğer büyük patlamalar oluyordu.

Bu kabarcıklı evrenler oluştukları hızla birbirlerinden uzaklaşır. Hatta yeni vakumların oluşma hızı, yok olma hızlarından çok daha yüksektir. Bu yüzden şişme bir kez başladı mı artık durdurulamaz. *Ebedidir*. Ancak şaşırtıcı biçimde, sonsuz geleceğe doğru yol alması, şişmenin sonsuz geçmişte başladığı anlamına gelmez. Bir başlangıca sahip olması gerekir. “Ya daha önce ne olmuştu?” sorusu da bu nedenle ister istemez Büyük Patlama’dan daha erken bir döneme itilmiş olur. Bu noktada imdadımıza yetişen, belki de kuantum kuramı olacaktır, çünkü bu kuram bir şeylerin hiç yoktan belirivermesine izin verir. Küçük bir sahte vakum parçasının bir anda varlık kazanıverip şişmeye başlamasına bakacaktı sonuçta her şey. Böyle bir şeyin gerçekleşmesinin şartı da kuantum kuramının varlığı olduğuna göre, soru şuna dönüşür: “Fizik yasaları nereden geldi?”

Büyük Patlama’yı, sonsuza dek genişleyen bir vakum denizinde gerçekleşen belki de sonsuz sayıda patlamadan biri olarak betimleyen resim olağanüstü olsa da, sağlam bir kuramsal temele oturmuş olmaktan uzaktır. Şişme, Büyük Patlama’nın ana resmi- ne sonradan ulanmış bir eklemedir, evren ile ilgili tek ve bütün bir kuramın parçası değildir. Daha da kötüsü, resme ulanmış tek ekleme de değildir.

Büyük Patlama modeline eklemeler: karanlık enerji

Temel Büyük Patlama modeli, kozmik arkaplan ışıınım sıcaklığının uzayın her yerinde farklı değerler alacağını öngördüğü halde, gördüğümüz üzere durum –şişmenin etkisine bağlı olarak– böyle değildir. Modelin gözlemlerle çelişkide olan iki öngörüsü daha vardır. Bunlardan biri, evrenin genişleme sürecinin yavaşlaması gerektiğini söyler. Ne de olsa galaksiler, karşılıklı kütleçekim

etkisiyle birbirlerini çekmektedir. Sanki birbirlerine lastikten geniş bir ağ aracılığıyla bağlanmışlardır ve bu lastik, onlara bir kuvvet uygulayarak birbirlerinden hızla uzaklaşmalarını önlemektedir. Ancak fizikçiler 1998'de, evrenin genişlemesinin, tüm beklentilerin aksine yavaşlamadığını, *hızlandığını* buldular.

Öyleyse evrende kütleçekim kuvvetine baskın gelip galaksileri birbirinden ayıran bir başka kuvvet daha işliyor olmalıdır. Bu gizemli kuvvetin 10 milyar yıl kadar önce ortaya çıktığı ve o zamandan beri etkisini gösterdiği düşünülüyor. Fizikçiler bunun nedenini ararken bakışlarını galaksiler arasındaki vakuma yönlendirdiler. Onlara göre bu vakum, görünmez olan, uzayı tümüyle dolduran ve itici kütleçekime sahip karanlık enerjiyle dolmuştur. Evrenin genişlemesini hızlandıran da bu karanlık enerjidir.

Karanlık enerji, evrenin kütle enerjisinin yüzde 68,3'üne karşılık gelir. Evrenin en büyük kütsel bileşenini 1998 yılına kadar gözden kaçırmış olmanın ne kadar utanç verici olduğunu varın siz düşünün.

Karanlık enerji, Einstein'ın kütleçekim kuramının öngördüğü gibi uzayın içsel enerjisi de olabilir, başka bir kökene de sahip olabilir. Bunu kimse bilmiyor. Fizikçiler de işin içinden çıkamıyor. Kozmik vakumun enerji yoğunluğunu, yani karanlık enerjiyi tahmin için kuantum kuramından yararlanıldığında ortaya çıkan enerji yoğunluğu, gözlemlenenden 10^{120} kere daha büyüktür.¹³ Bu sonuç, bilim tarihinde bir tahmin ile gözlem arasındaki en büyük uyuşmazlıktır. Büyük bir fikrin arada atlanmış olduğunu anlamak için dâhi olmak gerekmiyor.

İtici kütleçekimine sahip karanlık enerji, evrenin ilk varolduğu anda genişlemesini hızlandıran şişme özellikli vakumu andırır. Aradaki fark, enerjisinin çok daha zayıf, ömrünün de çok daha uzun olmasıdır. Karanlık enerji ile şişme özellikli vakum arasında bir bağlantı olup olmadığı bilinmiyor.

Temel Büyük Patlama modelini gözlediklerimizle uzlaştırmak için modele eklenmesi gerekenler, karanlık enerji ve şişme ile sınırlı değildir. Büyük Patlama modelinin, kendisini gerçeklerle çelişkili hale getiren üçüncü bir öngörüsü daha var. Bu hiç de hafife alınacak bir öngörü değil. Çünkü buna göre *var olmamış olmamız* gerekir.

Büyük Patlama modeline eklemeler: karanlık madde

Kendi Samanyolu'muz gibi galaksilerin, Büyük Patlama ateş topunun soğumakta olan artıklarının katılaşmasıyla oluştuğunu hatırlayalım.¹⁴ Böyle bir şeyin olabilmesi, ateş topunun tümüyle tekbiçim olmayışı sayesinde. Kozmik arkaplan ışıınım sıcaklığı, tüm uzayda büyük ölçüde eşit olsa da, *tümüyle eşit değildir*. Sıcaklığın ortalamadan 100.000'de birkaç birimle ayrıldığı bölgeler vardır. Bu sıcaklık dalganmalarının, Büyük Patlama ateş topunun bazı kısımlarının diğerlerine göre çok az farkla daha yoğun olduğu gerçeğini yansıttığı düşünülüyor.

Büyük Patlama ateş topunun maddesi içindeki bu küçük eşitsizliğin, evrenin ilk saniyesi içinde şişme özellikli vakumda ortaya çıkan mikroskobik titreşimler ya da kuantum dalgalanmalardan kaynaklandığına inanılıyor. Bunlar daha sonra şişmeyle gelen muazzam genişlemenin etkisiyle büyümüş, evrenin doğumunu izleyen 379.000 yılın sonunda Büyük Patlama ateş topunun madde dağılımı içinde küçük tümsekler oluşturacak hale gelmişlerdi. Kütleçekimin biraz artmasıyla çevrelerindeki maddeyi daha hızlı biçimde toplamış, bu da sahip oldukları kütleçekimi yeniden güçlendirmişti. Zenginlerin daha da zenginleşmesi sürecini andıracak şekilde, engel tanımadan büyüyerek sonunda, bugün çevremizde gördüğümüz galaksileri oluşturdular.

Bu oldukça ayrıntılı ve inandırıcı bir tablo. Ancak ortada bir sorun var. Büyük Patlama'yı izleyen 13,8 milyar yıl, Samanyolu büyüklüğündeki galaksilere ait bileşenlerin bir araya gelmesine yetecek bir süre değildir. Kısacası, burada olmamız gerekir.

Gökbilimciler bu sorunu aşmak için de evrenin çok büyük miktarda görünmez ve karanlık bir madde içerdiği varsayımını ileri sürmüştür. Bu varsayıma göre karanlık maddeyle sağlanan fazladan kütleçekim, galaksi oluşumunu hızlandırarak sürecin 13,8 milyar yılda tamamlanmasını mümkün kılmıştır.¹⁵ Dahası, karanlık madde evrenin kütlelerinin yüzde 26,8'lik kısmına karşılık gelir.¹⁶ Yani görünür yıldızların beş katı.

Karanlık maddenin nasıl bir şey olduğunu kimse bilmiyor. Evrenin varoluşunun ilk saniyesi içinde oluşmuş buzdolabı

büyüklüğündeki kara delikler gibi¹⁷ ya da şu ana kadar keşfedilmemiş atom-altı parçacıklar gibi olabilir. Parçacık fiziği kuramlarının sunabileceği adaylar yok değil elbet. Ama nihayetinde, bunu *hiçbirimiz bilmiyoruz*.

Özetleyecek olursak, Büyük Patlama'nın ana resmi üç eklemeyle desteklenmek zorundadır: şişme, karanlık enerji ve karanlık madde. Evrenin kütlesinin yüzde 68,3'ü gizemli karanlık enerji, yüzde 26,8'i gizemli karanlık madde, kalan yüzde 4,9 da sıradan maddedir – yani sizi, beni, yıldızları ve galaksileri oluşturan madde.¹⁸ Teleskoplarımızın yardımıyla bunun da ancak yarısını görebilmiş durumdayız. Geri kalanı, çok az görünür ışık veren galaksiler çevresinde dolaşıp duran çok büyük sıcaklıklardaki gazlardır.

Aslında durumun utanç verici olduğunu söylemek bile hafif kaçıyor. Kozmolojik modelimizi evrenin doğrudan görebildiğimiz hepi topu yüzde 4,9'luk bölümüne dayandırmışız. Geriye kalan yüzde 95,1 ise kimliğini ele vermeyen görünmez şeylerden oluşur. Bu durum, Charles Darwin'in yalnızca kurbağalar hakkında bilgi sahibi olup balıklar, kuşlar ya da filler hakkında hiçbir şey bilmeden bir biyoloji kuramı inşa etmeye çalışması gibi bir şey.

Yine de durum o kadar da umutsuz değil. Karanlık madde ve karanlık enerji, Donald Rumsfeld'den alıntılacak olursak, “bilinen bilinmeyenlerdir.” Gökbilimciler ayrıntıların bulanık olduğu bir tablo sunsa da, tablonun genel olarak doğruyu yansıttığı konusunda pek kuşku taşımazlar. Yine de evren ile ilgili olarak, şişme, karanlık madde ve karanlık enerjiyi parçasız bir bütün haline getirecek daha derin bir kuramın olması gerektiğini yadsıyacak fizikçi yok gibidir.

Daha derin bir kuramın, temel sayılabilecek bir görüşü doğrulaması da beklenmektedir: Her şey bizim evrenimizden ibaret olmayabilir. Başka evrenler de var olabilir.

Çoklu evren

Evrenin 13,8 milyar yıl önce doğmuş olduğunu unutmamak gerekir. Bu yüzden görebildiğimiz galaksiler, ışıkları bize 13,8 milyar

* İki dönem savunma bakanlığı da yapmış olan Amerikalı siyasetçi ve işadamı. (ç.n.)

yılda ulaşabilmiş olanlarla sınırlıdır. Işıkları 13,8 milyar yıldan uzun sürede ulaşacak galaksiler için tek söyleyebileceğimiz de, ışıklarının henüz yolda olduğudur. Bunun sonucu olarak evren bir ufukla –ışık ufkuyla– çevrelenmiştir. Bunu bir baloncuk yüzeyi gibi düşünebilirsiniz. Merkezi Dünya olan bu baloncuk, “gözlenebilir evren” olarak bilinen yaklaşık 100 milyar galaksi içerir.

Bir okyanusun aslında kendini sınırlayan ufuk çizgisinin ötesinde de devam ettiğini nasıl biliyorsak, evrenin de kozmik ufkun ötesinde devam ettiğini öyle biliyoruz. Hatta genişleme kuramına bakılırsa, neredeyse *sonsuzca devam ettiğini*. Bir başka deyişle, gözlenebilir evren baloncğunun ötesinde sonsuz sayıda başka baloncuk vardır. Peki bunlar ne gibi özellikler taşır? Bir kere, hepsi kendi büyük patlamasını yaşamıştır – ya da başka bir bakış açısıyla, bizim Büyük Patlama’mızın bir bölümünü. Ve soğuyan artıklardan yine galaksi ve yıldızlar oluşmuştur – ama bu sefer *farklı* galaksi ve yıldızlar.¹⁹ Sonuçta her bir baloncuk farklı bir tarihe sahiptir. “Zaman nehrinin köpüğündeki baloncuklar gibi akan evrenler, hem sayıca çok hem de tuhaftır,” diye yazmıştır İngiliz bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke.²⁰

Burada bir bit yeniği var. Evren kuantum özellikte, yani tane-cikli yapıda olduğundan, her bir baloncuk için söz konusu olan olası geçmişlerin sayısı da sonludur. Şöyle açıklayabiliriz...

Kuantum kuramına göre mikroskobik ölçekteki dünya, bir gazete fotoğrafı gibi grenlidir. Nihayetinde her şey bölünemez parçacıklar ya da “kuanta”dan oluşmuştur. Enerji, madde, zaman ve *uzay* da öyle. Sonuç olarak, uzaya bir süper-mikroskop yardımıyla yakından bakabilseydik, bölünemez grenlerden, tane-ciklerden yapıldığını görürdük. Bunu, kareleri uzayı temsil eden bir satranç tahtası gibi düşünün. Evrenin genişliği boyunca geriye doğru, genişlemenin başlangıcına kadar koşarsak, uzayın yalnızca 1.000 kareden ibaret olduğunu görürüz. Bu sayı –çok küçük olması dışında– önemli değildir. Önemli olan, kare sayısının sonlu oluşudur.

Bu karelerin üzerindeki şey galaksilerin tohumuna dönüşecek. Bir kare enerjiye sahipse, o enerji de bir galaksinin tohumudur. Ama satranç taşlarını bir satranç tahtası üzerinde düzenlemenin yolları nasıl sonluysa, kareleri doldurma yolları da (kimini

enerjiyle doldurup kimini de enerjisiz bırakarak) sonludur. Başka türlü ifade edersek, bu şişme özellikli satranç tahtasında, galaksilerin olası düzenlenme yolları da ancak sonlu sayıda olabilir. Yani sadece *sonlu* sayıda olası kozmik tarihçe vardır.

Öyleyse kozmik tarihçelerin sayısı sonlu, bu tarihçelerin yaşanabileceği konumlar sonsuzdur. Bunun sonucu olarak her bir geçmiş, sonsuz kez tekrarlanır. Öyleyse siz de, yaşamları şu ana kadar tıpkı sizinki gibi geçmiş sonsuz sayıda kopyaya sahipsiniz. Dahası, en yakın kopyanızla karşılaşmak için ne kadar yol almanız gerektiğini hesaplamak bile mümkündür: $10^{10^{28}}$ metre.

Bilimsel gösterimde 10^{28} , “1” ve onu izleyen 28 adet “0” anlamına gelir; yani 10 milyar milyar milyar. Bu durumda “ $10^{10^{28}}$ ” de, “1” ve onu izleyen 10 milyar milyar milyar “0” demektir. Bu inanılmaz büyüklükte bir sayıdır ve karşılık geldiği uzaklık da dünyanın en büyük teleskoplarıyla izlenebilen en uzak sınırlardan bile çok çok daha uzaktır. Ama bu sayının büyüklüğüne takılıp kalmayın. İşin özü, en yakın kopyanızın Dünya’ya akılalmaz uzaklıkta olması değil, böyle bir kopyanın var olmasıdır.

İnanmadınız mı? Bu durum iki şeyin ne yazık ki kaçınılmaz sonucudur: temel bir evren kuramı ve temel bir fizik kuramı, yani kuantum kuramı. Söylediklerimiz yanlışsa bu kuramlardan biri ya da her ikisi de yanlış demektir. Tabii bu da çok sıra dışı bir durum sayılmaz. “Kozmologlar sıklıkla yanılır,” demişti büyük Rus fizikçi Lev Landau, “ama asla kuşku duymazlar.”

22:

EVRENİN EFENDİLERİ

Kara delikler

Artık bir bakış var gözlerinde,
Tıpkı kara delikleri gibi gökyüzünün.
PINK FLOYD, “Shine on you crazy diamond”

Doğanın kara delikleri, evrende var olan
en kusursuz makroskobik nesnelerdir:
Yapımlarına dahil olan unsurlar, uzay ve
zaman kavramlarından ibarettir.

SUBRAHMANYAN CHANDRASEKHAR

Kara delikler, kütleçekimin inanılmaz ölçüde güçlü olduğu ve bu nedenle hiçbir şeyin, ışığın bile kaçamadığı uzay-zaman bölgeleridir. Bu göksel varlıkların fazla olağandışı olduğunu, dolayısıyla da günlük yaşamınızla herhangi bir ilgisi olmadığını düşünüyor olabilirsiniz. Tam tersine. Bu satırları okuyabilmenizi borçlu olduğunuz Samanyolu galaksisinin doğumu, bir kara delikle tetiklenmiş olabilir. Bu bir yana, kara delikler gündelik gerçeklikle ilgili öylesine şaşırtıcı bir durumu ortaya çıkarırlar ki buna inanmak bile çok güçtür. Buna göre evrenimiz dev bir hologramdan ibaret olabilir. Ve *siz* de öyle.

Kara delik, kütleçekimin karşı konulmaz kuvvetinin bir göstergesidir. Tıpkı Alman futbol takımı gibi, geçici olarak durdurulabilir ama sonunda her zaman galip gelir. Zafer kazanmıştır, çünkü evrendeki *her bir* madde parçası ile *diğer tüm* parçalar arasında varlık gösteren bir çekim kuvvetidir ve hiçbir şey bu kuvveti sıfırlayamaz. Vücudunuzdaki atomları bir arada tutan elektromanyetik kuvvet ise aksine, hem çekici hem itici özellikte olabilir ve neredeyse her yerde sıfırlanır.

Kara delik, Einstein'ın kütleçekim kuramının bir öngörüsüdür. Olay ufku denen bir zarla çevrelenmiştir. İçeri düşen madde ve ışık artık geri dönemez. Bir astronot olay ufkunun hemen dışında asılı kalabilseydi, Einstein'ın kuramının bir sonucu olarak zamanı öylesine yavaşlardı ki, gözünü dışarı çevirip evrenin gelecekteki bütün tarihini, hızlı sarılmış bir filmi izler gibi izlemesi ilkece mümkün olurdu.¹

Ufku iç kısmında ise zaman öyle çarpılmıştır ki, zaman ve uzay yer değiştirir. Tekilliğin, yani içeri düşen maddenin kara delik merkezinde yokluğa parçalandığı o noktanın kaçınılmaz olmasının nedeni de budur. Tekillik uzay boyunca değil, *zaman* boyunca varlık gösterdiği için, yarını nasıl engelleyemezseniz onu da öyle engelleyemezsiniz.

Tekillik noktasında yoğunluk gibi tüm fiziksel nicelikler sonsuzluğa fırlar. “Kara delikler, Tanrı’nın sifıra böldüğü yerlerdir,” demişti Amerikalı komedyen Stephen Wright. Tekillik, Einstein’ın kütleçekim kuramının sınırlarının ötesine uzatıldığı ve artık söyleyeceği akla uygun bir şeyin kalmadığı yerdir. Daha iyi bir kuram –kütleçekimin kuantum kuramı– tekilliğin bir tekillik değil, bir süper-yüksek-yoğunluklu kütle enerjisi düğümü olduğunu neredeyse kesin olarak gösterecektir.

“Kara delik” terimini yaygınlaştıran Amerikalı fizikçi John Wheeler şöyle söylemişti: “Kara delik, bize uzayın bir kağıt parçası gibi kırıştırılarak sonsuz küçüklükte bir nokta haline getirilebileceğini, zamanın tıpkı ateş gibi bir anda söndürülebileceğini, ‘kutsal’ ve değişmez olarak gördüğümüz fizik yasalarının ise hiç de öyle olmadığını öğretmiştir.”

Genel görelilik kuramı kara delikleri öngörmüş olduğu halde, Einstein onların varlığına hiçbir zaman inanmamıştı. Bu fizikte ender rastlanan bir durum sayılmaz. Kuramcılar doğanın, beyaz bir tahta üzerine karaladıkları gizemli sembollerin melodisine uygun biçimde dans ettiğine inanmakta sıklıkla zorlanır. Nobel Ödüllü fizikçi Steven Weinberg bu durumu, “Hatamız, kuramlarımızı fazla ciddiye almak değil, yeterince ciddiye almamaktır” sözleriyle ifade etmişti.

Büyük kütleli yıldızların yaşamlarının sonunda felaket niteliğindeki çöküşleriyle oluşan yıldız kaynaklı kara delikleri saptamak doğaları gereği zordur; ne de olsa çok küçük ve çok siyahtırlar. Ancak kara delik bir ikili yıldız sistemi bünyesinde oluşmuşsa, yıldızlardan birinden sökülerek alınan ve delik içine çekilirken akkor hale gelene kadar ısınan maddenin saldırdığı X-ışınlarından bir işaret olarak yararlanabiliriz. İlk yıldız kütleli kara delik Cygnus X-1, 1971’de Uhuru uydusunca keşfedilmişti. Ancak kara delik öyküsünde çok daha büyük anlam taşıyan –ve *bizim* için de çok önemli olan– bir şey sekiz yıl öncesinde ortaya çıkmıştı.

Süper-kütleli kara delikler

Hollanda-Amerika kökenli gökbilimci Maarten Schmidt tarafından 1963’te keşfedilen kuazarlar, galaksilerin, evrenin uzak

köşelerinde fener gibi parlayan süper-parlak merkezleridir. Işıklarının bize ulaşması evrenin yaşının çoğunluğu boyunca sürmüş olduğundan, neredeyse zamanın başından beri parıldamaktadırlar. Bir kuazar, tipik olarak Samanyolu gibi 100 normal galaksinin enerjisini pompaladığı halde bunu gerçekleştirdiği bölge, Güneş Sistemi'mizin kapladığı bölgeden bile küçüktür. Yıldızların güç kaynağı olan nükleer enerji bunun için çok yetersiz kalır. Bu nedenle kuazarların inanılmaz enerji çıktılarını açıklayabilecek tek şey, bir kara deliğe fır dönerek düşen maddenin akkor haline gelene kadar ısınmasıdır. Ama söz konusu olan yıldız kütleli bir kara delik değil, *milyarlarca güneşin* kütlesine sahip bir kara deliktir.

Schmidt'in keşfini izleyen uzun bir süre boyunca, gökbilimciler bu tür süper-kütleli kara deliklerin kozmik birer anomali olduğunu düşündüler. Onlara göre bu canavarlar yalnızca, en aşırı örneği kuazarlar olan ve galaksilerin yüzde 1'ini oluşturan kötü huylu galaksilere güç sağlamaktaydı. Ancak son birkaç onyı içinde süper-kütleli kara deliklerin sadece etkin durumdaki galaksilerin merkezinde değil, kendi Samanyolu'muz da dahil neredeyse *tüm* galaksilerin merkezinde olduğu anlaşılmıştır. Bu kara deliklerin çoğu, yıldızlararası gaz ve parçalanmış yıldızlardan oluşan gıdalarını tümüyle tüketmiş ve tıka basa doymuş olduklarından durgunlaşmıştır.

Yıldız kütleli akrabalarından farklı olarak, süper-kütleli kara deliklerin kökeni bilinmiyor. Doğumları, yıldız kütleli kara deliklerin, galaksinin kalabalık merkezinde çarpışıp ardından da birleşmeleriyle gerçekleşmiş olabilir. Bir olasılık da, dev bir yıldız-öncesi gaz bulutunun küçülmesiyle doğrudan oluşmalarıdır. Ama bildiğimiz bir şey varsa, o da çok büyük bir hızla çok büyük bir boyuta ulaştıklarıdır. Evrenimiz 500 milyon yaşına (şimdiki yaşının yüzde 5'ine) geldiğinde, daha o zamandan milyarlarca güneş kütlesine ulaşmış süper-kütleli kara delikler vardı.

Ancak insan ölçeğinde oldukça etkileyici boyutlara sahip olan süper-kütleli kara delikler, kozmik ölçekte son derece önemsiz kalırlar. Ana galaksilerine kıyasla çok küçük olmalarının yanında –ki en büyükleri bile Güneş Sistemi'mize rahatlıkla sığabilir– bu galaksilerdeki yıldızların sahip olduğundan çok daha küçük kütleye sahiptirler.

Tüm bunlara rağmen, ana galaksilerinin yıldız içeriğini ve yapılarını kontrol altına almış gibi görünüyorlar. Örneğin bir galaksinin merkezindeki yıldızların kütlesi, merkez kara deliğin kütlesinden her zaman yaklaşık 1.000 kat fazladır ki bu da süper-kütleli bir kara delikle ana galaksisi arasında yakın bir ilişki olduğunu gösterir. Bir an için bunun ne kadar şaşırtıcı bir durum olduğunu düşünün. Los Angeles gibi bir mega-kentin büyümesinin, bir sivri-sinek kadar küçük bir şeyle denetleniyor olmasından çok da farklı bir durum değil.

Jetler

Süper-kütleli kara deliklerin, güçlerini uzayın enginliklerine ulaştırmak için kullandıkları araçlar jetlerdir. Sarmallar çizerek yokuşa sürüklenen gazın kıvrımlı manyetik alanı tarafından itilen bu süper-hızlı madde kanalları, dönmekte olan kara deliğin kutuplarından dışarı doğru fırlar. Galaksinin yıldızları arasından geçtikten sonra ulaştıkları galaksiler-arası uzayda sıcak gazdan oluşmuş devasa balonlar oluştururlar. Bunlar, bilinen evrendeki en büyük yapılar arasındadır.

Aslında bu gaz balonları, bilimin süper-kütleli kara deliklerle ilgili olarak elde ettiği ilk ipuçlarıydı. 1950'li yıllarda radyoastronomi uzmanları, savaşta kullanılmış radarlardan uyarlanan cihazlar yardımıyla, bazı galaksilerden gelen radyo salımlarının, beklendiği gibi merkezi düğüm bölgesinden değil, ilginç biçimde, galaksinin iki ucunda bulunan radyo salımlı devasa loblardan geldiğini keşfettiler.

Lobları besleyen ipliksi jetler ilk kez 1980'lerin başlarında, New Mexico'daki Çok Büyük Dizge'nin (Very Large Array – VLA) 27 çanak anteni tarafından görüntülendi. Bunlar maddeyi ivmeltirmek için harcadığımız naçizane çabalarla adeta alay eder gibidir. Cenevre yakınlarındaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı kabaca bir nanogramlık bir maddeyi ışık hızına yakın bir hıza çıkarırken, doğa, kozmik jetler aracılığıyla her yıl Güneş kütlesini kat kat aşan kütleleri benzer hızlara ulaştırabilmektedir.

Jetler ana galaksilerinin yapısını kontrol edebilir, çünkü hâlâ hızlı ve güçlü oldukları iç bölgelerde yıldızların tüm gazımsı

hammaddelerini dışarı püskürterek yıldız oluşumunu sönümlendirirken, daha yavaş oldukları dış kısımlarda tersi etki gösterirler. Bu sefer de gaz bulutlarıyla çarpışmaları sonucu ortaya çıkan sar-sıntılar, bunların kütleçekim etkisiyle çöküp yeni yıldız gruplarını ortaya çıkarmalarını sağlar.

Ancak süper-kütleli kara deliklerin yaptığı, yıldız oluşumunu başlatıp durdurarak galaksilere biçim vermekten ibaret değildir. Galaksi içinde doğan yıldızların *niteliğini* de belirlerler. Dev eliptik galaksiler olarak bilinen ve en büyük süper-kütleli kara deliklere sahip galaksiler, görünüşe göre soğuk, kırmızı ve uzun ömürlü yıldızları çok daha büyük oranda içerirler. Bu durumdan kara deliğin sorumlu olduğunu gösteren kanıtlar vardır. Bu “kırmızı cüce” yıldızlardan, karbon, magnezyum ve demir gibi birkaç ağır element içeren gezegenler ortaya çıkar. Bunlar yaşam için temel önem taşıyan elementlerdir.

Bu durumun bizim galaksimiz için de ima ettiği bazı şeyler vardır. 27.000 ışık yılı uzağımızda, Samanyolu’nun karanlık kalbinde, kütlesi Güneş’imizinkinin 4,3 milyon katını bulan bir süper-kütleli kara delik saklanmış bulunuyor. Sagittarius A* adını alan kara delik, bu özellikleriyle oldukça görkemli bir görüntü sunuyor olsa da aslında bazı kuazarların merkezinde bulunan 30 milyar güneş kütleli akrabalarının yanında oldukça önemsiz ve küçük kalır. Galaksimizin görece küçük bir süper-kütleli kara delik içermesine yakın zamana kadar bir tesadüf gözüyle bakılmıştır. Ama tesadüf müdür gerçekten? Evrenin her tarafına saçılmış dev eliptik galaksiler gezegenle tıka basa dolu olabilir, ama bunların hepsinin cansız ve kısır birer çöl olması da pekâlâ mümkündür. Samanyolu’muzun kalbindeki zararsız kara delik ise, başka bir yerde değil de burada yaşamamızı, hatta şu anda bu satırları okuyor olmanızı büyük ölçüde borçlu olduğunuz etken olabilir.

Samanyolu’nu bir süper-kütleli kara delik mi oluşturdu?

Aslına bakılırsa, süper-kütleli kara deliklere sandığımızdan daha fazla şey borçlu olabiliriz. Çoğu gökbilimci, süper-kütleli kara delikleri galaksilerin oluşturduğunu düşünmektedir. Ama bunun

tersini iddia eden ve asıl süper-kütleli kara deliklerin *galaksileri oluşturduğunu* ileri süren bir görüş de var.

Bu görüşe göre uzaydaki dev bir gaz bulutu, kendi kütleçekimiyle büzülür ve başlangıçta hiçbir yıldız oluşturmada süper-kütleli bir kara delik doğurur. Kara deliğin jetleri etkinleşerek uzaya fırlar. Eğer boşlukta dolanan atıl bir gaz bulutuna çarpacak olurlarsa, çarpışmanın sarsıntısıyla bulut çöker ve yıldızlara parçalanır. Bir başka deyişle bir galaksi meydana getirir.

Bu görüşe temelsiz bir kuramsal spekülasyon demek doğru olmaz. Gökbilimciler boşlukta süzülen ve çevresinde seçilebilir herhangi bir yıldız galaksisi bulunmayan bir süper-kütleli kara delik belirlediler. Bu çıplak kuazarın iki yanından, birbirine ters yönde püsküren iki jet bulunuyor. Bir tanesinin ucunda ise, boyutları bizim Samanyolu'muzun boyutları civarında olan, yeni doğmuş bir galaksi var. Galaksinin, yaklaşık 200 milyon yıl önce, jetinin, uyumakta olan bir gaz bulutuna bir lazer ışını gibi saplanmasıyla doğduğu tahmin ediliyor. Gelecekte ise süper-kütleli kara delik, kendi yarattığı galaksinin kalbine düşecek ve galaksi doğum süreci böylece sonlanmış olacak.⁴

Süper-kütleli kara deliklerin galaksilere bu şekilde varlık kazandırdıkları görüşü doğruysa, onlarla ilişkimizin öyküsünün de olağanüstü olduğunu kabul etmek gerekir. Bir zamanlar yalnızca normal-dışı etkin galaksilerden oluşmuş küçücük bir azınlığa güç sağladıkları düşünülürken, daha sonraları neredeyse tüm galaksilerin merkezinde yer aldıkları keşfedilmiştir. Şimdi ise galaksileri de onların yaratmış olabileceğini anlıyoruz. Sonuçta siz de, ben de varlığımızı bir süper-kütleli kara deliğe borçlu olabiliriz.

Holografik evren

Varlığımız için zorunlu olmaları bir yana, kara deliklerin bize, içinde yaşadığımız evren ve gündelik gerçekliğin doğası ile ilgili söyleyecek olağanüstü şeyleri de olabilir. Evren bir hologram, altta yatan 2-boyutlu gerçekliğin 3-boyutlu bir temsili olabilir. Farkında olmasanız bile, *siz de* öyle olabilirsiniz.

Bir kara deliğin, büyük kütleli bir yıldızın, ömrünün sonuna ulaşp katastrofik bir çöküşe uğrayarak noktamsı bir tekilliğe ulaştığı zaman doğduğunu hatırlayalım. Bir yıldızın böylesi dramatik biçimde yok oluşu, fizikçiler için büyük bir sorun oluşturmuyordu; ta ki 1974'te Stephen Hawking kara deliklerin –çelişkili biçimde– bütünüyle kara renkte olmadığını gösterene kadar. Kara delikler uzaya, “Hawking ışıınımı” adını verdiğimiz ışıınımı yayar.

Hawking, olay ufkunun hemen dışında kuantum süreçlerin işlemekte olduğunu ileri sürmüştü. Buna göre atom-altı parçacıklar, karşı parçacıklarıyla birlikte çevremizdeki vakum içinde bir belirip bir kaybolur. Böyle bir sanal parçacığı yaratmak için gereken enerji yerine tekrar hızla konduğu için, doğa bu olan bitenleri görmezden gelir. Ancak kimi zaman, çifti oluşturan parçacıklardan biri kara deliğin içine düşer. Kendisini sıfırlayacak olan eşinden yoksun kalan diğer parçacık ise ortadan kaybolmanın yolunu bulamaz. Varlığı artık geçici değil, kalıcı olmuştur. Onu var edecek enerjinin ise bir yerden gelmesi gerekir. Bu kaynak, kara deliğin kütleçekim enerjisidir. Hawking ışıınımının içerdiği sayısız parçacığın enerjisini böylece tek tek veren kara delik, sonunda kütle enerjisini kaybederek yok olur ya da buharlaşır.

Fakat Hawking'in teorisinin sorunlu bir tarafı vardır. Kara deliğin buharlaşmasıyla, onu oluşturmak için başlangıçta çöken yıldızla ilgili tüm bilgilerin de –örneğin tüm atomlarının tip ve konumları– yok olacağını ima eder. Bu durum ise fiziğin temel bir hükmüyle çelişir: Bilgi hiçbir zaman yaratılamaz veya yok edilemez.⁵

Bu kara delik bilgi paradoksunu çözmede işe yarayabilecek bir ipucu, İsraili fizikçi Jacob Bekenstein'dan gelmiştir. Bekenstein'ın olay ufkuyla ilgili olarak yaptığı önemli keşfe göre, olay ufkunun yüzey alanı, kara deliğin entropisiyle ilişkilidir. Fizikte bir cismin entropisi, onun mikroskobik düzeydeki düzensizliği anlamına gelir.⁶ Ama bu bilgi şu anda önem taşıyor. Asıl bilinmesi gereken şey, entropinin bilgi ile sıkı bir ilişki içinde olduğudur. Her basamağının bir sonrakiyle ilişkisiz olduğu milyar basamaklı bir sayının düzensizlik derecesi ya da entropisi yüksektir. Ama aynı zamanda bu sayı büyük miktarda bilgi içermektedir çünkü sayıyı bir başkasına aktarmanın tek yolu, milyar basamaktan her birini tek tek söylemektir.

Kara delik bilgi paradoksunu çözmek için gerekli temel ipucu budur. 1997 yılında, Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde Sı-cim Kuramı üzerinde araştırmalar yürüten kuramsal fizikçi Juan Maldacena, yıldızı tanımlayan bilginin –mikroskobik yumru ve tümsekler halinde– depolandığı yerin olay ufku olduğunu göster-di. Buna göre kara deliğin ufuk bölgesinden saldığı Hawking ışını-mı üzerinde yıldızla ilgili bilgi de “basılı” durumdadır – bir radyo kanalından çıkan radyo dalgalarının üzerinde müzik bilgilerinin basılı oluşu gibi. Öyleyse kara delik ortadan kaybolduğunda yıl-dızın şarkısı da onunla birlikte kaybolmayarak, evrende Hawking ışınımı aracılığıyla yayınlanır. Bilgi hiçbir zaman kaybolmaz.

Tüm bunların işaret ettiği şaşırtıcı gerçek, 2-boyutlu bir yü-zeyin (bir kara deliğin ufkunun), 3-boyutlu bir cisim (bir yıldız) tanımlamaya yetecek kadar bilgiyi depolayabilmesidir. Kredi kart-larınız üzerindeki hologramların yaptığı da tam olarak budur.

Bu size fazla sıra dışı bir gökcismiyle ilgili fazla sıra dışı bir spekülasyon gibi gelebilir. Ancak 1990'ların sonlarında Kaliforni-ya'daki Stanford Üniversitesi'nden Leonard Susskind, şaşırtıcı ve akılalmaz bir bağlantı ileri sürdü. Buna göre evren tıpkı bir kara delik gibi, bir ufukla çevrelenmişti. Bu, uzamsal olmaktan çok zamansal bir ufuktu, ama yine de bir ufuktu. Öyleyse, diyordu Susskind, 3-boyutlu evreni tanımlayan bilgi, evrenin ufkunda de-polanmış olabilir.

Bunun anlamı çok çeşitli yorumlara açıktır. Geleneksel yakla-şım bu görüşü, evrenin tahmin ettiğimizden çok daha az bilgi içeri-diği, yani incelikli bir yağlıboya tabloda çok, bir eskize benzediği biçiminde yorumlar. Daha uç bir yorum ise, evrenin gerçekte bir hologram, 3-boyutlu bir evren yanılsamasını doğuran ve kozmik ufukta saklanmış 2-boyutlu bir nesne olduğu yolundadır. Sonuçta ya bu 2-boyutlu düzlemin üzerinde 3-boyutlu olduğumuz yanılsa-masıyla yaşamaktayızdır ya da evrenimiz, bu 2-boyutlu düzlemin bir 3-boyutlu izdüşümüdür. Özetle siz, ben ve geriye kalan herkes dev bir hologram içinde yaşıyor olabiliriz. Kara delikler, fazla özel ve ayrıksı göksel nesneler olmak şöyle dursun, bizi ve gündelik ya-şamımızı derinden etkileyebilecek oluşumlardır. Kara delikler, tam anlamıyla evrenin efendileridir.

TEŞEKKÜR

Bu kitabı yazarken bana doğrudan yardım eden, esin kaynağı olan ya da beni yüreklendiren şu kişilere teşekkürü borç bilirim: Karen, Neil Belton, Felicity Bryan, Manjit Kumar, Tim Harford, Ha-Joon Chang, Steve Russell, Reggie Kibbel, Lawrence Schulman, Nick Lane, Sue Bowler, Alex Holroyd, Chris Stringer, Steve Jones, Joanne Manaster, Adam Rutherford, Andy Coghlan, Carl Zimmer, Adrian Washbourne, John King, Chris Scarre, Brian May, Julian Loose, John Grindrod, Brian Chilver, Jose Tate, Karen Gunnell, Patrick O'Halloran, Jeremy Webb, Henry Volans, Simon Singh, Sarah Savitt, Tania Monteiro, Michele Topham, Valerie Jamieson, Roger Highfield, Alom Shaha, Peter Serafinowicz, Stuart Clark, Miles Poynton, Stephen Page, Silvia Novak, Jill Burrows.

NOTLAR

BİRİNCİ KISIM: Bir Canlı Nasıl İşler

1 BEN BİR GALAKSİYİM: HÜCRELER

- 1 Nöronlar, insan vücudundaki en uzun hücrelerdir. Tek bir hücre, beyninizden ayak başparmağınızın ucuna kadar uzanabilir.
- 2 Lewis Thomas, *The Lives of a Cell* (Penguin, 1978) [*Bir Hücrenin Yaşamları*, Çev. Kayhan Çetin, E Yayınları, 1984].
- 3 Normalde, bir bakteri birkaç saat içinde iki bakteriye bölünebilir. Böyle bir bölünme hızıyla dört gün sonra 1 trilyon yavru üretmiş olacaktır, yani bir küp şekerin hacmini dolduracak kadar. Dört gün daha geçtikten sonra, torunları küçük bir göleti dolduracak duruma gelir. Bir dört gün daha, bu sefer Pasifik Okyanusu'nu... Aslında iki haftadan az bir süre içinde, tek bir bakteri, kütlesi Samanyolu'nunkine eşit bir bakteri yığını oluşturabilir. Neyse ki böyle bir şey asla gerçekleşmez. Yeni evlerin yapımı için tuğla ve harç stokuna nasıl gereksinim varsa, yeni bakterilerin yapımı için de kimyasal yapıtaşlarına gereksinim vardır. Uygulamada bu stok sınırlıdır.
- 4 RNA birden fazla beceriye sahip bir moleküldür. Hem DNA gibi bilgi depolayabilir *hem de* protein gibi davranabilir (sözgelimi, kimyasal tepkimeleri hızlandırmak ya da “katalize etmek” yoluyla). Bazı RNA'ların kendilerini kopyalayabilmeleri, tarihsel olarak RNA'nın DNA'dan önce geldiği düşüncesini doğurmuştur. Ancak RNA'nın zayıf noktası, kırılganlığıdır. Yaşam, sonunda bilgi depolamak için daha dayanıklı bir molekül bularak, kimyasal çatısı RNA'dan biraz farklı olan DNA'ya geçiş yapmıştır. DNA, bu “DNA dünyası”nda, “RNA dünyası”nın aksine protein üretimi için gereken tarifleri kayıt altına almış ve her tarifi RNA

kopyasını hücrenin protein üretici düzeneğine göndermiştir. Böylece katalizörlük görevini proteinlere devreden RNA da aracılık rolüyle yetinmek zorunda kalmıştır.

- 5 1977’de Amerikalı biyolog Carl Woese, canlılar arasındaki DNA benzerliklerinden yola çıkarak, “hayat ağacı”nı yeniden çizmiştir. Woese’un ağacının alt kademesinde üç ana dal ya da “alan” [“domain”] yer alır: *Bakteriler*, *Arkeler* ve *Ökaryotlar*. Uzak geçmişte arkebakteriler bakterilerden ayrılmış, daha sonra biz insanlar da dahil tüm çok hücreli canlıları oluşturacak olan ökaryotlar ise arkebakterilerden ayrılmıştır. Arkebakteriler, birçok yönüyle bakterilerden farklılık gösterir. Hücre zarlarının yapıları bu farklılardan biridir. Buna karşılık, ökaryotlarla birçok ortak noktalarının bulunması da vücutlarımızdaki karmaşık hücrelerin doğrudan atası oldukları fikrine destek vermektedir.
- 6 Bitki hücrelerindeki, ökaryotik hücrelerin içinde bulunan enerji üretici “kloroplastlar”, serbest yaşamlı “mavi-yeşil algler” ya da “siyanobakteriler” ile de şaşırtıcı benzerlik göstermektedir. (Disk biçimli kloroplastlar, “fotosentez” adı verilen süreçle güneş ışığını kimyasal enerjiye çevirir.) Siyanobakterilerin, bir bakterinin 2 milyar yıl kadar önce bir arkebakteri tarafından yutulmasına benzer bir olayla hücre içine girip yerleştikleri düşünülmektedir.
- 7 Bkz. 14. Bölüm, “Hepimiz buhar makinesiyiz: Termodinamik”.
- 8 Lewis Thomas, *The Lives of a Cell [Bir Hücrenin yaşamları]*.
- 9 Bkz. “Cell City” [Hücre Kenti]; John Innes Centre ve Institute of Food Research, Norwich Research Park için gerçekleştirilmiş bir BioPic Yapımı (<http://www.biopic.co.uk/cellcity/index.htm>)
- 10 Stephen Jay Gould, *Wonderful Life*.
- 11 Robert Brown, polen taneciklerinin sudaki ilginç danslarını da kaydetmişti. 1905’te Einstein’ın fark ettiği üzere bunun nedeni, taneciklerin su “atomları”nın (gerçekte, su “molekülleri”) bombardımanıya sergiledikleri titreşim hareketlerdi. Brown, dolayısıyla hem fizik hem de biyolojinin temel yapıtaşlarının belirlenmesine katkısıyla tanınır.
- 12 Vücudunuzda yer alan tipik bir hücrenin DNA’sı çözülecek olsa, yaklaşık 2 metre uzunlukta olduğu görülür. Bu DNA’yı milimetrenin 6 binde biri genişliğindeki bir çekirdeğe sığdırmak ise 40 kilometrelik ince bir ipliği tenis topuna sığdırmaktan farksızdır.
- 13 Peter Gwynne, Sharon Begley ve Mary Hager, “The Secrets of the Human Cell”
- 14 Adam Rutherford, *Creation*.

- 15 Maya ve küf gibi mikroorganizmaların yanı sıra kültür mantarlarını da içeren “mantarlar”, büyük bir ökaryotik canlı grubunun üyesidir.
- 16 Bkz. 3. Bölüm, “Geleceğe geri geri yürümek: Evrim”.
- 17 Lewis Thomas, *The Lives of a Cell [Bir Hücrenin yaşamları]*.

2. ROKET YAKITLI BEBEK: SOLUNUM

- 1 Tüm faaliyetlerin itici gücü olan “buhar makinesi”nin temel ilkesi de budur (Bkz. 14. Bölüm, “Hepimiz Buhar Makinesiyiz: Termodinamik”). Enerji, yüksek sıcaklıklı bir ortamdan (ki yüksek enerjili bir atomdaki elektronların hareket enerjileri de yüksek olacağı için, *sıcak* olarak nitelendirilebilirler) düşük sıcaklıklı bir ortama (düşük enerjili elektronlar da *soğuk* olarak nitelendirilebilir) doğru kayar ve bu süreç boyunca iş yapar. Bir başka deyişle, bir nesneyi belirli bir kuvvete karşı hareket ettirir. Buhar makinesi söz konusu olduğunda, piston hava basıncına karşı hareket eder.
- 2 Sıvı hidrojen ve sıvı oksijen yakıtının karıştırılmasıyla serbest kalan enerji, yakıtın toplam ağırlığı *artı* roketin metal dış yüzeyinin ağırlığını uzaya fırlatmak için pek yeterli değildir. Roketin kademeli olarak inşa edilmesinin nedeni budur. Yükseklerle ulaşmış bir roket, kademelerinden birini bırakarak ağırlığını azaltır ve böylece yakıtın roketi uzaya taşıma işi kolaylaşmış olur.
- 3 Bir atom içindeki elektronlar, her birinin alabileceği azami elektron sayısı belirli olan “kabuk”lar halinde düzenlenmiştir. Tamamlanmış bir kabuk, hedeflenen durumu temsil eder. Hidrojen bir elektron kaybederek (aslında tek elektronu da budur), oksijen de iki elektron kazanarak bu duruma ulaşabilir. Oksijen atomunun hidrojen atomundan iki elektron kapmasının nedeni budur. İki hidrojen atomunun elektron kaybedip oksijen atomunun da iki elektron kazanması, hedeflenen en düşük enerjili durumu sağlamış olur. Bu, tepenin altındaki düzlükte duran bir topun durumuna eşdeğerdir.
- 4 Kimyacıların “oksidasyon” ve “redüksiyon” (“indirgenme”) sözcüklerini kullanmalarının bir nedeni de, kimyasal tepkimelerde olup bitenlerin kesin ayrıntılarını bir zamanlar bilmemeleriydi. Gerçekte oksijen gibi oksitleyici bir ajan, enerjisini azaltmak için elektron *kapma* yoluna giderken hidrojen gibi indirgeyici bir ajan da, yine enerjisini azaltmak için elektron *bağışı* yapar.

- 5 Proteinler hücrelere yapı iskelesi sağlamak ve kimyasal tepkimeleri hızlandırmak gibi birçok amaca hizmet eden büyük biyomoleküllerdir.
- 6 Kütlesi bir elektronunkinin kabaca 2.000 katı olan proton, atomun merkezi, yani çekirdeğinin iki bileşeninden biridir. Diğer bileşen nötrondur. Tüm atomların çekirdekleri her iki parçacığı da içerir. Tek istisna hidrojen atomunun çekirdeğidir. Hidrojen çekirdeği yalnızca bir protona sahiptir.
- 7 Elektronun basitçe, proteine hızla çarpıp onu hücre zarındaki bir delikten içeri yönlendirdiğini düşünmek yanlış olur. Elektronun gerçekte yaptığı, proteinin biçimini değiştirmektir. Protein, elektronun varlığında ve yokluğunda farklı biçimlere sahiptir. Proteini zarın diğer tarafına geçmeye zorlayan, bu biçim değişiklikleridir.
- 8 Bkz. 8. Bölüm, “Yaşasın Zıtların Çekimi: Elektrik”.
- 9 Ortalama bir insan yemeden en fazla bir ay kadar hayatta kalabildiği halde, aşırı şişman kişilerin vücutlarında depolamış oldukları yağlardan başka hiçbir şey tüketmeksizin bir yıl boyunca yaşayabildikleri örnekler de vardır.
- 10 Twitter’da @Qikipedia’nın açıklamasına göre “Ortalama bir insan ömrü boyunca kalpten geçen kanın hacmi, üç süper tankeri doldurmaya yeter.”
- 11 Dünya yüzündeki yaşamın tek enerji kaynağı Güneş enerjisi değildir. Jeokimsiyal enerjiden [örneğin moleküler hidrojen (H_2) ve karbondioksit (CO_2) arasındaki kimyasal tepkime] yararlanan canlılar da vardır. Bu tür tepkimelerin gezegenimizdeki ilk canlılara da enerji sağlamış olduğu düşünülmektedir.

3. GELECEĞE GERİ GERİ YÜRÜMEK: EVRİM

- 1 Yararlı özellikler, canlıya yalnızca üreyecek kadar yaşamda kalma şansı tanıyan özelliklerle sınırlı olmayıp, yeterince uzun yaşaması durumunda üreme *fırsatını* yakalama şansını da arttıran özelliklerdir. Bu tür “cinsel seçilimli” özelliklere örnek olarak, tavus kuşlarında erkek bireyi dişiye çekici kılan kuyruğu ya da geyiklerde erkeğin, eş için diğer erkekleri saf dışı bırakmasını sağlayan boynuzu sayabiliriz.
- 2 Alfred Russell Wallace insanları doğal seçim sürecinin dışında tutmuş, böylece Charles Darwin’i saran çekişmelerden –ama yanında şöhretten de– uzak kalmıştı. Wallace’ın toplu eserlerine (kitapları,

makaleleri, elyazmaları ve çizimleri) <http://wallace-online.org> adresinden erişilebilir.

- 3 Charles Darwin'in toplu eserlerine <http://darwin-online.org.uk> adresinden erişilebilir.
- 4 Galaksimiz Samanyolu, gerçekte her şeyin merkezinde değildir; kendisi gibi yaklaşık 100 milyar galaksiden biridir. Üstelik evrenimizin kendisinin de özel olmayıp "çoklu evren"deki sayısız benzerlerinden yalnızca biri olduğu yolundaki kuşkular artmaktadır. Dolayısıyla bu ışıktaki bakıldığında Darwin de, insanı Dünya'nın merkezinden acımadan koparıp, umarsız, şaşılmalı ölçüde büyük ve olasılıkla da sonsuz olan kozmos içindeki önemsizliğini ortaya sererek Kopernik ilkesini uygulamaya koyan birçok bilim insanından biridir. Bkz. 21. Bölüm, "Dünü olmayan gün: Kozmoloji".
- 5 Bkz. 1. Bölüm, "Ben bir galaksiyim: "Hücreler".
- 6 DNA'nın kopyalanması, ilginç bir durum sayesinde gerçekleşmektedir. A her zaman T, G de her zaman C ile eşleşir. Bu nedenle bir hücrenin DNA çift sarmalı ortasından ayrılacak olursa, iki "tamamlayıcı" iplikçik ortaya çıkar. Çözültide yüzen A'lar, açığtaki T'lere otomatik olarak yapboz parçası gibi kenetlenir. T'ler A'lara tutunur, G'ler C'lere, C'ler de G'lere. Sonuçta ilk DNA'nın birbirinin aynı olan *iki* kopyası ortaya çıkmış olur. Francis Crick ve James Watson'ın bunu 1953'te keşfettikten sonra İngiltere, Cambridge'de bulunan *The Eagle* barına koşturup yaşamın sırrını çözdüklerini ilan etmelerine pek de şaşmamak gerekir. Bkz. James Watson, *The Double Helix [İkili Sarmal – DNA Yapı Çözümünün Öyküsü]*, Çev. Alev Serin, Say Yayınları, 2013].
- 7 1960'larda İngiliz biyolog Lewis Wolpert, embriyo içinde bulunan kimyasallarda gradyanlı derişim ayarlamalarına giderek hayvanlarda karmaşık vücut planları oluşturulabileceğini öne sürmüştü ("Shaping Life", *New Scientist*, 1 Eylül 2012). "Morfogen" adıyla bilinen bu bileşiklerin embriyodaki yerel yoğunluklarına bağlı olarak, farklı bölgelerde farklı genler etkinleşir.
- 8 DNA, bilgiyi günümüzün en iyi katı hal depolama aygıtlarından binlerce ve binlerce kez daha kompakt biçimde depolar. 2012'de Harvard Tıp Okulu'ndan George Church liderliğindeki bir ekip, 11 görüntü ve 53.000 sözcükten oluşan bir kitabın DNA'ya çevrimini gerçekleştirdi. Kitap, A veya C bazlarının "o", G veya T bazlarının da "ı" sayılarını temsil ettiği ikili sistemde kodlanmıştı; büyüklüğü ise tipik bir bakteri DNA'sının büyüklüğü kadardı. Hücre bölünmesiyle kitabın 70 milyar kopyası şimdiden elde

edilmiş durumdadır. Yani yeryüzündeki her erkek, kadın ve çocuğa 10'ar kitap düşmektedir. Bu kitapların tümünü ise tek bir su damlasına sığdırmak mümkündür.

- 9 Hiç kimse, eşeysiz üreyerek pekâlâ idare edebilen onca canlının varlığından hareketle, cinsiyetin neden evrimleştiğini kesin biçimde söyleyememektedir. Ancak olasılıklardan biri, eşeyliliğin, konaklarıyla bitmek tükenmek bilmez bir silahlanma yarışı içindeki parazitleri hazırlıksız yakaladığıdır. Parazitler hiçbir zaman konaklarına kusursuz uyum sağlayamaz; konağın sürekli olarak yeni bir varyantının ortaya çıkması ise tüm nüfusu öldürebilir. Bkz. 4. Bölüm, “Cinselliğin büyük patlaması: Cinsellik ve eşeylilik”.
- 10 Michael Le Page, “A Brief History of the Genome”, *New Scientist*, 15 Eylül 2012, s.30
- 11 Lewis Thomas, *The Lives of a Cell* [Bir Hücrenin yaşamları]
- 12 Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* [Kör Saatçi, Çev. Feryal Halatçı, TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları, 2002].
- 13 Gilbert Newton Lewis, *The Anatomy of Science*, s.158-9,
- 14 Yazarın Steve Jones ile yaptığı telefon görüşmesinden.
- 15 Richard Dawkins, *The Greatest Show on Earth: The Evidence for Evolution* [Yeryüzündeki En Büyük Gösteri, Çev. Kahraman İpek- dal, Kuzey Yayınları, 2010].

4. CİNSELLİĞİN BÜYÜK PATLAMASI: CİNSELLİK VE EŞEYLİLİK

- 1 Winston Churchill, 1939 Ekimi'nde bir radyo yayınında sarf ettiği bu sözlerle, aslında Rusya'ya gönderme yapmaktaydı: “Size Rusya'nın ne yapacağını önceden söyleyemem. Bu bir muammanın içindeki gizemle sarmalanmış bilmecedir...”
- 2 Bilim insanları arasındaki bir azınlığa göre yaşamın ortaya çıkış sürecinde ilk adımlar Dünya'da değil, yıldızlararası boşlukta atılmıştı. İlkel bakteriler bundan sonra, çarpan kuyrukluyıldızların içinde gezegene taşınmıştı. Dünya'daki yaşamın “tohumlarının” uzaydan geldiği yolundaki “panspermi” kavramını, *The Universe Next Door* başlıklı kitabımın “The life plague” bölümünde ayrıntılı biçimde ele almıştım.
- 3 Lewis Thomas, *The Medusa and the Snail*.
- 4 Samuel Butler, *Life and Habit*.
- 5 Martin Luther, *The Table Talk of Martin Luther* [Martin Luther'in Sofra Sohbetleri], çev. William Hazlitt.

- 6 Zaman zaman ortalıkta erkek “dâhi”lerden –bilim insanları, ressam, müzisyenler vs.– sperm toplanmasını içeren dolaplar döndüğüne tanık oluruz. Bunların failleri, bu tür bir hizmetten yararlanan kadınların (önerilen yapay döllenme işlemlerine hiç girmesek daha iyi) dâhi çocuk sahibi olacağını iddia ederler. Bu iddia, biyolojik bakımdan anlamsızdır. Çünkü dâhi sayılan birinin özellikleri –hem gen dizilimi hem de çevre etkisiyle değil de– yalnızca belli bir gen dizisince belirleniyor olsa bile, o gen dizilimi, doğacak çocuklardan herhangi birine bir bütün olarak aktarılamayabilir. Çocuk, onun yerine dâhinin dizilimini, anneninkiyle *karişmış olarak* alacaktır. Dâhi bir bakterinin, dâhi bir bakteri yavrusuna sahip olması kesinlikle mümkünse de, aynı şeyin eşeyli üreyen canlılarda gerçekleşmesi uzak bir ihtimaldir.
- 7 Leigh Van Valen “A new evolutionary law”, *Evolutionary Theory*, cilt 1 (1973-1976), s.1
- 8 Matt Ridley, *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*.
- 9 Levi Morran ve diğerleri, “Running with the Red Queen: Host-Parasite Coevolution Selects for Biparental Sex”, *Science*, 8 Temmuz 2011, cilt 333, s.216.
- 10 DNA paketlenmesi sırasında çift iplikçikli moleküle ait uzun parçalar, hücrenin çok küçük olan çekirdeğine sığacak şekilde sıkıca bükülür, sarılır ve katlanır. Ökaryotlar, gerekli olan bu sıkıştırma işini gerçekleştirmek için DNA’larını “histon” adı verilen özel proteinlerin çevresine sarar ve “kromatin” olarak bilinen yapıyı oluştururlar. DNA’yı daha da sıkıştırmak içinse “süpersarım” adı verilen bükme işleminden yararlanırlar. Prokaryotların çoğunda histon proteinleri bulunmaz, ancak onlar da ökaryotlara oldukça benzer şekilde, süpersarımlı DNA’larını birbirine bağlamak için başka proteinlerden yararlanırlar. Hem ökaryot hem de prokaryotlar, yüksek düzeyde sıkıştırılmış hale gelen bu DNA’yı kromozomlara dağıtırlar.
- 11 Ilea Leitch ve diğerleri, “Evolution of DNA amounts across land plants (Embryophyta)”, *Annals of Botany*, cilt 95, sayı 1 (Ocak 2005), s. 207.
- 12 Bkz. 1. Bölüm, “Ben bir galaksiyim: Hücreler”.
- 13 Kesin konuşmak gerekirse, annenizden aldığınız DNA, babanızdan aldığınızdan biraz daha fazladır. Bunun nedeni, yumurtanın içindeki enerji üretici mitokondrilerin, hücrenin tümünün DNA’sından ayrı olarak, kendi DNA’larına sahip olmalarıdır. Bu

DNA, başka herhangi bir DNA'yla karışmaksızın yalnızca anneden çocuğa geçer. Bu nedenle aile ağacını ortaya çıkarmak için mitokondri DNA'sından yararlanılabilmektedir.

- 14 Bkz. 6. Bölüm, “Yüzde bir milyarlık avantaj: İnsan evrimi”.
- 15 Mayozda genlerin zigotu oluşturmak üzere birbirine karışması sürecinde, genel hatlarıyla ifade etmek gerekirse, her kromozom çiftinin bir üyesi devreye girer. Bu işlem rassal biçimde gerçekleştiği için her gamet $2^{23} = \sim 10$ milyon olası kromozom kombinasyonundan birine sahip olabilir. Buna göre bir erkekte gametler X, X, Y ve Y, kadınlarda ise yalnızca X'lerden oluşacaktır. Gametler eşeyli üreme sürecinde birleştikten sonra ise ortaya çıkan zigotlar XX, XX, XY ya da XY çiftlerinden birini içerecektir. Y kromozomu erkekliği belirlediğinden, bunların yüzde 50'si erkek, yüzde 50'si dişi olacaktır.
- 16 Bkz. “The origin of sexual reproduction” [“Eşeyli üremenin kökeni”] <http://tinyurl.com/ca8sjwg>
- 17 Bkz. 5. Bölüm, “Meraklı madde: Beyin”.
- 18 Bkz. 1. Bölüm, “Ben bir galaksiyim: Hücreler”.
- 19 Hepsi olmasa da, eşeyli üreyen çoğu canlı iki cinsiyet içerir. Ancak cıvık mantarlarda bu sayı 13'tür. Bu tek hücreli amip benzeri canlılar ne hayvan ne de bitki sayılmakla birlikte, ikisiyle de ortak bazı özellikler taşırlar. Her cinsiyet, kendisi dışındaki cinsiyetlerin hepsiyle birleşebilir. (Eş bulma ve ilişkinizi sürdürme konusunda sorunlar yaşadığınızı düşünüyorsanız, bir daha düşünün!) Cıvık mantarlar, beyin taşımamalarına –ve “cıvık” olmalarına– karşın, kendilerini labirentlerden kurtarmak konusunda hünerlidirler. (Bkz. “Why slime molds can solve mazes better than robots” [“Cıvık mantarlar, labirent problemlerini neden robotlardan daha iyi çözerler”], Ed Grabianowski, 12 Ekim 2012 <http://tinyurl.com/9ud95jx>)
- 20 Philip Larkin, “Annus Mirabilis”, *High Windows*.
- 21 Richard Dawkins, “The Ultraviolet Garden” [“Morötesi Bahçe”], Royal Institution Noel Dersi, No. 4, 1991.

5. MERAKLI MADDE: BEYİN

- 1 Arthur Conan Doyle, “Mazarin Taşı Macerası” öyküsünden.
- 2 Kenneth Grahame, *The Wind in the Willows*'dan [Söğütlerdeki Rüzgâr, Çev. Bilgin Adalı, Yapı Kredi Yayınları, 2011].

- 3 Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary* [Şeytanın Sözlüğü, Çev. Özde Duygu Gürkan, Metis Yayınları, 2014].
- 4 Oscar Wilde, *De Profundis* [Çev. Roza Hakmen, Can Yayınları, 1997]
- 5 Bir sünger parçalanıp hücreleri suya bırakıldığında, hücrelerin tek-
rar bir sünger oluşturmak üzere yeni bir yapılanmaya gitmeleri
oldukça ilginçtir.
- 6 Yüklü bir atom ya da molekül belirli bir bölgede bolsa, böyle bir
“iyon” daha düşük yoğunlukta olduğu bir başka bölgeye doğru
hareket etmek ya da yayılmak eğiliminde olacaktır.
- 7 “The origin of the brain” [“Beynin kökeni”]. <http://tinyurl.com/d7sbhpk>
- 8 Daha ayrıntılı anlatmak gerekirse, kimyasal haberciler, aksonun
ucunda yer alan ve “terminal buton” olarak bilinen yapıların için-
de yer alır. Habercileri sinaptik aralığa salan bunlardır.
- 9 PBS, ABD ile söyleşi.
- 10 Bkz. 9. Bölüm, “Programlanabilir madde: Bilgisayarlar”.
- 11 Peter Norvig, “Brainy machines”.
- 12 Daniel Dennett, *Consciousness Explained*.
- 13 Şu sıralarda Harvard Üniversitesi’nden izinli olan David Dalrym-
ple, *C. elegans* sinir sisteminin tam simülasyonunu gerçekleştirmeyi
hedeflemektedir. Bunun için, öncelikle 302 nörondan her birinin
işlev, davranış ve biyofiziğinin belirlenmesi gerekmektedir. (Randal
A. Koene, “How to copy a brain”, *New Scientist*, 27 Ekim 2012, s.
26). Bu çalışma, iddialı bir hedefe –insan beyнинin bir başka malze-
meye, örneğin bilgisayar silikonuna kopyalanmasına– doğru atılan
ilk küçük adım niteliğindedir.
- 14 Edward O. Wilson, *Consilience*.
- 15 Sharon Begley “In Our Messy, Reptilian Brains” [“Darmadağınık
Sürüngen Beynimiz”], Sharon Begley (*Newsweek*, 9 Nisan, 2007).
- 16 Spike Feresten, *Seinfeld*, 9. sezon, 12. bölüm, 15 Ocak 1998.
- 17 “Glia hücresi” olarak bilinen destek hücresi kökenli hücreler, bazı
nöronları kılıf gibi sarar. Plastikten bir yalıtım maddesinin eviniz-
deki elektrik tellerinden elektrik sızıntısını önlemesi gibi, bu “mi-
yelin kılıf” da, aksondaki elektrik akımının çevreye sızmasına en-
gel olur. Bu, özellikle elektrik akımını uzun bir yolculuk bekliyorsa
(örneğin omurilikten aşağı, kol veya bacak kaslarına) önemlidir.
Miyelin beyaz olduğundan, içine sarılı nöronlar “beyaz madde”
adını alır (beynin geri kalan “gri madde”sine karşılık). MS kısalt-
masıyla bilinen multipl skleroz hastalığına yakalananlar, beyaz

maddeyi saran miyelin kılıfı ilerleyen şekilde kaybettiklerinden, kol ve bacakları da işlevlerini kademeli olarak kaybeder. Ancak gri maddeyle yönlendirilen düşünme süreçleri etkilenmeden kalır.

- 18 Gerald Fischbach, "Mind and brain", *Scientific American*, cilt 267, sayı 3, (Eylül 1992), s 49.
- 19 Tim Berners-Lee, *Weaving the Web: The Past, Present and Future of the World Wide Web by its Inventor*.
- 20 Doris Lessing, *The Four-Gated City*.
- 21 George Johnson *In the Palaces of Memory: How We Build the Worlds Inside Our Heads*.
- 22 Marvin Minsky, *The Society of Mind*.
- 23 James Watson, *Discovering the Brain*.
- 24 George E. Pugh (Emerson Pugh'un oğlu) *The Biological Origin of Human Values*.

6. YÜZDE BİR MİLYARLIK AVANTAJ: İNSAN EVRİMİ

- 1 Bkz. 1. Bölüm, "Ben bir galaksiyim: Hücreler".
- 2 "Hominin" terimi, artık şempanzeleri de içine almaktadır.
- 3 Richard Dawkins, *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution* [*Ataların Hikayesi – Yaşamın Köklerine Yolculuk*, Çev. Ahmet Fethi, Hil Yayınları, 2008].
- 4 Bkz. 3. Bölüm, "Geleceğe geri geri yürümek: Evrim".
- 5 Bkz. 13. Bölüm, "Dünya'nın aurası: Atmosfer".
- 6 Tutu, bu değerlendirmesini başka sözlerle de sıklıkla dile getirmiştir. Bunlardan bir tanesi ise şöyle ifade edilmiştir: "Tutu, insanların bir araya gelmesiyle ırk ayrımı ve günahın paramparça olduğunu söyledi" (ABP news, 14 Eylül 2006, <http://tinyurl.com/nue9q6k>).
- 7 Bkz. 12. Bölüm, "İz bırakmayan başlangıç: Jeoloji"
- 8 Dünya bir topaç gibi yalpalayarak döndükçe, ekseninin eğimi her 41.000 yılda 22,1°'den 24,5°'ye ulaşır. Buna ek olarak yörüngesinin uzanımı da her 100.000 ve 400.000 yılda bir değişir. Bu değişimler topluca Milanković Döngüleri olarak anılır. Bkz. 13. Bölüm, "Dünya'nın aurası: Atmosfer".
- 9 Richard Leakey ve Roger Lewin, *Origins*.
- 10 Edward O. Wilson, *The Social Conquest of Earth* [*Yeryüzünün Sosyal Fethi*, Çev. Gül Tonak, Say Yayınları, 2013].

İKİNCİ KISIM: Maddeyi İşe Koşmak

7. GENETİK MÜHENDİSLİĞİNİN UZUN TARİHİ: UYGARLIK

- 1 Bkz. 10. Bölüm, “Zamanda yolculuğun icadı: Para”.
- 2 Günümüzün avcı-toplayıcı toplumları eşitlikçi görünmekle birlikte, çiftçiler tarafından uç koşulların hüküm sürdüğü yaşam alanlarına doğru itilmiş durumdadırlar. Eski avcı-toplayıcı toplumlar ise aksine, hayvan ve bitkilerin çok daha bol olduğu ortamlarda yaşamışlardı. Bu nedenle bu iki grubu birbirleriyle doğrudan karşılaştırmak mümkün olmayabilir.
- 3 Sigmund Freud, *Civilisation and Its Discontents* [*Uygarlığın Huzursuzluğu*, Çev. Haluk Barışcan, Metis Yayıncılık, 2000].
- 4 Steven Pinker, *The Better Angels of Our Nature: A History of Violence and Humanity*.
- 5 Pat Shipman, “Man’s Best Friends: How Animals Made Us Human”, *New Scientist*, 31 Mayıs 2011, s. 32.
- 6 Brüksel’deki Belçika Doğa Bilimleri Kraliyet Enstitüsü’nden Mietje Germonpré liderliğindeki bir ekibin, bir köpek kafatası fosili üzerinde yürüttüğü ayrıntılı bir incelemeye göre (*Journal of Archaeological Science*, cilt 36 (2009), s. 473).
- 7 Jared Diamond, *Guns, Germs and Steel* [*Tüfek, Mikrop ve Çelik*, Çev. Ülker İnce, TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları, 1. Basım 1997].
- 8 Mark Twain, *Following the Equator*.
- 9 Heather Kelly, “OMG, the text message turns 20”, CNN, 3 Aralık 2012, <http://tinyurl.com/cgoakdg>.

8. YAŞASIN ZITLARIN ÇEKİMİ: ELEKTRİK

- 1 Kuvvet de kütleçekim gibi ters-kare yasasına uygun olarak zayıflar. Başka ifadeyle kuvvet, örneğin iki cisim arasındaki uzaklık iki katına çıktığında dört kat, üç katına çıktığında dokuz kat zayıflar.
- 2 Ayrıntı vermek gerekirse, en hafif element olan hidrojenin atomundaki proton ile çevresinde dolanan elektron arasındaki elektrik kuvveti, ikisi arasındaki kütleçekim kuvvetinden 10.000 milyar milyar milyar milyar kez güçlüdür. Buna göre, kümülatif etki gösteren kütleçekimin atomlar arasındaki elektriksel itme kuvvetini yenebilmesi için 10.000 milyar milyar milyar milyar atomun bir araya toplanması gerekir. Bu da, kayadan yapılmış olması durumunda

600 kilometre, buzdan yapılmış olması durumunda da (sertliği bir kayanınkinden az olup kütleçekim etkisiyle daha çabuk parçalanacağı için) 400 kilometre genişliğinde bir cisme karşılık gelir. Bu eşiğin üzerine çıkıldığında kütleçekim elektrik kuvvetine üstün gelip, bir cismin tüm bileşenlerini mümkün olduğunca merkeze doğru çekerek bir küre oluşturabilir. Güneş Sistemi'nde eşiğin altında kalan tüm cisimlerin patates biçimli, daha büyük cisimlerin ise Dünya gibi küresel olmasının nedeni budur.

- 3 Atom çekirdeğindeki protonlar ile çekirdek çevresinde dolanan elektronlar birbirlerini böylesine büyük bir kuvvetle çekiyorsa, atomlar nasıl olup da “sıfır bedene” düşmezler? Düşmezler, çünkü maddenin temel yapıtaşları tuhaf bir dalga-benzeri özellik taşır. Dalgalar ise *yayılmıdır*. Elektronların ihtiyaç duydukları hareket alanı, çekirdeğe fazla yakın bir konuma sıkıştırılmaya karşı şiddetli bir direnç göstermelerine neden olur. Böyle bir kuantum etki olmasaydı, atomlar da var olamazdı (bkz. 1 ş. Bölüm, “Sihirsiz sihir: Kuantum kuramı”).
- 4 Sivrisineğin patlamasıyla serbest kalan enerjinin miktarı, sivrisineğin tüm elektronlarını çekip almak için gereken enerji miktarıyla aynıdır. Bunun nedeni, enerjinin yoktan var, vardan yok edilemeyeceğini ve ancak bir biçimden diğerine dönüştürülebileceğini söyleyen enerjinin korunumu yasasıdır.
- 5 Benjamin Franklin'in elektrikle ilgili olarak savunduğu “tek sıvı” modeline göre, bu sıvıyı eksik miktarda içeren nesneler eksi yüklü, sıvı fazlalığı olan nesneler de artı yüklü olmalıydı. Franklin tek sıvı konusunda haklı olsa da, geriye kalanlar konusunda değildi. Genel olarak, bu sıvı –yani elektrik– eksi yüklü elektronlardan oluşur. Bir cismi eksi yüklü yapan da elektronların eksikliği değil, *fazlalığıdır*. Ancak bu durum fark edilene kadar, elektrik akımı çoktan *artı yüklerin akışı* olarak tanımlanmıştı bile. Bu fikir öylesine yerleşmişti ki, kimse değiştirmeye yanaşmadı. Sonuçta tarihsel bir kazaya bağlı olarak elektrik akımı, elektronların akış yönünün tersi yönde hareket eder. Franklin bu arada “artı” (“pozitif”) ve “eksi” (“negatif”) terimlerini ilk kullanan kişi olmuştur. “Batarya” (“battery”) ve “iletken” (“conductor”) gibi başka elektrik terimlerinin isim babası da yine Franklin'dir.
- 6 Yüksek hızlı fotoğraf tekniği, her yıldırımında tek bir deşarj, yani yük boşalımı yerine, her biri yalnızca bir milisaniye sadır süren birçok deşarj gerçekleştiğini göstermektedir. Bunlardan “lider” olarak tanımlanan birincisi, aslında yerden yukarıya, buluta doğru

yönlendirilmiştir. Bunu, buluttan yere yönelen değişken deşarj süreçleri izler. Tüm bu deşarjlar insan gözüne, titreşimli de olsa tek bir yıldırım çakması gibi görünür.

- 7 Genel olarak, tek bir yıldırım 250 evi bir saat süreyle aydınlatmaya yetecek enerji içerir. Dünyanın çeşitli yerlerinde saniyede düşen 100 yıldırımın büyük bölümü tropiklerde görülür, çünkü yük dengesizliklerinin ortaya çıkışındaki ana etken, yukarı yönelmiş hava akımlarıdır. Yukarı yönelimli sıcak havaya en büyük miktarlarda sahip olan bölge ise, Güneş ısısından aslan payını kapmış olan Ekvator kuşağıdır.
- 8 Edison, parlak ışık verdiği halde parçalanmayan bir ampul teli maddesi bulmak için yüzlerce olası teli denemeye tabi tutmuştu. Yöntemini açıklarken kullandığı şu ifade çok iyi bilinir: “Başarısız olduğumu söyleyemem. İşe yaramayan 10.000 yol buldum.”
- 9 Gökğürültülü ve yıldırımlı bir fırtınada elektrik yüklerinin ayrılmasını sağlayan mekanizma, bir balonun naylon kazağa sürtülmesiyle devreye giren mekanizmaya çok benzer. Yukarı yönelimli şiddetli bir akışa kapılan havanın büyük bölümü yükselerek soğur ve buz kristalleri oluşturur. Çalkantılı havada birbirleriyle çarpışan kristaller arasındaki sürtünme, aralarında elektron alışverişine, bu da bir bulutla diğeri ya da bir bulutla yer arasında büyük bir yük dengesizliğine neden olur.
- 10 Eksi ve artı yüklerin eşit bir karışımından oluşmuş bir kağıt parçasının yüklü bir balonca çekilebilmesi ilk bakışta olanaksız görünebilir. Ama süreç şöyle işler: Diyelim ki balon eksi yüklü. Bu eksi yükler kağıt yüzeyindeki eksi yüklü elektronları iterek kağıdın giderek daha derinlerine yönelmelerine neden olacak ve böylece yüzey artı yüklü hale gelecektir. Balonun eksi yüküyle çekilen de, yüzeydeki bu artı yüküdür. Balon gibi yüklü bir cismin, kağıt gibi yüksüz bir cismin yüklerini ayırdığı, yani “kutuplaştırdığı” söylenir.
- 11 Günümüz kuantum tablosuna göre kuvvet alanları, kuvvet taşıyıcı parçacıkların sonucudur. Elektrik kuvveti ise –ışık fotonlarıyla yakından ilişkili– sanal fotonlar arasındaki yüklü parçacık alışverişinin bir sonucudur.
- 12 “Dört-beş yaşlarındayken, babam bana bir pusula gösterdiğinde ... harikulade bir şeyle karşı karşıya olduğumu anlamıştım,” demişti Einstein. “İğnenin kararlı ve inatçı hareket biçimi, hiçbir yönüyle alışageldiğimiz olgulara uymuyordu ... Olguların arkasında bir şeyler, derinlerde gizlenmiş bir şeyler var olmalıydı.”

- 13 Elektrik yükünün nasıl iki tipi varsa (artı ve eksi), manyetik yükün de iki tipi vardır: kuzey ve güney kutuplar. Ve yine benzer yüklerin birbirini itip zıt yüklerin çekmesi gibi, benzer kutuplar birbirini iter, zıt kutuplar da çeker. Ancak benzerlik bu kadarla kalır. Artı ve eksi yükleri yalıtık durumda elde etmek mümkün olduğu halde, kimse bugüne kadar yalıtık durumda bir kuzey kutbu ya da güney kutbu gözleyebilmiş değildir. Kuzey kutbu *her zaman* güney kutbuyla birlikte var olur.
- 14 Walter Elsasser, *Memoirs of a Physicist in the Atomic Age*'den.
- 15 Bu tel bir iletken olmak zorundadır. Bakır ya da gümüş gibi iletken malzemelerin atomları, gevşek biçimde bağlı elektronlar içerir. Bu elektronlar ayrılabilir ve bir elektrik alanı aracılığıyla malzeme boyunca yönlendirilebilirler.
- 16 *Monty Python* ekibinden Terry Jones'un dediği gibi, "Nükleer güç, su kaynatmak için hiç de akıllıca bir yol sayılmaz" (*New Scientist*, 18 Haziran 1987, s. 63).
- 17 Elektrik santralince üretilen elektrik alanının, santralden çıkarak şehri dolaştıktan sonra yine santrale dönen kablo boyunca uzandığını düşünün. Bu alan, kablo içinde yoğunlaşmış halde kalacak ve kablonun PVC gibi yalıtkan bir malzemeyle kaplanmış olmasından dolayı dışarı sızmayacaktır. Bu tür malzemeler, elektrik alanının itebileceği, kolayca ayrılabilir elektronlar içermediklerinden, elektrik alanının havaya sızıp enerjisini saçmasına engel olurlar.
- 18 Karşılaştırma yapacak olursak, tipik bir yıldırım ile yer arasındaki voltaj farkı *birkaç yüz milyon volt*ur.
- 19 Yıldırım değişken akımın ısıtma etkisini de ortaya koyar, çünkü tek bir yıldırım, yer ile bulut ya da bulut ile başka bir bulut arasında ileri geri gidip gelen çok sayıda akımın akışından oluşur.
- 20 Elektrik ve manyetik alanların aynı şeyin farklı yüzleri olduğunu fark eden Einstein, tüm elektriksel ve manyetik olguları *Maxwell'inkinden bile* özlü olan bir denklemler kümesine sığdırmayı başarmıştı.
- 21 Aslında elektrik, manyetizma ve ışık arasında bir bağlantı olabileceği, daha önce Michael Faraday tarafından düşünülmüştü. 13 Kasım 1845'te yazdığı bir mektupta (Georg W. A. Kahlbaum ve Francis V. Darbishire, ed., *The Letters of Faraday and Schoenbein*, 1836-1862, s. 148) şöyle diyordu Faraday: "Manyetizma ile ışık ve ayrıca elektrik ile ışık arasında doğrudan ilişki keşfetmiş bulunmaktayım. Bu keşifle birlikte açılacak olan alan çok büyük ve sanırım çok da zengin." Faraday'ın keşiflerinden biri de manyetik

alanın, bir ışık dalgasının titreşim, yani kutuplaşma düzlemini değiştirebildiği olmuştur. Bu olgu, günümüzde Faraday rotasyonu olarak bilinir.

- 22 Richard Feynman, *The Feynman Lectures on Physics* [Feynman'ın Fizik Dersleri], cilt ii, s. 1-11.
- 23 A.g.e., s. 1-10.
- 24 Bkz. 2. Bölüm, "Roket yakıtlı bebek: Solunum" ve 5. Bölüm, "Meraklı madde: Beyin".

9. PROGRAMLANABİLİR MADDE: BİLGİSAYARLAR

- 1 Bilgisayarların elbette olumsuz yönleri de vardır. İnsan-bilgisayar etkileşimi konusunda uzman olan Jef Raskin bunu şu sözlerle ifade eder: "Varsayın ki ayakkabılarınız, onları her zamanki gibi bağlamanız durumunda her Perşembe patlıyor. Bilgisayarlarla sürekli olarak başımıza gelen şey de bu ama yine de kimsenin aklına şikayet etmek gelmiyor." (Geoff Tibballs, *The Mammoth Book of Zingers, Quips, and One-Liners*).
- 2 Bilgisayar gücünün engel tanımadan tırmanmakta oluşundan yola çıkan kimi uzmanlar, günün birinde bir *evren* simülasyonunun da yapılabileceği öngörüsünde bulunuyor. Hatta felsefeci Nick Bostrom, bu tür simülasyonların ileri varlıklar tarafından muazzam sayılarla zaten gerçekleştirilmiş olabileceğini öne sürmektedir. Durum buysa, bizler de büyük olasılıkla bilgisayar üretimi Matrix-benzeri bir sanal gerçeklik içinde yaşamaktayız! (Nick Bostrom, "Are You Living In a Computer Simulation?", *Philosophical Quarterly*, cilt 53 (2003), s. 243-55).
- 3 Gerçek anlamıyla ilk çok-amaçlı bilgisayar, 1837'de İngiliz mühendis Charles Babbage tarafından kurgulanmış, ancak onun bu "analitik motoru", tasarımı mekanik çark ve dişlilerle gerçekleştirilenin hem zor hem de pahalı olması nedeniyle o hayattayken inşa edilememiştir. Babbage, proje üzerinde şair Lord Byron'un kızı ve Lovelace Kontesi Augusta Ada King ile çalışmıştı. Kontes, ilk programcı kabul edilmektedir. Bilgisayar programı Ada ise onun onuruna bu ismi almıştır.
- 4 Turing'in keşfettiği "hesaplanamazlık" ile matematikteki bir başka büyük keşif olan "karar verilemezlik" arasında derin bir bağlantı vardır. 1931'de Avusturyalı mantıkçı Kurt Gödel, ne "doğru" ne de "yanlış" olarak ispatlanabilen matematiksel ifadeler (teoremler)

olduğunu göstermişti. Bunlar, üzerinde karar verilemez teoremlerdi. Gödel'in karar verilemezlik teoremi (daha çok "eksiklik" ya da "tamamlanmamışlık" teoremi olarak bilinir), matematik tarihinin en ünlü ve şaşırtıcı sonuçlarından biridir. Bkz. *The Never-Ending Days of Being Dead* başlıklı kitabımın 6. Bölümü ("God's Number").

- 5 Fizikçiler doğayı da içinde yaşadıkları teknolojik dünya gibi görme eğilimindedir. Örneğin güç kaynağı olarak kömürün kullanıldığı on dokuzuncu yüzyıl endüstri dünyasında Güneş'i dev bir kömür parçası olarak düşünmüşlerdi. Günümüzde ise evrenin dev bir bilgisayar olduğunu ileri sürmektedirler. Tarihten aldığımız derslere bakılırsa yanılıyor olma olasılıkları yüksektir. Tıpkı daha önce olduğu gibi.
- 6 "Transistör, tıpkı üzerine ayağınızla bastığınız bir bahçe hortumu gibidir" benzetmesinin kaynağı, Queen Mary, Londra Üniversitesi'nden Paul Curzon, Peter McOwan ve Jonathan Black'in *Computer Science for Fun* dergisinde kaleme aldıkları bir yazıdır (<http://www.cs4fn.org>).
- 7 Bkz. 8. Bölüm, "Yaşasın Zıtların Çekimi: Elektrik".
- 8 Stan Augarten, *State of the Art: A Photographic History of the Integrated Circuit*.
- 9 Transistör, ABD, New Jersey'deki Bell Laboratuvarları'ndan üç fizikçi tarafından 1947'de icat edilmiştir. John Bardeen, Walter Brattain ve William Shockley, bu başarılarından dolayı 1956 Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır.
- 10 Entegre devrenin patenti 1959'da verilmiştir.
- 11 Gerçekte, ışıklandırılmış bölgeler, negatif fotorezist (ışık dirençli) malzeme kullanıldığında kalacak, pozitif fotorezist malzeme kullanıldığında ise eriyecektir.
- 12 Bkz. 15. Bölüm, "Sihirsiz sihir: Kuantum kuramı".
- 13 Gordon Moore, "Cramming More Components onto Integrated Circuits", *Electronics*, cilt 38 no. 8 (19 Nisan 1965).
- 14 Robert X. Cringely, teknoloji yazarı Mark Stephens da dahil olmak üzere, bir dönem basılı halde yayımlanan *InfoWorld* bilgisayar dergisindeki bir köşenin yazarlarının ortaklaşa kullandığı bir takma isimdir.
- 15 Seth Lloyd, "Ultimate physical limits to computation", *Nature*, cilt 406 no. 6799 (31 Ağustos 2000), s. 1047.
- 16 Bkz. 16. Bölüm, "Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik".

10. ZAMANDA YOLCULUĞUN İCADI: PARA

- 1 John Médaille, “Friends and Strangers: A Meditation on Money”,
Front Porch Republic, 20 Ocak 2012, <http://tinyurl.com/6q3pbsy>.

11. BÜYÜK DÖNÜŞÜM: KAPİTALİZM

- 1 *New York Times*’daki “The Great Divide” yazı dizisinde Joseph
 Stiglitz’in “Inequality is holding back the recovery” başlıklı yazısı,
New York Times, 19 Ocak 2013, <http://tinyurl.com/aqxj9ro>.
- 2 2008 mali krizinden önce ABD’de ve Avrupa’nın büyük çoğun-
 luğunda izlenen ekonomi politikaları yalnızca kuralsızlaştırmayı
 değil, kamu hizmetlerinin özelleştirilmesini ve düşük vergileri de
 içermekteydi. Siyasetçiler arasındaki yaygın kanı (Bill Clinton ve
 Tony Blair gibi merkez-sol eğilimli siyasetçiler arasında bile), eko-
 nomi tarihinde yeni bir döneme adım atıldığı ve büyük borçlar-
 la körüklenen bir ekonominin sürdürülebilir olduğu yolundaydı.
 Ama gerçekte körüklenen şey, bir finansal “balon”du ki bu balon
 da tarihteki birçok benzeri (on sekizinci yüzyıl başlarının Güney
 Denizi Balonu’ndan 1990’ların sonlarındaki dot-com balonuna ka-
 dar) gibi patlamaya mahkumdu. Bkz. John Gray, *False Dawn: The
 Delusions of Global Capitalism*. [Sahte Şafak, Çev. Gül Çağalı
 Güven, Om Yayınevi, 1999].
- 3 Yazarın Ja-Hoon Chang ile yaptığı telefon görüşmesinden.
 4 A.g.e.
- 5 Mark Buchanan, “Mandelbrot Beats Economics in Fathoming
 Markets”, Bloomberg, 5 Aralık 2011, <http://tinyurl.com/75n8ecb>.
- 6 Ronald Coase, “The Problem of Social Cost”, *Journal of Law and
 Economics*, Ekim 1960.
- 7 Nassim Taleb, *The Black Swan: The Impact of the Highly Im-
 probable* [Siyah Kuğu – Olasılıksız Görünenin Etkisi, Çev. Nazan
 Arıbaş, Varlık Yayınları, 2008].
- 8 Mark Buchanan, “Earthquakes and the Mind-Bending Laws of
 Markets”, Bloomberg, 18 Mart 2013, <http://tinyurl.com/coklmem>.
- 9 Karl Polanyi, *The Great Transformation* [Büyük Dönüşüm, Çev.
 Ayşe Buğra, İletişim Yayınları, 12. Baskı, Ekim 2014].
- 10 David Bollier, “Why Karl Polanyi still matters”, *Commons Maga-
 zine*, 24 Şubat 2009, <http://tinyurl.com/ctkkt8>.
- 11 Oscar Wilde, *The Picture of Dorian Gray* [Dorian Gray’in Portresi].

ÜÇÜNCÜ KISIM: Dünya İş Başında

12. İZ BIRAKMAYAN BAŞLANGIÇ: JEOLJİ

- 1 James Hutton, "Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe", *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, cilt 1 (1788), s. 209-304.
- 2 Tortul kayaçların çoğu göllerde değil, okyanuslarda oluşur. Ancak on sekizinci yüzyılın öncü jeologları, temeller bakımından yanılmamışlardır.
- 3 L. P. Hartley, *The Go-Between* [*Arabulucu*, Çev. Duygu Uğur, San-der Yayınları, 1972].
- 4 İlk transatlantik telgraf kablosu, 1866'da Isambard Kingdom Brunel'in gemisi *Great Eastern* ile döşenmişti. Kraliçe Victoria, bu başarıdaki katkılarından dolayı, daha sonraları Lord Kelvin olarak anılacak olan fizikçi William Thomson'ı şövalyelik nişanıyla onurlandırmıştı.
- 5 Güneş Sistemi'nin, soğuk bir yıldızlararası gaz ve toz bulutunun kütleçekim etkisiyle çöküp küçülmesi sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu bulut da tıpkı Samanyolu gibi dönmekteydi. Küçülme, bunun sonucu olarak merkezkaç kuvvetinin kütleçekimine karşı koyduğu orta kısım yerine, kutuplararası bölgede daha hızlı gerçekleşti. Sonuç, merkezinde Güneş'in olduğu, çevresinde de artık ve döküntü maddelerin bir disk halinde dolandığı yassı bir buluttu. Disk içindeki toz parçacıkları birbirine yapışarak daha büyük parçalar, bunlar da yine birbirine yapışarak boyutları giderek büyüyen parçalar oluşturdular. Bu sürecin sonucunda yaklaşık bir kilometre büyüklüğünde çok sayıda cisim ortaya çıktı. Dünya'nın da aralarında bulunduğu gezegenlerin kademeli biçimde gelişmesi ise, bu "gezegenimsilerin" birbirleriyle çarpışmalarının bir sonucuydu. Bu "kaynaşma" sürecinin son aşamalarına ait izleri, Ay'ın çarpışmalarla ortaya çıkmış dev havzalarında bulmak mümkündür.
- 6 Bkz. 13. Bölüm, "Dünya'nın aurası: Atmosfer".
- 7 Venüs'te levha tektoniği sürecinin neden işlemediği kesin olarak bilinmemektedir. Ancak, kıtasal kabuğu oluşturan granitin üretimi için su gerekmektedir. Dünya ile kıyaslandığında Güneş'e daha yakın olan Venüs'ün ise suyunu tarihinin erken aşamalarında kaybettği düşünülmektedir.
- 8 Louis Agassiz, *Geological Sketches*.

13. DÜNYA'NIN AURASI: ATMOSFER

- 1 Carl Sagan, "Wonder and Skepticism", *Skeptical Enquirer*, cilt 19 no. 1, Ocak-Şubat 1995.
- 2 Geç Dönem Ağır Bombardıman (Late Heavy Bombardment) sürecinin bıraktığı yaraları Ay yüzünde görmek mümkündür. Çarpan cisimlerin Ay kabuğunu delecek büyüklükte olması, derinlerdeki lavların yüzeye çıkıp "Ay denizleri" ya da *Mare* olarak bilinen havzaları oluşturmalarına yol açmıştır. Bombardımana neden olan etken ise, tahminlere göre Güneş Sistemi'nin dış kısımlarında bulunan çok sayıdaki buz kütesinin Güneş'e doğru savrulmasıdır. Olay akışı hâlâ tümüyle bilinmemektedir. Ancak akla uygun senaryolardan birine göre Jüpiter'in Kuiper Kuşağı (en dıştaki gezegen olan Neptün'ün dış kısımlarında dolanan ve Güneş Sistemi'nin oluşum sürecinden kalma buzlu molozlardan oluşmuş kuşak) ile olan etkileşimi, gezegenin Güneş'in dışına doğru göç etmesine neden olmuştu. Güneş'in çevresinde dolanma süresi Satürn'ünün tam olarak *yarısına* ulaştığında, iki gezegen Güneş'in aynı tarafında hizalanmış, kütleçekimleri de Güneş Sistemi'ndeki diğer cisimleri *birlikte çekmeye* başlamıştı. Bunun sonucunda Uranüs ve Neptün'ün yörüngeleri değişmiş ve yer değiştiren gezegenler Kuiper Kuşağı'nı da karıştırarak, içerdiği buzlu cisimleri büyük sayılarla Güneş Sistemi'nin içlerine doğru hareket etmeye zorlamıştı. Cisimler burada Dünya ve Ay da dahil olmak üzere gezegen ve uydularla şiddetli çarpışmalar yaşamışlardır.
- 3 Okyanusların dünya-dışı bir kökene sahip olduğu görüşünü destekleyen en iyi kanıtlar, Hartley 2 kuyruklu yıldızındaki su buzu üzerinde 2011'de yapılan gözlemlerden gelir. Sudaki, yani H_2O molekülündeki hidrojenin iki tipi vardır. Alışageldiğimiz "H" tipi ve ondan daha ağır olup çok daha ender bulunan "D" (döteryum) tipi (ya da "izotopu"). D_2O , genel olarak "ağır su" olarak bilinir. Hartley 2'den gelen kanıt, buzunda içerdiği ağır suyun normal suya oranının, Dünya okyanuslarındaki su için geçerli oranla aynı oluşudur (Nancy Atkinson, "Best Evidence Yet That Comets Delivered Water for Earth's Oceans", *Universe Today*, 5 Ekim 2011, <http://tinyurl.com/6zazxwj>).
- 4 Bkz. 2. Bölüm, "Roket yakıtlı bebek: Solunum".
- 5 Güneş'in ekvator bölgelerini kutup bölgelerinden daha fazla ısıtmasının ana nedeni, ekvatorda yerin neredeyse hemen üzerinde olduğu halde, kutuplardan bakıldığında oldukça aşağıda, ufuk

çizgisinin üzerinde kalmasıdır. (Hatta yılın bazı dönemlerinde ufuk çizgisinin bile *altında* ve gözden uzak kalır.) Bu durum, belirli miktardaki ısının kutuplara yakın bölgelerde, ekvatora kıyasla yer üzerinde çok daha geniş bir alana yayıldığı ve ısıtma etkisinin buna bağlı olarak azaldığı anlamına gelir.

- 6 John Tyndall, *In Forms of Water in Clouds and Rivers, Ice and Glaciers*.
- 7 Venüs'ün kendi ekseninde dönüşü, sabit yıldızlara göre 243 Dünya günü alır. Güneş'in çevresindeki her dönüşü de 225 gün sürdüğünden, Venüs'teki bir günün, bir yıldan *daha uzun* olduğu sonucu çıkabilir. Ancak gezegen, diğer gezegenlere (Uranüs hariç) göre *ters yönde* dönmektedir. Bu ters dönüş hareketi Güneş çevresindeki dolanma hareketiyle bir araya geldiğinde ise, bir Venüs gününün (gündoğumundan günbatımına kadar) süresi 117 Dünya günü olarak ortaya çıkar. Bir başka deyişle, bir Venüs yılı içinde 1,92 Venüs günü vardır.
- 8 Isının basitçe ekvatordan kutuplara iletilip, sıcak havanın böylece yanı başındaki soğuk havayı ısıtması, bu havanın da yine yanı başında yer alan daha da soğuk havayı ısıtması (ve bu şekilde ilerleyen süreç) beklentilerimize daha uygun olsa da, durum böyle değildir. Hava, ısı bakımından *kötü bir ileticidir* ve atmosfer gerekli ısıyı ekvatordan kutuplara yeterince hızlı biçimde taşıyamaz. Bu ancak havanın kütsel hareketi ya da "konveksiyonu" durumunda mümkün olur.
- 9 Bir uçak içinde yol alırken saatte 900 kilometre hızla gittiğimizi neden fark etmiyorsak, üzerinde yaşadığımız dünyanın hızla dönmekte olduğunu da aynı nedenle fark etmeyiz. Galileo'nun dört yüzyıl önce keşfetmiş olduğu gibi, sabit hızda hareket algılanamaz. Bu ise *hızımızın değişmesi* durumuyla belirgin bir tezat oluşturur, çünkü hız değişikliklerini hemen algılar ve sözelimi uçak pistte ivmelenirken koltuklarımıza yapışıp kalırız.
- 10 Yaygın olduğu kadar yanıltıcı da olan bir algımız, yerin *hareket etmediği* yönündedir. Bunun sonucu olarak fizikçiler de, ekvatordan kutuplara yol alan havanın sapmasını açıklamak için *Dünya'nın dönmediğini varsayarak* bir kuvvet icat etmişlerdir. Bu "Coriolis Kuvveti" gerçekte kurgusal olsa da hesaplamalar açısından elverişlidir.
- 11 "Enlem", yer yüzeyindeki herhangi bir noktanın ekvatora açısal uzaklığı olarak tanımlanır ve derece cinsinden ölçülür. Tanımı gereği, ekvator 0°, kutuplar da 90° enlemlerinde yer alır. Ekvatorun

- üst ve altında kalan yerleri birbirinden ayırmak için, bir bölgenin sözgelimi 34° *Kuzey* ya da 52° *Güney* enleminde yer aldığı söylenir.
- 12 Kuzey-güney yönelimli havanın Dünya'nın dönüşüne bağlı olarak en fazla sapma gösterdiği bölgelerin orta enlemler olmasının nedeni, sapmanın bağlı olduğu iki etkindir: Dünya yüzeyinin o enlemdaki dönüş hızı ve dönüşün değişim hızı. Kutuplara yakın bölgeleri ele alalım. Dünya'nın dönüş hızı hızlı bir değişim gösterse de, hızın kendisi küçük olduğundan *sapma da küçüktür*. Bunu tropik bölgelerle kıyaslarsak: Dünya'nın dönüş hızı bu bölgelerde büyük olduğu halde, hız yavaş değiştiğinden *sapma yine küçük olacaktır*. Ancak orta enlemlerde hem hız *hem de* hızın değişim hızı büyük olduğu için, yerden bakıldığında havadaki sapma belirgindir. Orta enlemlerdeki dolaşım bandının kararsız ve çalkantılı olmasının, kutup bantları ve tropik bantların görece düzenli küçük Hadley hücreleri gibi davranmalarının nedeni budur.
- 13 Bir gazın basıncı, sahip olduğu sayısız atomun gelişigüzel hareketinin sonucudur. Bu atomlar herhangi bir engele çarptıklarında, ona titreşimli bir kuvvet uygularlar. Bu, ortalamaya vurulduğunda o gazın basıncıdır. Gaz ne kadar yoğunsa, engele çarpan atomların sayısı ve sonuçta basınç da o kadar fazla olur. Gaz ne kadar sıcaksa çarpan atomların hızı da o kadar yüksek olur ve basınç yine artar. Sıcaklığı her yerde aynı olmayan atmosfer, buna bağlı olarak çalkalanıp durduğundan, basıncın bazı bölgelerde ortalamanın altında, bazı bölgelerde de üstünde olması kaçınılmazdır.
- 14 Robert T. Ryan, *The Atmosphere*.
- 15 Edward Lorenz'in, "Brezilya'daki bir kelebeğin kanat çırpışı, Teksas'ta bir kasırgaya neden olur mu?" başlıklı makalesi 29 Aralık 1979'da Amerika Bilimin İlerlemesi Birliği'nin 139. Yıllık Toplantısı'nda sunulmuştu (*The Essence of Chaos*, ek 1), s. 181.
- 16 Yaz mevsimindeki Güney yarımkürenin, yaz mevsimindeki Kuzey yarımküreye göre Güneş'ten daha fazla ısı alması nedeniyle, güneyde yazın, kuzeydekine kıyasla *daha sıcak* geçtiği düşünülebilir, ama şaşırtıcı olsa da durum böyle değildir. Güney yarımkürenin yaz mevsiminde Güneş'ten aldığı fazladan ısı, temelde atmosferin üst tabakalarını ısıtır, ancak bu ısı aşağıda kalan yüzeye ulaşmaz. Yüzeyde herhangi bir bölgedeki sıcaklık, yalnızca Güneş'in ısıtma etkisine değil, birçok etkenin (bulut miktarı, hava ve okyanus akımlarının bölgedeki ısı trafiğini hangi hızla gerçekleştirdikleri gibi) karmaşık etkileşimine bağlıdır.
- 17 Dünya gibi kendi eksenini çevresinde dönen cisimlerin uzaydaki

dönüş yönlerini inatla korumaları, genel bir özelliktir (mevsimlerdeki *düzenin* nedeni budur). Ancak uzun dönemler içinde Güneş, Ay ve gezegenlerin uyguladığı birleşik çekim etkisi, Dünya'nın bir topaç gibi yalpalayarak dönmesine neden olur. Bu yalpalama hareketi sonucunda Dünya'nın dönüş eksenini –dikeyle yaptığı 23,5°'lik açıyı koruyarak– dikey çevresinde 26.000 yılda bir dönüş gerçekleştirir. Şu anda Kuzey Kutbu'nun üzerinde (yani Dünya'nın dönüş ekseninin uzayın içlerine doğru uzandığı varsayımıyla, bu eksen doğrultusunda) gördüğümüz yıldız Polaris'tir. Ancak yalpalanma etkisine bağlı olarak, Piramitlerin inşa edildiği 5.000 yıl öncesinde Kutup Yıldızı konumundaki yıldız Polaris olmadığı gibi, bundan 5.000 yıl sonra da olmayacaktır. Polaris'in bugün bulunduğu konuma yeniden gelmesi için 26.000 yıl geçmesi gerekecektir.

- 18 Güneş'in manyetik alanı da Dünya'nınki gibi, derinlerde dolaşım halinde olan elektrik yüklü maddeler tarafından üretilir. Güneş, ekvator bölgesinde kutuplara kıyasla daha hızlı döndüğü için Güneş'ten çıkan manyetik alan bükülmüş durumda olup, içinde tuttuğu enerjiyi sonunda patlamalar halinde salar. Enerjinin biriktirilip salınmasından oluşan bir döngü, henüz tam olarak bilinmeyen bir nedenle yaklaşık 22 yıl sürer ve buna Güneş döngüsü adı verilir. Döngünün etkin döneminde Güneş yüzeyi çok sayıda Güneş lekesi ve şiddetli patlamalara sahne olur.
- 19 Morötesi, maddenin son derece yüksek sıcaklıkta yaydığı bir ışık tipidir. Güneş, morötesi ışığı parlamalar (birikmiş manyetik enerjinin serbest kalmasıyla uzaya fırlatılan madde fışkıyeleri) aracılığıyla üretir. Bunlar, sıcaklıkları rahatlıkla 10 ila 20 milyon °C'yi bulabilen oluşumlardır.
- 20 Bkz. 12. Bölüm, “İz bırakmayan başlangıç: Jeoloji”.
- 21 Güneş'in parlamasını sağlayan, en hafif element olan hidrojenin çekirdeklerinin, en hafif ikinci element olan helyumun çekirdekleriyle birleşmesidir. Güneş ışığı, bu nükleer tepkimenin bir yan ürünüdür. Hidrojenden daha ağır olan helyum, Güneş'in merkezine çöker ve burada kütleçekim etkisiyle sıkıştırılır. Bir bisiklet pompasındaki havayı sıkıştırmış olan herkesin bildiği gibi, sıkışan gazın sıcaklığı artar. Sonuç olarak Güneş de hidrojeni helyuma dönüştürdüğü çekirdeği –ve bunun sonucunda da tamamı– ısınır.
- 22 Güneş'in parlaklığı, Dünya'nın doğduğu sıralarda günümüze kıyasla yüzde 30 daha az idiyse, Dünya nasıl olup da kaskatı donmadı? Bu soru karşımızda hâlâ büyük bir bilmece olarak durmaktadır. “Solgun genç Güneş paradoksu” olarak bilinen bu problemin

olası yanıtlarından birine göre, yeni doğmuş olan Dünya, sera gazlarından oluşan yeterli kalınlıkta bir atmosferle sarılı olduğundan, bu gazların ısıtma etkisi Dünya'nın sonsuz bir buzul dönemine girmesini engellemiş olabilir.

- 23 Birçok gökbilim kitabı Dünya'nın, "kırmızı dev" aşamasına gelmiş ve neredeyse Mars'ın yörüngesine kadar şişmiş olan Güneş tarafından yutulacağını söyler. Ancak ABD'deki Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Juliana Sackmann liderliğindeki ekibin ile ri sürdüğü görüşe göre, Güneş Dünya'nın yörüngesine ulaşacak olsa bile, bu aşamaya geldiğinde Dünya zaten *orada olmayacaktır*. Bunun nedeni, kırmızı devlerin sahip oldukları materyali yıldız rüzgârları aracılığıyla çok büyük hızla kaybetmeleridir. Kütlesi azalmış bir Güneş'in Dünya'yı yakında tutmak için uygulayacağı kütleçekim etkisi de zayıflamış olacağından, Dünya kademeli olarak Güneş'ten uzaklaşacaktır. Güneş Dünya'nın şimdiki yörüngesine ulaştığında ise, şu an sahip olduğu kütlenin yalnızca yüzde 60'ıyla kalmış ve Dünya'nın Güneş'e uzaklığı da yüzde 70 artmış olacaktır. Sonuçta, gezegenimiz yutulmaktan kurtulacaktır. Ancak ABD, Baltimore'daki Uzay Teleskop Bilimi Enstitüsü'nden Mario Livio liderliğindeki bir ekip, bu duruma rakip bir etkinin varlığından söz etmektedir. Buna göre Dünya, çekim etkisine bağlı olarak Güneş üzerinde oluşturduğu tümseği, yörüngede dolanırken kendisiyle birlikte yer değiştirmeye zorlayacak ve bunun sonucunda bir yandan yavaşlayarak Güneş'e yaklaşırken bir yandan da Güneş'in dış katmanlarının dönüşünü hızlandıracaktır. Dünya'nın orbital enerjisini hangi hızla kaybedeceği, Güneş'in dış katmanlarının akışkanlığına bağlıdır ki bu da tam olarak bilinmemektedir. Sonuç olarak, hangi etkinin üstün geleceğini ya da Dünya'nın yutulup yutulmayacağını şu anda öngörmek mümkün değildir.

DÖRDÜNCÜ KISIM: İşleyişin Özü

14. HEPİMİZ BUHAR MAKİNESİYİZ: TERMODİNAMİK

- 1 Dünya'nın Güneş'ten herhangi bir net enerji kazanımına sahip olmadığı, aslında tam olarak doğru değildir, çünkü tutmuş olduğu az miktarda Güneş kaynaklı enerji vardır. Örneğin ısıyı atmosferde hapseden sera gazı karbondioksitin düzeyi artmakta ve bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ağaçlar da belirli oranda

Güneş enerjisi hapseder ve yıkılıp toprak altına gömüldükten milyonlarca yıl sonra bu enerji, kömürün oluşumuna katılır. Kömür bir anlamda hapsolmuş güneş ışığıdır. Kömürü yaktığımızda ise aslında geçmişin gün ışığını serbest bırakırız.

- 2 Peter Atkins, *Four Laws that Drive the Universe* [Evreni Yöneten Dört Yasa, Çev. Eser Bakdur, Alfa Yayınları, 2014].
- 3 Isı ve sıcaklık (yani bir cismin ne ölçüde sıcak olduğunun *derece ile* ifadesi) arasındaki farkı kibrit-kalorifer örneğiyle açıklamak mümkündür. Bir kibrit çok az ısı içerir ama sıcaklığı sizi yakacak kadar yüksektir. Bir kalorifer ise fazla miktarda ısı içermektedir ama sıcaklığı, ona rahatlıkla yaslanabilmenize olanak tanıyacak kadar düşüktür.
- 4 Atomlar karşılıklı olarak uyguladıkları elektromanyetik kuvvet etkisiyle bir araya gelerek molekülleri oluşturma eğilimindedir. Örneğin bir buhar molekülü, tek bir oksijen atomuna bağlı iki hidrojen atomundan oluşur (H_2O).
- 5 Gerçekte, buhar moleküllerinin hız kaybetmeleri, incelikli bir nedene dayanır. Piston hareket etmeseydi, buhar molekülleri de kusursuz lastik toplar gibi duvardan sekecek ve hiç hız kaybetmeyeceklerdi. Ancak piston moleküllerden *uzağa* hareket etmektedir. Yani bir molekül pistondan sektiğinde, pistona göre olan hızı, pistonun sabit olduğu duruma kıyasla daha az olacaktır.
- 6 Korunum yasaları, aslında derin simetrilerin dışavurumundan ibarettir. Bunlar dünyanın, belirli bir dönüşümün sonucunda aynı kalan özelliklerini yansıtır. Örneğin enerjinin korunumu yasası zaman-öteleme simetrisinin bir sonucudur; yani ister bugün ister önümüzdeki hafta yapılsın, bir deneyin hep aynı sonucu vereceği gerçeğinin bir sonucudur. Simetrinin fizik yasalarının dayanağını oluşturduğu görüşü Alman matematikçi Emmy Noether tarafından 1918’de ileri sürülmüş ve bilimdeki en kuvvetli görüşlerden biri olduğu kabul görmüştür. Bkz. 20 Bölüm, “Oyunun kuralları: Fizik yasaları”.
- 7 T_h sıcaklığındaki buhardan yararlanan ve T_c sıcaklığındaki artık ısıyı çevresine salan bir buhar motorunun verimi $1 - T_c/T_h$ ’dir (sıcaklık Kelvin cinsinden olmak üzere; bkz. aşağıdaki 10 numaralı not). Bu formül, on dokuzuncu yüzyıl Fransız mühendis Sadi Carnot tarafından keşfedilmiş olup, örneğin 373 Kelvin sıcaklıktaki buhardan yararlanıp 300 Kelvin sıcaklıktaki artık ısıyı çevresine salan bir buhar motorunun, buhar enerjisinin ancak yüzde 20 kadarını yararlı işe dönüştürebileceğini gösterir.

- 8 Sıcaklık ve entropi, yalnızca düzensiz mikroskopik hareketi açıkladığı için pistonu göz ardı edebiliriz. Piston düzenli kütle hareketi temsil eder.
- 9 Arthur Eddington, *The Nature of the Physical World*.
- 10 Fizikçiler sıcaklık için genelde Kelvin ölçeğinden yararlanır. Bu ölçek, mikroskopik hareketin yavaşlayarak sonunda durma noktasına geldiği sıcaklığı 0 Kelvin olarak tanımlar. Celsius (santigrat) ölçeğinde bu değer -273°C 'ye karşılık geldiğinden, suyun donma sıcaklığı olan 0°C , 273 Kelvin'e eşdeğerdir. Buna göre Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı da 300 Kelvin kadardır.
- 11 Güneş'ten Dünya üzerine düşen ışık, 5.778 Kelvin sıcaklıkla parlayan bir cisme özgü biçimde görünür ışıktır. Dünya'nın uzaya geri yaydığı ışık ise yaklaşık 300 Kelvin sıcaklıktaki bir cisme özgü biçimde, çıplak gözle görülemeyen uzak kızılötesi ışıktır.
- 12 Dünya Güneş'ten aldığı her 5.778 Kelvin'lik foton için uzaya yaklaşık yirmi 300 Kelvin'lik fotonu geri yayar. Öyle anlaşıyor ki, her foton yaklaşık olarak aynı entropiye sahiptir. Buna göre Dünya Güneş'ten aldığı entropinin yirmi katını uzaya ihraç eder. Bu fazladan düzensizlik, Dünya'da işleyen harikulade süreçler için evrenin ödediği bedeldir.
- 13 Evrendeki tüm faaliyetler yıldızlarla boş uzay arasındaki sıcaklık farkından kaynaklandığından, akla gelen bariz soru şu olacaktır: Bu sıcaklık farkını ortaya çıkaran etken nedir? Yanıt kütleçekimdir. Büyük Patlama'dan kısa süre sonra evrendeki madde homojen biçimde yayılmış ve her yerde aynı sıcaklığı korumuş durumdaydı. Ancak ortalamadan biraz daha yoğun, bu nedenle kütleçekimleri de biraz daha fazla olan bölgeler, daha çok madde çeker hale geldiler. Bunun sonucu, maddenin yoğun topaklar halinde sıkıştırılması oldu. Sıkışan madde ısındığı için kütleçekim, sonuçta cansız ve tekbiçimli bir evreni, topaklar halindeki sıcak cisimlerle –yıldızlarla– dolu bir evrene dönüştürmüştü.
- 14 Entropi, bir sistem hakkındaki *bilgi eksikliğimizle*, yani bilgisizliğimizle ilintili bir kavramdır. Sözelimi, düzensiz buhardaki enerji söz konusu olduğunda, buhardaki sayısız molekülden hangilerinin hareket enerjisine sahip olduğunu bilmek olanaksızdır. Dolayısıyla yüksek entropi, bilgisizlik derecesinin de yüksekliği anlamına gelir. Ancak piston hareket halindeyse, hareket enerjisinin nerede olduğu da barizdir: pistonun kendisi. Bu nedenle düşük entropi de, bilgisizlik düzeyinin düşük olmasıyla eşanlamlıdır.
- 15 Howard Resnikoff, *The Illusion of Reality*.

- 16 Gizemli karanlık enerjinin itici kütleçekim etkisinin bir sonucu olarak evrenin genişlemesinin hızlanmakta olduğunu 1998’den beri biliyoruz. Dolayısıyla maddenin kaderi, aşırı genişlemeyle yok olma noktasına gelene kadar seyrelmek olabilir. Sonuç olarak evren *tahmin edilenden de daha sıkıcı* bir yer haline gelebilir.

15. SİHİRSİZ SİHİR: KUANTUM KURAMI

- 1 Bkz. 18. Bölüm, “Çok küçük şeylerin gümbürtüsü: Atomlar”.
- 2 Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy [Fizik ve Felsefe – Olasılık’tan Determinizme Doğru]*, Çev. M. Yılmaz Öner, Belge Yayınları, 2000].
- 3 Werner Heisenberg, *Quantum Theory*.
- 4 Bu noktada, uzay-zaman ile ilginç bir paralellik söz konusudur. 4-boyutlu uzay-zaman, bizim gibi 3-boyutlu canlılar için algılanamazdır. Bizler uzay-zamanın ancak farklı yüzlerini –uzayı ve zamanı– deneyimleyebiliriz (Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”). Aynı şekilde ışığın da ancak parçacık-benzeri ve dalga-benzeri yönlerini algılayabiliriz.
- 5 Evren temelde öngörülemez olsaydı, evrenin kendisi de olmazdı – en azından varoluşumuz için gerekli olan karmaşıklığa sahip bir evren. Bunun nedeni, kozmolojinin “şişme” olarak bilinen standart resmine göre evrenin, neredeyse hiç bilgi içermeyecek kadar küçük halde işe başlamasıydı. Evrenin günümüzdeki bilgi içeriği ise çok büyüktür. Bunu anlamak için evrendeki her bir atomun tipi ve yerini tanımlamak için gereken bilgiyi düşünmek yeterli olacaktır. Bu kadar bilginin nereden geldiği sorusunun yanıtını ise kuantum kuramında aramak gerekir, çünkü bu kapsamda rassallık ile bilgi eşanlımlıdır. Büyük Patlama’dan sonraki her kuantum olay (radyoaktif bir atomun bozunması gibi) rastlantı sonucu gelişmiş ve evrene bilgi/karmaşıklık aşılamıştır. Einstein bu nedenle, “Tanrı evrenle zar oynamaz,” sözleriyle yanılmıştır. Tanrı zar atmamış olsaydı, evren diye bir şey de olmayacaktı – en azından içinde kayda değer bir şeylerin gerçekleştiği bir evren. Bkz. *We Need to Talk about Kelvin* adlı kitabımın 10. Bölüm’ü “Random Reality”.
- 6 Teknik olarak, atomu belirli bir konumda bulma olasılığı, o konumdaki kuantum dalgasının genliğinin karesi ya da dalga fonksiyonuyla belirlenir.
- 7 Twitter takipçilerimden @Katharine_T29m şöyle yazmış: “Bu

durum, aile toplantılarında Thomson ailesinin geri kalanını epeyce eğlendirmiş olsa gerek: ‘Parçacıktır! Değildir! Parçacıktır . . . !’ ”.

- 8 Asıl şaşırtıcı olan şudur ki, Davisson, Germer ve Thomson elektronları kristal düzlem üzerine *tek tek ve birer saat arayla* ateşlemiş olsalardı bile, zaman içinde yine tıpatıp aynı hareket örüntüsünü, yani elektronların *yöneldiği* doğrultular ile *hiçbir zaman yönelmedikleri* doğrultuların peş peşe dizildiği bir düzenlenmeyi görecektlerdi. Öyleyse örüntüyü oluşturan, *farklı* elektronların kuantum dalgaları arasındaki girişim değil, tek bir elektronun kuantum dalgaları arasındaki girişimdir. Her elektron, aynı anda tüm yönlere hareket etmesine karşılık gelen bir süperpozisyon konumundadır ve birbirleri ile girişim halinde olan da, bu süperpozisyonun içerdiği bireysel dalgalardır. Kuantum kuramı gerçekten de akıllamaz bir kuramdır.
- 9 Spin $1/2$, teknik olarak elektronun $1/2 \times (h/2 \cdot \pi)$ spin değerine sahip olduğunu gösterir. Burada h , Planck sabitidir.
- 10 Tarih başka türlü ilerlemiş olsaydı, en küçük spin değerine sahip parçacık “1” spin birimine, elektrik yükü en az olan parçacıklar da “1” yük birimine sahip olacaktı. Ancak bu konudaki gelişmeler, elektronun $1/2$ spin değerine, kuarkların da $1/3$ ve $2/3$ yük değerlerine sahip kabul edilmesine neden olmuştur.
- 11 Bkz. 8. Bölüm, “Yaşasın Zıtların Çekimi: Elektrik”.
- 12 Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”.
- 13 Bkz. 8. Bölüm, “Yaşasın Zıtların Çekimi: Elektrik”.
- 14 Louis de Broglie’nin 1923’te tahmin ettiği gibi, bir parçacığın dalga boyu, momentumu ile ters orantılıdır ve $(h/2 \cdot \pi) / p$ ile ifade edilir. p momentumu temsil eder.
- 15 Bir elektron dalgasının sıkıştırılmaya gösterdiği direnç, “elektron yozlaşma basıncı” olarak bilinen bir kuvvete yol açar. 5 milyar yılın sonunda Güneş ısı deposunu tükettiğinde kütleçekim üstün hale gelecek ve Güneş’i Dünya’nın boyutlarına çekecektir. Güneş’in bundan daha fazla çökmesini engelleyecek olan kuvvet ise bu elektron yozlaşma basıncıdır. Parçacık perspektifinden bakıldığında (ki bu da dalga perspektifinden daha karmaşıktır) kuvvetin Heisenberg Belirsizlik İlkesi’nden kaynaklandığı söylenir. Bu ilkeye göre, içinde hapsediği hacim küçüldükçe, parçacığın momentumu artar. Bunu daha iyi anlamak için içinde bulunduğu kutu küçüldükçe daha büyük öfkeyle vızıldayan bir arıyı gözünüzün önüne getirebilirsiniz.
- 16 Bkz. 18. Bölüm, “Çok küçük şeylerin gümbürtüsü: Atomlar”.

- 17 Twitter takipçilerimden @MrDFJBaileyEsq şöyle yazmış: “Eh, ben de zaten ‘bardak % 0,00000000000001 dolu’ bakış açısına sahip bir insan sayılırım.”
- 18 Aslında bir gezegenin Güneş Sistemi içinde herhangi bir yerde yörüngede dolanabileceği ifadesi tam olarak doğru değildir. Örneğin Mars ile dev gezegen Jüpiter’in yörüngeleri arasında yalnızca kaya parçaları, yani asteroitler bulunur. Bölgede tam gelişkin bir gezegenin oluşması, Jüpiter’in güçlü kütleçekiminin yıkıcı etkisi tarafından engellenmiştir.
- 19 Elektron spini, dalgalılık ve ayırt edilemezlik olgularının Pauli Dışlama İlkesi’ni nasıl ortaya çıkardığı ile ilgili ayrıntılar, *We Need to Talk About Kelvin* başlıklı kitabımın 3. Bölümü’nde (“No More than Two Peas in a Pod at a Time”) açıklanmaktadır.

16. YAVAŞLIĞIN KEŞFİ: ÖZEL GÖRELİLİK

- 1 Görelilik, size göre hareket eden birinin hareket doğrultusunda küçüleceğini öngörse de, göreceğiniz şey tam olarak bu değildir, çünkü devrede olan bir etki daha vardır. Işık, kişinin size göre daha uzak olan vücut parçalarından, yakın olanlarına kıyasla daha uzun sürede size ulaşacaktır. Bu durum o kişinin dönmekte olduğu gibi bir etki yaratır. Sonuçta yüzü size dönükse, başının arka kısmının bir bölümünü de görürsünüz. Bu tuhaf etki, “görelî sapma” ya da “görelî ışıma” olarak anılır.
- 2 Muonların parçalanması, yani bozunması, öngörülemez ve rassal bir süreçtir. Ancak fizikçiler bu parçacıkların “yarı-ömründen” söz eder. Bir yarı-ömür döneminden sonra geriye muonların yarısı kalır. İki yarı-ömür döneminden sonra, onun da yarısı, yani bir çeyreği; üç yarı ömürden sonra, sekizde biri vs. kalır.
- 3 Bu senaryoyu hayal etmek o kadar da güç değildir. Ortalarında durmakta olan birinin gözünden aynı anda ateşlenmiş görünen iki havai fişek düşünün. İkisini arka arkaya gören bir başka kişinin gözünden baktığınızda, daha uzak olan patlamanın ışığı o kişiye daha geç ulaşacak, dolayısıyla da iki farklı zamanda iki farklı olay gözleyecektir.
- 4 Bkz. 18. Bölüm, “Çok küçük şeylerin gümbürtüsü: Atomlar”.
- 5 İngiliz fizikçi Peter Higgs ve beş başka fizikçinin 1964’te ileri sürdüğü görüşe göre, elektron gibi temel parçacıkların kütleleri içsel değil, *dışsaldır*. Bu kütleyi, tüm uzaya yayılmış durumdaki Higgs

alanıyla etkileşimleri sayesinde kazanmışlardır. Higgs alanı, atom-altı parçacıkların geçişini engelleyen görünmez bir kozmik pekmez gibidir. Kütle olarak kabul ettiğimiz şey ise aslında harekete olan dirençtir. İçi dolu bir buzdolabını iterseniz direnç gösterir. Higgs resmine göre bunun nedeni, buzdolabını kozmik pekmez içinden itmeye çalışmanızdır. Elektron, nasıl elektrik alanının kuantumuy-
sa Higgs parçacığı da Higgs alanının kuantumudur.

- 6 Teknik olarak, tüm gözlemciler için aynı olan uzay-zaman aralığı $\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2)}$ ile ifade edilir. x, y, z olaylar arasındaki uzamsal aralıktır.

17. KÜTLEÇEKİMİN SESİ: GENEL GÖRELİLİK

- 1 Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”.
- 2 Bir cismin ivmesinin 9,8 metre bölü saniye bölü saniye olması, her saniyede 9,8 metre bölü saniye hızlanması anlamına gelir.
- 3 James Chin-Wen Chou ve diğerleri, “Optical Clocks and Relativity”, *Science*, 24 Eylül 2010, cilt 329, s. 1630.
- 4 Kara delik, kütleçekimin muazzam bir güce sahip olduğu ve bu nedenle ışık dahil hiçbir şeyin kaçamadığı bir uzay-zaman bölgesidir. Bu bölge, çok büyük kütleli bir yıldızın, ömrünün sonuna ulaşır merkezinin de kendi kütleçekim etkisi altında katastrofik bir çöküş yaşamasıyla ortaya çıkar. Bkz. 22. Bölüm, “Evrenin efendileri: Kara delikler”.
- 5 Fotonlar içsel bir kütleye (dinlenme kütlesine) sahip değildir. Etkin kütleleri, tümüyle enerjilerinin ya da momentumlarının bir sonucudur.
- 6 Kütleçekimin ivmeyle tıpatıp aynı olmaması, genel göreliliğin temelini zayıflatır görünse de, kütleçekim ve ivme *yerel olarak*, yani yeterince küçük bir uzamsal bölge içinde her zaman birbirinden ayırt edilemezdir. Bu durum ise Einstein’ın kütleçekim kuramını inşa etmek için yeterince sağlam bir temel sağlamaktadır.
- 7 Tam Güneş tutulmaları son derece ilginç bir tesadüfün sonucudur. Güneş bize Ay’dan 400 kat daha uzakta olmanın yanında, Ay’dan 400 kat daha büyüktür. Bunun sonucunda Güneş ve Ay, bize gökyüzünde aynı büyüklükte görünürler. Ay, Dünya’dan yılda 4 santimetre uzaklaşmaktadır. Bu durumda, tam Güneş tutulmaları bundan 100 milyon yıl önce dinozorların hüküm sürdüğü dönemlerde nasıl gerçekleşmediyse, 100 milyon yıl sonra yine gerçekleşmez

olacaktır.

- 8 Einstein'ın alan denklemleri (1915) şöyledir: $G^{mn} = - (8\pi G/c^2) T^{mn}$. Sözcüğe döküldüğünde uzay-zamanın eğriliği ya da geometrisinin (G^{mn}) madde ve enerji tarafından oluşturulduğunu söyler bu denklemler. Üst-simgelerden her biri, uzay-zamanın 4 koordinatından 1 tanesini temsil ettiğinden, aslında $4 \times 4 = 16$ denklem vardır; ancak bir kısmı tekrarlandığından, sayı 10'a düşer. Bu yine de Newton'un kütleçekim yasasının gerektirdiği sayının 10 kat fazlasıdır.
- 9 Newton'a göre kütleçekim, *tüm* cisimler arasında var olan bir çekim kuvvetidir. Dolayısıyla yalnızca Güneş ve Dünya arasında değil, sizinle yanınızdaki kişi ya da sizinle cebinizdeki bozukluklar arasında da bir kuvvetin varlığı söz konusudur. Bu kuvvet son derece zayıf olsa da kütleyle birlikte büyür. Bu nedenle sokakta yürürken karşılaşan insanlar birbirlerine kenetlenmediği halde, Güneş Dünya'yı kendine bağlayabilir. Kuvvet karşılıklıdır. Siz Dünya'ya ne kadar kütleçekim kuvveti uygularsanız, Dünya da sizin üzerinize o kadar kuvvet uygular. Sizin bu kuvvetten Dünya'ya kıyasla daha fazla etkilenmenizin nedeni ise, daha küçük ve daha kolay hareket ettirilebilir olmanızdır (BBC4 komedi-bilim dizisi *It's Only a Theory*'nin pilot bölümünde İngiliz komedi yazarı Andy Hamilton, sorduğu şu soruyla aslında derin bir gerçeğin altını çizmekteydi(!): "İri kadınlar beni çektiği halde, benim onları çekmememin nedeni de bu olabilir mi?").
- 10 Açmak gerekirse, bir başka cismin uyguladığı ters-kare kuvvetinin etkisi altında hareket eden bir cisim, konik bir kesitin (elips, parabol ya da hiperbol) çevresi boyunca yol alır. Cismin enerjisi, onu kütleçekimsel sınırlarından kurtarmaya yetecek büyüklükte değilse çizeceği yörünge bir elips, yeterli büyüklükteyse bir hiperbol, eğer hapsolmekle sonsuzluğa kaçmak arasındaki ince sınırdı bocalamaktaysa bir parabol olacaktır.
- 11 Işık tayfı, ışığın, içeriğindeki renk bileşenlerine ayrılmasıyla, yani yayılmasıyla ortaya çıkar. Sadece bir avuç gökkuşağı rengine duyarlı olan görme becerimiz, son yarım yüzyılda, yapay yöntemler sayesinde, elektromanyetik tayfın –gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar– bir milyar yeni rengini görebilecek kadar gelişti. Bkz. 8. Bölüm, "Yaşasın Zıtların Çekimi: Elektrik".
- 12 Nötron yıldızları, süpernova patlamalarının süper-yoğun kalıntılarıdır. Çelişkili biçimde, ömrünün sonuna gelmiş büyük kütleli bir yıldız, dış katmanlarını patlamayla uzaya salarken, merkezi

de *içe patlar*. Bir nötron yıldızının kütlesi, Everest Tepesi hacmine sıkıştırılmış bir Güneş kütlesi kadardır. Sonuç olarak, bir küp şekere sığdırılmış nötron yıldızı maddesinin ağırlığı da, yaklaşık tüm insanların toplam ağırlığına karşılık gelir. Bkz. 18. Bölüm, “Çok küçük şeylerin gümbürtüsü: Atomlar”.

- 13 Bkz. 22. Bölüm, “Evrenin efendileri: Kara delikler”.
- 14 Az miktarda nötrino, Güneş’in ötesinde de saptanabilmiştir. Muhtemelen süpernova patlamalarıyla uzaya püskürtülmüş kozmik ışınlar, yani atom çekirdekleri de. Ancak evren hakkında bildiğimiz her şeyin kaynağı, temelde teleskoplarımız aracılığıyla algılayabildiğimiz ışıktır.

18. ÇOK KÜÇÜK ŞEYLERİN GÜMBÜRTÜSÜ: ATOMLAR

- 1 Richard Feynman, *The Feynman Lectures on Physics* [Feynman’ın Fizik Dersleri], cilt 1.
- 2 Dünya’nın özünde basit olduğu fikri, Newton’dan bu yana fiziği perde arkasından yönlendirmiş güçlü bir fikirdir. Kimse bu fikrin neden doğru olduğunu bilmesede, doğanın giderek daha derin ve daha basit yasalarını ortaya çıkarmadaki başarısı konusunda kuşku yoktur.
- 3 Atomlar tek halde ancak 1980’de *doğrudan* gözlenebilmiştir. İsviçre’nin Zürih kentindeki IBM Araştırma Laboratuvarı’ndan Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer’in icat ettiği Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunnelling Microscope – STM), bir malzemenin yüzeyinde gezdirilen çok ince bir iğnenin aşağı-yukarı hareketlerini algılayabilir. Parmağını karşısındaki bir insanın yüzünde gezdirerek onun resmini oluşturmaya çalışan görme-engelli bir insanın yaptığı gibi, Binnig ve Rohrer de STM’nin yardımıyla atom resmini görmeyi başarmışlardı. Atomlar, Demokritos’un 2.000 yıldan da uzun süre önce hayal ettiği gibi kutulara istiflenmiş portakalları, küçücük futbol topalarını andırıyorlardı. Binnig ve Rohrer, STM’yi icatlarından dolayı 1986 Nobel Fizik Ödülü’nü kazandı.
- 4 Bkz. 14. Bölüm, “Hepimiz buhar makinesiyiz: Termodinamik”.
- 5 James Clerk Maxwell, “On the Motions and Collisions of Perfectly Elastic Spheres”, *Philosophical Magazine*, Ocak ve Temmuz 1860.
- 6 Tom Stoppard, *Hapgood*.

- 7 Tek bir nötrinin bir atom tarafından durdurulması çok zor olsa da, yollarını *çok sayıda atomla* keserek bu ele geçmez parçacıkları algılamak mümkündür. Japonya’da bir dağın derinlerine yerleştirilmiş olan Süper-Kamiokande dedektörü, 50.000 ton ultra-saf suyla doldurulmuş 14 katlı bir “konserve kutusu”dur. Zaman zaman, bir nötrinin su molekülü içindeki bir protonla etkileşime girmesi sonucu oluşan atom-altı şarapnel, suyun içinden dışarı doğru hızla yol alarak ses patlamasına eşdeğer bir ışık yaratır. Artık nükleer yakıt içeren havuzlar için tipik olan bu mavi “Cherenkov ışığı”, “konserve kutusunun” iç kısmını döşeyen ışık dedektörleri tarafından algılanır. Süper-Kamiokande dedektörü, bilim tarihindeki en ilginç görüntülerden birini sunmuştur bizlere. Bu, Güneş’in görüntüsüdür. Gece alınan bu görüntü gözyüzüne değil, 12.760 kilometrelik kaya katmanlarının içinden Dünya’nın diğer yüzüne bakarak elde edilmiştir ve ışıkla değil, nötrinolarla. <http://tinyurl.com/ao4wdny>.
- 8 Nötrinoların Güneş’ten çıkmaları yalnızca 2 saniye, uzayda yol alıp Dünya’ya ulaşmaları da bunun üzerine bir 8,5 dakika daha gerektirdiği halde, güneş ışığının Güneş’ten çıkması için 30.000 yıl geçmesi gerekir. Bunun sonucunda, günümüzde gözlediğimiz güneş ışığı 30.000 yaşında olup, son buzul döneminin zirvesinde üretilmiştir.
- 9 Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”.
- 10 Bkz. 15. Bölüm, “Sihirsiz sihir: Kuantum kuramı”.
- 11 Teknik olarak Pauli Dışlama İlkesi, elektron gibi parçacıkların (1) ayırt edilemez oluşları, (2) dalga davranışı göstermeleri ve (3) fermiyon davranışı göstermeleri (ki bu da teknik açıdan yarım-tamsayı spine sahip oldukları anlamına gelir) gerçeğinin bir sonucudur. Bkz. 15. Bölüm, “Sihirsiz sihir: Kuantum kuramı”.
- 12 “Steril” tipte olmaları koşuluyla, daha fazla sayıda nötrino bulunması mümkündür. Normal nötrinolar, “antisosyal” özellikte olmalarına karşın doğadaki zayıf çekirdek kuvveti sayesinde normal maddeyle çok ender de olsa etkileşim kurabilirler. Steril nötrinolar bu kadarını bile yapmaz; normal maddeyle ancak ve ancak kütleçekim kuvveti aracılığıyla etkileşime girebilirler.
- 13 Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”.
- 14 Bkz. 17. Bölüm, “Kütleçekimin sesi: Genel görelilik”.
- 15 Teknik olarak, fermiyonların spin kuantum sayısı yarım-tamsayı, bozonlarındaki de tamsayıdır. Bu durumun sonucu olarak fermiyonlar Pauli Dışlama İlkesi’ne uygun hareket ederken, yani son derece

“çekingen” davranırken, bozonlar da ilkeyi görmezden gelir, yani son derece “girişken” davranırlar. Bkz. *We Need to Talk About Kelvin* adlı kitabımın 3. Bölüm’ü (“No More than Two Peas in a Pod at a Time”).

- 16 Bkz. 21. Bölüm, “Dünü olmayan gün: Kozmoloji”.
- 17 Murray Gell-Mann, “What Is Complexity?”, *Complexity*, cilt 1 no. 1, 1995.
- 18 Bkz. “Random Reality”, *We Need to Talk About Kelvin* başlıklı kitabımın 10. Bölümü.
- 19 Forest Ray Moulton (ed.), *The Cell and the Protoplasm*, s. 18.

19. ŞU AN GİBİSİ YOK: ZAMAN

- 1 Douglas Adams, *The Hitchhiker’s Guide to the Galaxy* [*Otostopçunun Galaksi Rehberi*, Çev. Nil Alt, Kabalcı Yayınevi, 2010].
- 2 “Son saçılma yüzeyi”, Büyük Patlama ateş topunun, çekirdek ve elektronların bir araya gelerek atomları oluşturmalarını mümkün kılacak kadar soğuduğu noktayı temsil eder. Serbest elektronlar ışığı saçma, yani yönünü değiştirme konusunda başarılı olsalar da, atomun yapısındaki elektronlar öyle değildir. Buna bağlı olarak evren, son saçılma döneminden önce ışık geçirmeyen bir sis halindeydi. Son saçılmadan sonra ise, ışığın engelle karşılaşmaksızın düz doğrular üzerinde yol alabilmesi, evreni saydamlılaştırdı. Günümüzde bu dönemden gelen ışığı kozmik arkaplan ışıınının da görmek mümkündür. Bkz. 21. Bölüm, “Dünü olmayan gün: Kozmoloji”.
- 3 Evren, uzamın zamana dönüştüğü yerse, müzeler de, aksine “Zaman’ın Uzam’a dönüştüğü yerlerdir” (Orhan Pamuk, *Masumiyet Müzesi*).
- 4 Bkz. 16. Bölüm, “Yavaşlığın keşfi: Özel görelilik”.
- 5 Bkz. 17. Bölüm, “Kütleçekimin sesi: Genel görelilik”.
- 6 Charles Misner, Kip Thorne ve John Wheeler, *Gravitation*, s. 937.
- 7 Bkz. 14. Bölüm, “Hepimiz buhar makinesiyiz: Termodinamik”.
- 8 Termodinamiğin ikinci yasası tüm inceliklerine karşın özünde bir totolojidir. New York’taki Clarkson Üniversitesi’nden Larry Schulman’ın işaret ettiği gibi, aslında tek söylediği şey, “daha muhtemel şeylerin gerçekleşmelerinin daha muhtemel olduğu”dur.
- 9 Bir cismin bileşenlerinin, yine o cismi yapmak üzere kaç şekilde

bir araya geleceği (teknik olarak, bir makro-duruma karşılık gelen mikro-durumların sayısı), fizikte W simgesiyle gösterilir. Entropi (S) ise $S = k \log W$ ile ifade edilir. Burada k , Boltzmann sabitidir. Termodinamiğin ikinci yasasının belirleyici ifadesi olan bu denklem, fiziğin tümü içinde ortaya çıkmış en güzel ve güçlü denklemlerden biri olup, Boltzmann'ın Viyana'daki mezar taşına da yazılmıştır.

10 Düzenlilik derecesi yüksek olan bir durumun, *gerçekleşme ihtimali düşük* bir durum anlamına gelmesi, fizikçileri epeyce huzursuz etmiştir. Larry Schulman'a göre evrenin erken dönemlerinde neden yüksek derecede düzenliliğe sahip olduğu sorusunun yanıtını "son saçılma dönemi"nde aramak gerekir. Evrenin doğumundan yaklaşık 370.000 yıl sonrasına karşılık gelen bu dönemde Büyük Patlama'nın ateş topu, atom çekirdeklerinin ve elektronların ilk atomları oluşturmak üzere birleşmelerine olanak tanıyacak ölçüde soğumuş durumdaydı. Serbest elektronlar fotonlarla güçlü bir etkileşime girerken atomlara hapsolmuş elektronların girmemesi, bu noktada önem taşır. Büyük Patlama ateş topunda her elektron için 10 milyar kadar foton olduğuna bakılırsa madde, evren 379.000 yaşına gelmeden önce, kütleçekim tarafından sıkıştırılmaya fırsat kalmadan parçalanarak dağılmıştı. Ancak sonraları kütleçekim etkisi daha fazla engellenmesi olanaksız hale geldi. Anahtar, kütleçekimdi. Soğumakta olan ateş topunun maddesi uzay boyunca son derece düzgün biçimde dağılmıştı. Ancak kütleçekimin yokluğunda en büyük olasılığı taşıyan –düzensiz– durum, kütleçekimin varlığında gerçekleşme olasılığı en düşük –düzenli– durum haline gelecektir (Günümüz evrenindeki galaksiler ve yıldızlardan da anlaşılabilir gibi, kütleçekimin varlığında madde için en olası durum, kümelenmelerle temsil edilir). Sonuçta evrendeki maddenin dağılımı son saçılma döneminde değişmemiş olsa da, evrenin kendisini birdenbire son derece düşük olasılıklı, düzenli durumda bulmasından sorumlu etken, kütleçekimin devreye girmesiydi. (Bkz. L. S. Schulman, "Source of the Observed Thermodynamic Arrow", *Journal of Physics: Conference Series*, cilt 174 no. 1 (2009), 12.022.) Schulman'ın argümanının bir benzeri de İngiliz fizikçi Roger Penrose tarafından ileri sürülmüştür.

11 James Hartle, "The Physics of Now", *American Journal of Physics*, cilt 73, sayı 2 (Şubat 2005), s. 101; <http://arxiv.org/abs/grqc/0403001>.

20. OYUNUN KURALLARI: FİZİK YASALARI

- 1 Philip Anderson, 'More Is Different', Science, cilt 177 no. 4047 (4 Ağustos 1972).
- 2 "Laws of Physics for Cats" ["Kediler için Fizik Yasaları"], <http://www.funny2.com/catlaws.htm>.
- 3 Gerçekte Newton'un kütleçekim kuramı, kütleçekimin görece zayıf olduğu zamanlar, yani koşulların normal olduğu çoğu durum için geçerlidir. Hem zayıf *hem de* güçlü kütleçekim davranışları ise Einstein'ın genel görelilik kuramını oluşturur. Bkz. 17. Bölüm, "Kütleçekimin sesi: Genel görelilik".
- 4 Bilimsel bir yasayla ifade edilebilmiş bilimsel bir kuramın ana özelliklerinden biri, *içine koyduklarımızdan daha fazlasını elde etmenizdir*. Sözde bilimsel açıklamaların hepsi bu engele takılır. Çok şey elde etmek için genelde çok şey koymanız gerekir. Yaratılışçılık örneğinde evreni açıklamak için evrenden de karmaşık bir olgunun –Tanrı'nın– varlığını kabul etmek gerekmiştir. Bu ise sisteme eklediklerinizin, ondan aldıklarınızdan daha fazla olması demektir ve bilimin tam zıddıdır.
- 5 Matematiğin fizik için neden bu kadar kusursuz bir metafor oluşturduğu sorusunun tartışmalı bir açıklaması, matematiğin *zaten* fizik demek olduğu biçimindedir. İsveç asıllı Amerikalı fizikçi Max Tegmark, geniş bir evrenler topluluğu ("çoklu evren") içindeki evrenlerden bir tanesinde yaşıyor olduğumuzu ileri süren ve giderek daha fazla popülerlik kazanmakta olan görüşü benimsemiş ve onu geliştirmiş fizikçilerdendir. Ona göre matematiğin her bir bileşeni, farklı bir evren içinde uygulamaya konmaktadır. Bir başka deyişle yalnızca düzlem geometrisi için bir evren, Boole mantığı için bir başka evren vb. vardır; ancak bu evrenlerin çoğu ölmüştür. Zekâ, ancak zekâyı üretecek karmaşıklıkta matematiğe ve fiziğe sahip evrenlerde ortaya çıkabilir ve bizler de böyle bir evrende yaşarız. Zaten başka türlü de olamaz. (Max Tegmark, "Is the 'Theory of Everything' Merely the Ultimate Ensemble Theory?", *Annals of Physics*, cilt 270, sayı 1 (20 Kasım 1998), s. 1-51.)
- 6 Neil deGrasse Tyson, *Death by Black Hole: And Other Cosmic Quandaries*.
- 7 Alan Sokal, "A Physicist Experiments with Cultural Studies", *Lingua Franca*, Mayıs/Haziran 1996; <http://tinyurl.com/mvow>.
- 8 Temel fizik, bizim bakış açımıza –yani örneğin hangi hızla hareket ettiğimize ya da deneyimlediğimiz yerçekim gücüne– bağlı

olmayan, yani hepimizin üzerinde hemfikir olabileceği yasaların arayışıdır. Görelilikte, gözlemciden bağımsız olan bu tür yasalar “kovaryant” (“eşdeğişken”) olarak nitelendirilir.

- 9 Aslına bakarsanız, 2012’de Batı Avustralya’daki Broome yakınlarında dört kollu bir denizyıldızı da görmüştüm.

BEŞİNCİ KISIM: Kozmik Bağlantı

21. DÜNÜ OLMAYAN GÜN: KOZMOLOJİ

- 1 Oluşan ilk galaksiler görece küçüktü. Ancak son 10 milyar yıl içinde birbirleriyle defalarca birleşerek giderek büyüdüler ve sonunda çevremizde gördüğümüz galaksileri oluşturdular.
- 2 John Haines, “Little Cosmic Dust Poem” (1983); <http://tinyurl.com/crwo3y4>.
- 3 Ayrıntı vermek gerekirse, kozmik arkaplan ışınımının en parlak olduğu dalga boyu, 1 milimetrelilik uzak kızılötesidir. Ancak ilk keşfedildiği yer, elektromanyetik tayfın daha kolay algılanabilen birkaç santimetrelilik dalga boyuna sahip mikrodalga bölgesiydi.
- 4 Gerçekte, evrenin Büyük Patlama’dan kalan ısıyla parladığını görmek için yüksek irtifada ya da uzayda olmak gerekir. Bunun nedeni, atmosferdeki su buharının kozmik arkaplan ışınımının uzak kızılötesi bileşenini büyük güçle soğurmasıdır. Yükseklerde ise bu buhar donmuş durumdadır.
- 5 Bir zamanlar Büyük Patlama’ya rakip bir kuram ortaya çıkmıştı. 1948’de Fred Hoyle, Hermann Bondi ve Thomas Gold’un ileri sürdüğü görüşe göre, evren genişlemekte olsa bile, yeni galaksiler oluşturmak üzere sürekli olarak beliriveren yeni materyal sayesinde yoğunluğu hiçbir zaman azalmıyor ve her zaman aynı görünüyordu. Bu durağan hal kuramı, evrenin uzak, yani eski bölgelerinin bugünkünden çok farklı olduğunun ve 1965’te de kozmik arkaplan ışınımının keşfiyle ölümcül darbeler aldı.
- 6 Hidrojen çekirdekleri birbirine yeterince yaklaştığında güçlü çekirdek kuvvetinin etkisi altında kalır ve bir patlamada fırlayan şarapnel parçalarının geri çekimdeki halini andırırcasına birbirlerine doğru yakınsayarak “düşerler”. Bu yakınsama giderek hızlanır ve sonunda çarpışırlar. Ancak çarpışma gerçekleşene kadar muazzam bir hareket enerjisi kazanmışlardır. Birbirleri üzerinden sekerek dışarı doğru fırlamayıp yapışık halde kalacaklarsa da bu

enerjiden bir şekilde kurtulmaları gerekir. Fazladan enerji, yüksek enerjili parçacık ya da gama ışını olarak kaybedilebilir. Ama burada önemli olan ayrıntılar değil, bir helyum çekirdeğinin hidrojen çekirdekleriyle oluşturulması sürecine büyük miktarda enerji kaybının eşlik ettiği gerçeğidir. Bu süreç güneş ışığının nihai kökenidir. Bkz. *The Magic Furnace* başlıklı kitabım.

- 7 -273.15 °C'ye karşılık gelen mutlak sıfır, olabilecek en düşük sıcaklıktır. Klasik ya da kuantum-öncesi fizik, sıcaklık düştükçe atomların titreşimlerinin de hantallaştığını, mutlak sıfır derecesinde ise tümüyle durduğunu söyler.
- 8 Kozmik arkaplan ışınımının maddeden ayrılması, evrenin doğumunun üzerinden geçen yaklaşık 379.000 yılın sonunda gerçekleşmişti. Bu ışınım daha önce de vardı, ama içerdiği fotonların, serbest elektronların etkisiyle yön değiştirip saçılmadan uzayda yol almaları neredeyse imkânsızdı. 379.000 yaşına gelen evren, elektronlarla atom çekirdeklerinin ilk atomları oluşturmak üzere birleşmelerine yetecek ölçüde soğumuştur. Kendilerini engelleyen serbest elektronlardan böylece kurtulmuş olan ateş topu fotonları artık uzayda serbestçe yol alabileceklerdi. Bugün kozmik arkaplan ışınımı olarak belirleyebildiğimiz bu fotonlar, bize doğrudan son saçılma döneminden gelmişlerdir.
- 9 Işık hızı, yalnızca Einstein'ın 1905 tarihli özel görelilik kuramında kozmik hız sınırıdır. 1915 tarihli genel görelilik kuramında ise uzay istediği hızla genişleyebilir. Bu ışıktan-hızlı-genişleme olgusuyla ilgili bir kanıt, gözlemlenebilir evrenin boyutlarından gelmektedir. Evren 13,8 milyar yıldır varolduğu halde, genişliği 84 milyar ışık yılıdır.
- 10 Kuantum kuramına göre vakum boş değildir. Hatta tam aksine... Gündelik dünyada enerjinin korunumu yasası, enerjinin yoktan var olmasını yasaklasa da atom-altı dünyada doğa bu hükmü görmezden gelir. Enerji burada yoktan var olabilir; *yeter ki hızla geri harcansın*. Babasının arabasını gece kullanıp, babası yokluğunu fark etmeden arabayı yerine koyan bir gencin yaptığına benzer bir şeydir bu. Doğaya da bu örnekte olduğu gibi enerjinin yoktan var olmasını görmezden gelebilir; ancak çok kısa sürmesi koşuluyla. Sonuç olarak kuantum vakum da boş olmak şöyle dursun, enerjiyle kaynamaktadır.
- 11 Einstein'ın kütleçekim denklemlerine göre, μ enerji yoğunluğu, P de basınç olmak üzere, kütleçekimin kaynağı $\mu + 3P$ ile ifade edilir. Toplamın ikinci bileşeni genellikle göz ardı edilir, çünkü normal koşullarda maddenin -içerdiği mikroskobik bileşenlerin vızıltısıyla

oluşan- basıncı, maddenin enerji yoğunluğuyla kıyaslandığında görmezden gelinebilecek kadar küçüktür. Ancak şu ana kadar tespit edilememiş ve basıncı da göz ardı edilemeyecek bir malzemenin varolması da pekâlâ mümkündür. Bu P basıncı negatif ve $-u/3$ 'ten küçükse, bu durum $u + 3P$ 'nin işaretini tersine çevirecek ve kütleçekimi "itici" hale getirecektir. Şişme özellikli ("sahte") vakum için durum budur. Negatif basınç, vakumun, dışarı doğru itmek yerine her yerde küçülmeye çalışacağı anlamına gelir. Ancak tuhaf biçimde, itici kütleçekime sahiptir ve şişer. Bunun nedeni, basıncın herhangi bir dolaysız etkiye sahip olmayışıdır. Küçülmekte olan her bir vakum parçası, yine küçülmekte olan başka vakum parçalarıyla çevrelenmiş olduğundan, toplamda negatif basınç sıfırlanır. Negatif basınç, tümüyle Einstein'ın denklemlerine bağlı olarak dolaylı etkiye sahiptir. Bu denklemler ona itici kütleçekim özelliğini kazandırmıştır.

- 12 Bu kuantum özellikli her şey için tipik bir durumdur. Bir kuantum nesnenin davranışı (örneğin bozunup bozunmaması) tümüyle rasal, tümüyle öngörülemezdir. Evren, saniyenin kesirleri içindeki ilk varlık anında bir kuantum nesneydi, çünkü *atomdan küçüktü*.
- 13 Doğrusunu söylemek gerekirse, kimse şu ana kadar kuantum kuramını Einstein'ın kütleçekim kuramıyla birleştirebilmiş değildir. Kütleçekimin kuantum kuramı, bildiğimiz kadarıyla karanlık enerji için gözlenen enerji yoğunluğunu *kesin* değerleriyle verebilir. Kuantum kuramı (çok küçük şeylerin kuramı) ile genel görelilik kuramının (çok büyük şeylerin kuramının) birleştirilmesi, evrenin doğum sürecini anlamak için zorunludur. Çünkü ne de olsa, o anda aynı zamanda hem çok büyük hem de çok küçük olan bir şeyin varlığı söz konusuydu.
- 14 Maddenin galaksileri oluşturmak üzere kümelenmesi süreci, ancak ateş topunun soğuması, bunun sonucu olarak da elektron ve çekirdeklerin birleşerek evrenin ilk atomlarını oluşturmalarıyla başlayabilirdi. Serbest elektronlar fotonlarla güçlü bir etkileşime girerek saçılmalarına neden olur. Ateş topu içinde her elektron için yaklaşık 10 milyar foton bulunmaktaydı. Sonuç olarak, kütleçekim etkisi altında birleşmeye çalışan madde parçaları patlarcasına birbirinden ayrılmaya zorlanıyordu. Ancak elektronlar bir kez atomlarca yakalandıktan sonra, kütleçekim evrenin hakimiyetini eline alabildi. Evrenin doğumu üzerinden geçen 379.000 yılın sonunda galaksilerin oluşmaya başladığı zaman aralığı, son saçılma dönemi olarak bilinir. Bu dönemle ilgili paha biçilmez bilgiler ise

kozmik arkaplan ışınlamada kayıtlıdır.

- 15 Galaksiler de karanlık maddeyle ilgili kanıtlar sunar. Örneğin Samanyolu gibi sarmal galaksilerin dış kısımlarındaki yıldızlar, yörüngelerinde *aşırı hızlı* dolanmaktadır. Hızlandırılmış bir atlıkarıncaya binmiş çocuklara benzetilebilecek bu yıldızların normalde galaksilerarası boşluğa doğru uçmaları beklenirken, böyle yapmazlar. Gökbilimcilere göre bunun nedeni, devasa bir karanlık madde kütesinin uyguladığı kütleçekimin pençesinde olmalarıdır. Görünür yıldızları kütlece geride bırakan karanlık maddenin küresel bir hale oluşturduğu ve yassılaştırmış sarmal galaksi diskinin bu halenin içine gömülü olduğu düşünülmektedir.
- 16 Daha önce helyumun evrenin kütesinin yüzde 25'ini oluşturduğunu ve bunun Büyük Patlama için önemli bir kanıt olduğunu söylemiştik. Kastettiğimiz, *sıradan maddenin* yüzde 25'idir.
- 17 Bkz. *The Universe Next Door* kitabımın 6. Bölümü ("The Holes in the Sky").
- 18 Evrenin yaşı ve şişme hızı gibi kozmolojik parametreler hakkında bir zamanlar çok az şey biliniyordu. NASA'nın Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası'nın 2001'de Büyük Patlama'nın ardıl ışınlamını incelemek üzere 2001'de uzaya gönderilmesinden sonra her şey değişti ve hassas ölçümlere dayanan "duyarlı kozmoloji" dönemi başlamış oldu.
- 19 Baloncuk benzetmesini iki farklı bağlamda kullandığım için beni mazur görün. Şişme özellikli vakum içinde oluşan her baloncuk, aslında her biri bizim gözlemlenebilir evrenimize benzeyen *sonsuz* sayıda büyük patlama bölgesi (daha küçük baloncuklar) içerir. Sınırları olan bir şeyin nasıl olup da aynı zamanda sonsuz olabileceğini merak ediyorsanız, bunun nedeni, şişme özellikli vakumun genişleme hızıdır. Bu öylesine büyük bir hızdır ki, sınır, baloncukun içindeki gözlemci için *ulaşılamazdır*. Dolayısıyla baloncuk pratikte sonsuzdur.
- 20 Arthur C. Clarke, "The Wall of Darkness", *The Other Side of the Sky*.

22. EVRENİN EFENDİLERİ: KARA DELİKLER

- 1 Bkz. 17. Bölüm, "Yavaşlığın keşfi: Genel görelilik".
- 2 Kenneth Ford ve John Wheeler, *Geons, Black Holes and Quantum Foam*.

- 3 John Wheeler sıklıkla “kara delik” terimini ilk ortaya atan kişi olarak anılsa da, onun yaptığı şey terimi yaygınlaştırmaktı. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam* kitabında şöyle yazar Wheeler: “1967 sonbaharında pulsarlarla ilgili bir konferansa . . . [çağrılmış-tım]. Konuşmamda, bir pulsarın merkezinin, kütleçekimsel olarak tümüyle çökmüş bir cisim olabileceği seçeneğini de gözardı etmememiz gerektiğini söylerken, ‘kütleçekimsel olarak tümüyle çökmüş cisim’ ifadesini sürekli olarak tekrarlayanın zor olduğunu da araya sıkıştırdım. Daha kısa bir tanımlayıcı terime ihtiyacımız vardı. ‘Kara deliğe ne dersiniz?’ diye sordu dinleyicilerden biri. Doğru terimin ne olabileceği konusunda aylardır kafa yoruyor, yatakta, küvette, arabamda, bulduğum her sessizlik anında bunu düşünüyordum. Bu isim, bana bir anda tümüyle doğru göründü. 29 Aralık 1967’de . . . Sigma Xi-Phi Beta Kappa topluluğuna verdiğim daha resmi bir derste bu terimi kullandım ve dersin 1968 baharında yayımlanan metnine de ilave ettim. (Sonradan anlaşıldı ki pulsara güç sağlayan bir kara delik değil, ‘yalnızca’ bir nötron yıldızıydı.)”
- 4 David Elbaz ve diğerleri, “Quasar Induced Galaxy Formation: A New Paradigm?”, *Astronomy and Astrophysics*, cilt 507 no. 3 (1 Aralık 2009), s. 1359–74; <http://arxiv.org/abs/0907.2923>.
- 5 Fizik, geleceği öngörmede yararlanılan bir araçtır. (Klasik fizikte yüzde 100 kesinlik taşıyan tek bir gelecek, kuantum fiziğinde ise farklı birçok geleceğe karşılık gelen olasılıklar söz konusudur.) Sözelimi, Newton’un kütleçekim yasası, fizikçilerin Ay’ın bugünkü konumundan yola çıkarak yarınki konumunu saptamalarını mümkün kılar. Öyleyse Ay’ın yarınki konumu, bir anlamda *bugünkü konumu içinde* saklıdır ve ortaya çıkan yeni bir bilgi yoktur. Fizikte bilgi ne yaratılır ne de yok edilir. İronik biçimde Stephen Hawking, Hawking ışınımının, kara deliklerin doğanın eğilimine karşı çıkan olağandışı nesneler olduğunu gösterdiğine inanmıştı. “Bilginin kara delikte yok olduğunu düşünmüştüm” demişti Hawking. “Bu benim en büyük gafımdı – en azından bilimdeki en büyük gafım.”
- 6 Bkz. 14. Bölüm, “Hepimiz buhar makinesiyiz: Termodinamik”.

KAYNAKÇA

- Adams, Douglas, *The Hitch Hiker's Guide to the Galaxy* (Macmillan, 2009) [*Otostopçunun Galaksi Rehberi*, Çev. Nil Alt, Kabalcı Yayınevi, 2010]
- Agassiz, Louis, *Geological Sketches* (Ticknor and Fields, 1866)
- Anderson, Philip, "More Is Different", *Science*, cilt 177 no. 4047 (4 Ağustos 1972)
- Atkins, Peter, *Four Laws that Drive the Universe* (Oxford University Press, 2007) [*Evreni Yöneten Dört Yasa*, Çev. Eser Bakdur, Alfa Yayınları, 2014]
- Atkinson, Nancy, "Best Evidence Yet That Comets Delivered Water for Earth's Oceans", *Universe Today*, 5 Ekim 2011, <http://tinyurl.com/6zazxwj>
- Augarten, Stan, *State of the Art: A Photographic History of the Integrated Circuit* (Houghton Mifflin, 1983)
- Bais, Sander, *Very Special Relativity* (Harvard University Press, 2007)
- Barash, David, *Homo Mysterious: Evolutionary Puzzles of Human Nature* (Oxford University Press, 2012)
- Begley, Sharon, "In Our Messy, Reptilian Brains", *Newsweek*, 9 Nisan 2007
- Berners-Lee, Tim, *Weaving the Web: The Past, Present and Future of the World Wide Web by its Inventor* (Orion Business, 1999)
- Bierce, Ambrose, *The Devil's Dictionary* (1911) [*Şeytanın Sözlüğü*, Çev. Özde Duygu Gürkan, Metis Yayınları, 2014].
- Bollier, David, "Why Karl Polanyi still matters", *Commons Magazine*, 24 Şubat 2009, <http://tinyurl.com/ctktkt8>
- Bostrom, Nick, "Are You Living In a Computer Simulation?", *Philosophical Quarterly*, cilt 3 (2003), s. 243-55

- Buchanan, Mark, "Mandelbrot Beats Economics in Fathoming Markets", Bloomberg, 5 Aralık 2011, <http://tinyurl.com/75n8ecb>
- Forecast: What Physics, Meteorology and the Natural Sciences Can Teach Us about Economics* (Bloomsbury Publishing, 2013)
- "Earthquakes and the Mind-Bending Laws of Markets", Bloomberg, 18 Mart 2013, <http://tinyurl.com/coklmem>
- Butler, Samuel, *Life and Habit* (1878)
- Chang, Ha-Joon, 23 *Things They Don't Tell You About Capitalism* (Penguin, 2010) [*Kapitalizm Hakkında Size Söylenmeyen 23 Şey*, Çev. Belgin Tupal, Say Yayınları, 2011]
- Chin-Wen Chou, James ve diğ., "Optical Clocks and Relativity", *Science*, 24 Eylül 2010, cilt 329, s. 1630
- Chown, Marcus, *The Magic Furnace* (Vintage, 2000)
- The Universe Next Door* (Headline, 2002)
- The Never-Ending Days of Being Dead* (Faber and Faber, 2007)
- Quantum Theory Cannot Hurt You* (Faber and Faber, 2008) [*Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez*, Çev. Taylan Taftaf, Alfa Yayınları, 2009]
- We Need to Talk About Kelvin* (Faber and Faber, 2009)
- Clarke, Arthur C., *The Other Side of the Sky* (Penguin, 1987)
- Coase, Ronald, "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics*, Ekim 1960, s. 1-44
- Curzon, Paul, Peter McOwan ve Jonathan Black, *Computer Science for Fun*, <http://www.cs4fn.org/>
- Darwin, Charles, *The Origin of the Species* (Oxford World Classics, 2008) [*Türlerin Kökeni*]
- Dawkins, Richard, "The Ultraviolet Garden", Royal Institution Noel Dersi No. 4, 1991
- The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution* (Phoenix, 2005) [*Ataların Hikâyesi - Yaşamın Köklerine Yolculuk*, Çev. Ahmet Fethi, Hil Yayınları, 2008]
- The Blind Watchmaker* (Penguin, 2006) [*Kör Saatçi*, Çev. Feryal Halatçı, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 2002].
- The Greatest Show on Earth: The Evidence for Evolution* (Free Press, 2009). [*Yeryüzündeki En Büyük Gösteri*, Çev. Kahraman İpekdağ, Kuzey Yayınları, 2010]

- Dennett, Daniel, *Consciousness Explained* (Back Bay Books, 1992)
- Diamond, Jared, *Guns, Germs and Steel* (Vintage, 2005) [*Tüfek, Mikrop ve Çelik*, Çev. Ülker İnce, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 1. Basım 1997].
- Eddington, Arthur, *The Nature of the Physical World* (1915)
- Elbaz, David ve diğ., “Quasar Induced Galaxy Formation: A New Paradigm?”, *Astronomy and Astrophysics*, cilt 507 no. 3 (1 Aralık 2009), s. 1359-74; <http://arxiv.org/abs/0907.2923>
- Elsasser, Walter, *Memoirs of a Physicist in the Atomic Age* (Watson, 1978)
- Evans, Dylan ve Howard Selina, *Evolution: A Graphic Guide* (Icon Books, 2010)
- Feresten, Spike, “The Reverse Peephole”, *Seinfeld* 9. Sezon 12. bölüm, 15 Ocak 1998
- Feynman, Richard, *QED: The Strange Theory of Light and Matter* (Penguin, 1990) [*Kuantum Elektrodinamiği - Işık ve Maddenin Tuhaf Kuramı*, Çev. R. Ömür Akyüz, Pan Yayıncılık, 1997]
- The Feynman Lectures on Physics* [*Feynman’ın Fizik Dersleri*], ed. Robert Leighton ve Matthew Sands, cilt i ve ii (Addison-Wesley, 1989)
- Fischbach, Gerald D., “Mind and Brain”, *Scientific American*, cilt 267 no. 3 (Eylül 1992), s. 49
- Ford, Kenneth ve John Wheeler, *Geons, Black Holes and Quantum Foam* (W. W. Norton, 2000)
- Freud, Sigmund, *Civilisation and Its Discontents* (1929). [*Uygarlığın Huzursuzluğu*, Çev. Haluk Barışcan, Metis Yayıncılık, 2000]
- Germonpré, Mietje ve diğ., “Fossil Dogs and Wolves from Palaeolithic Sites in Belgium, the Ukraine and Russia: Osteometry, Ancient DNA and Stable Isotopes”, *Journal of Archaeological Science*, cilt 36 (2009), s. 473-90
- Gell-Mann, Murray, “What Is Complexity?”, *Complexity*, cilt 1 no. 1, 1995
- Gleick, James, *Chaos* (Vintage, 1997) [*Kaos*, Çev. İlkey A. Demir, Alfa Yayıncılık, 2014]
- Gould, Stephen Jay, *Wonderful Life* (Vintage, 2000)
- Grabianowski, Ed, “Why slime molds can solve mazes better than robots”, www.io9.com, 12 Ekim 2012 <http://tinyurl.com/9ud95jx>

- Gray, John, *False Dawn: The Delusions of Global Capitalism* (Granta Books, 2009) [Sahte Şafak, Çev. Gül Çağalı Güven, Om Yayınevi, 1999]
- “Great Names in Computer Science” (<http://www.madore.org/~david/computers/greatnames.html>)
- Gwynne, Peter, Sharon Begley ve Mary Hager, “The Secrets of the Human Cell”, *Newsweek*, 20 Ağustos 1979, s. 48
- Harford, Tim, *The Undercover Economist* (Random House, 2007) [Görünmeyen Ekonomist, Çev. Sibel Demirel, Pegasus Yayınevi, 2008]
- Hartle, James, “The Physics of Now”, *American Journal of Physics*, cilt 73, sayı 2 (Şubat 2005), s. 101; <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0403001>
- Hartley, L. P., *The Go-Between* (Penguin Classics, 2004) [Arabulucu, Çev. Duygu Uğur, Sander Yayınları, 1972]
- Heisenberg, Werner, *Quantum Theory* (1930)
- *Physics and Philosophy* (1963) [Fizik ve Felsefe - Olasılık’tan Determinizme Doğru, Çev. M. Yılmaz Öner, Belge Yayınları, 2000]
- Hodges, Andrew, *Alan Turing: The Enigma* (Vintage, 1992)
- How evolution REALLY works*, <http://tinyurl.com/brbqqod>
- Hutton, James, “Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe”, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, cilt 1 (1788), s. 209-304.
- Johnson, George, *In the Palaces of Memory: How We Build the Worlds Inside Our Heads* (Vintage, 1992)
- Jones, Terry, “A Very Silly Way to Boil Water”, *New Scientist*, 18 Haziran 1987, s. 63
- Kahlbaum, Georg W. A. ve Francis V. Darbishire (ed), *The Letters of Faraday and Schoenbein, 1836-1862* (Williams and Norgate, 1899)
- Kelly, Heather, “OMG, the text message turns 20”, CNN, 3 Aralık 2012, <http://tinyurl.com/cgoakdg>.
- Koene, Randal A., “How to Copy a Brain”, *New Scientist*, 27 Ekim 2012, s. 26
- Lane, Nick, *Life Ascending* (Profile, 2010) [Yaşamın Yükselişi - Evrimin On Büyük İcadı, Çev. Ebru Kılıç, Aylak Kitap, 2014]
- Larkin, Philip, *High Windows* (Faber and Faber, 1967)
- “Laws of Physics for Cats”, <http://www.funny2.com/catlaws.htm>

- Le Page, Michael, "A Brief History of the Genome", *New Scientist*, 15 Eylül 2012, s. 30
- Leakey, Richard ve Roger Lewin, *Origins* (Penguin, 1982)
- Leitch, Ilea ve diğ., "Evolution of DNA Amounts Across Land Plants (Embryophyta)", *Annals of Botany*, cilt 95 sayı 1 (Ocak 2005), s. 207-17
- Lessing, Doris, *The Four-Gated City* (Flamingo Modern Classics, 2012)
- Lewis, Gilbert Newton, *The Anatomy of Science* (Oxford University Press, 1926)
- Lloyd, Seth, "Ultimate physical limits to computation", *Nature*, cilt 406 no. 6799 (31 Ağustos 2000), s. 1047
- Lockwood, Michael, *The Labyrinth of Time* (Oxford University Press, 2005)
- Lorenz, Edward, *The Essence of Chaos* (Routledge, 1998)
- Luther, Martin, *The Table Talk of Martin Luther*, çev. William Hazlitt (1872)
- Maxwell, James Clerk, "On the Motions and Collisions of Perfectly Elastic Spheres", *Philosophical Magazine*, Ocak ve Temmuz 1860
- Médaille, John, "Friends and Strangers: A Meditation on Money", *Front Porch Republic*, 20 Ocak 2012; <http://tinyurl.com/6q3pbsy>
- Minsky, Marvin, *The Society of Mind* (Simon & Schuster, 1988)
- Misner, Charles, Kip Thorne ve John Wheeler, *Gravitation* (W. H. Freeman, 1973)
- Moore, Gordon, "Cramming More Components onto Integrated Circuits", *Electronics*, cilt 38 no. 8 (19 Nisan 1965)
- Morran, Levi ve diğ., "Running with the Red Queen: Host-Parasite Coevolution Selects for Biparental Sex", *Science*, 8 Temmuz 2011, cilt 333, s. 216-18
- Moulton, Forest Ray (ed.), *The Cell and the Protoplasm*, American Association for the Advancement of Science Yayını, No. 14 (Science Press, 1940)
- Norvig, Peter, "Brainy Machines", *New Scientist*, 3 Kasım 2012, s. vii
- "The Origin of the Brain", <http://tinyurl.com/d7sbhpk>
- "The Origin of Sexual Reproduction", <http://tinyurl.com/ca8sjwg>
- Pamuk, Orhan, *The Museum of Innocence* (Faber and Faber, 2008)
- [Masumiyet Müzesi, Yapı Kredi Yayınları, 2013]

- Pinker, Steven, *The Better Angels of Our Nature: A History of Violence and Humanity* (Penguin, 2010)
- Polanyi, Karl, *The Great Transformation* (Rinehart, 1944) [*Büyük Dönüşüm*, Çev. Ayşe Buğra, İletişim Yayınları, 12. Baskı, Ekim 2014]
- Pugh, George E., *The Biological Origin of Human Values* (Basic, 1977)
- Rees, Martin ve Mitchell Begelman, *Gravity's Fatal Attraction* (Cambridge University Press, 2009)
- Resnikoff, Howard, *The Illusion of Reality* (Springer-Verlag, 1989)
- Ridley, Matt, *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature* (Penguin, 1994)
- *The Rational Optimist* (Fourth Estate, 2010) [*Akılcı İyimser: Refahın Evrimi*, Çev. Mehmet Doğan, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2013]
- Ryan, Robert T., *The Atmosphere* (Prentice Hall, 1982)
- Rutherford, Adam, *Creation* (Penguin, 2013)
- Sagan, Carl, “Wonder and Skepticism”, *Skeptical Enquirer*, cilt 19 no. 1 (Ocak-Şubat 1995)
- Scharf, Caleb, *Gravity's Engines* (Allen Lane/Penguin, 2012)
- Schulman, L. S., “Source of the Observed Thermodynamic Arrow”, *Journal of Physics: Conference Series*, cilt 174 no. 1 (2009), 12.022
- Shipman, Pat, “Man's Best Friends: How Animals Made Us Human”, *New Scientist*, 31 Mayıs 2011, s. 32
- Sokal, Alan, “A Physicist Experiments with Cultural Studies”, *Lingua Franca*, Mayıs/Haziran 1996; <http://tinyurl.com/mvow>
- Stenger, Victor, *Timeless Reality: Symmetry, Simplicity, and Multiple Universes* (Prometheus Books, 2000)
- Stiglitz, Joseph, “Inequality is holding back the recovery”, “The Great Divide” yazı dizisinden, *New York Times*, 19 Ocak 2013, <http://tinyurl.com/aqxj9ro>
- Stoppard, Tom, *Hapgood* (Faber and Faber, 1988)
- Stringer, Chris, *The Origin of Our Species* (Allen Lane, 2011)
- ve Peter Andrews, *Complete World of Human Evolution* (Thames & Hudson, 2011)
- Taleb, Nassim, *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable* (Penguin, 2008) [*Siyah Kuğu - Olasılıksız Görünenin Etkisi*, Çev. Nazan Arıbaş, Varlık Yayınları, 2008]

- Tegmark, Max, "Is the 'Theory of Everything' Merely the Ultimate Ensemble Theory?", *Annals of Physics*, cilt 270, sayı 1 (20 Kasım 1998), s. 1-51
- Thomas, Lewis, *The Lives of a Cell* (Penguin, 1978) [*Bir Hücrenin Yaşamları*, Çev. Kayhan Çetin, E Yayınları, 1984]
- The Medusa and the Snail* (Penguin, 1995)
- Tibballs, Geoff, *The Mammoth Book of Zingers, Quips, and One-Liners* (Running Press, 2004)
- Twain, Mark, *Following the Equator* (1897)
- Tyndall, John, *In Forms of Water in Clouds and Rivers, Ice and Glaciers* (1872)
- Tyson, Neil deGrasse, *Death by Black Hole: And Other Cosmic Quandaries* (W. W. Norton, 2007)
- Van Valen, Leigh, "A New Evolutionary Law", *Evolutionary Theory*, cilt 1 (1973-76), s. 1-30
- Watson, James, *Discovering the Brain* (National Academy Press, 1992)
- The Double Helix* (Phoenix, 2010) [*İkili Sarmal - DNA Yapı Çözümünün Öyküsü*, Çev. Alev Serin, Say Yayınları, 2013]
- Wilde, Oscar, *The Picture of Dorian Gray* (1890) [*Dorian Gray'in Portresi*]
- De Profundis* (1905) [Çev. Roza Hakmen, Can Yayınları, 1997]
- Wilson, Edward O., *Consilience* (Vintage, 1999)
- The Social Conquest of Earth* (W. W. Norton & Co., 2012)
- [*Yeryüzünün Sosyal Fethi*, Çev. Gül Tonak, Say Yayınları, 2013]
- Wolpert, Lewis, "Shaping Life", *New Scientist*, 1 Eylül 2012
- Young, Louise, *Earth's Aura* (Random House, 1977)

MERAKLISI İÇİN

BİRİNCİ KISIM: Bir Canlı Nasıl İşler

David Barash, *Homo Mysterious: Evolutionary Puzzles of Human Nature*

Charles Darwin, *The Origin of the Species* [Türlerin Kökeni]

Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* [Kör Saatçi, Çev. Feryal Halatçı, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 2002]

Dylan Evans ve Howard Selina, *Evolution: A Graphic Guide*

How evolution REALLY works, <http://tinyurl.com/brbpqod>

Nick Lane, *Life Ascending* [Yaşamın Yükselişi - Evrimin On Büyük İcadı, Çev. Ebru Kılıç, Aylak Kitap, 2014]

Chris Stringer, *The Origin of Our Species*

Chris Stringer ve Peter Andrews, *Complete World of Human Evolution*

James Watson, *The Double Helix* [İkili Sarmal - DNA Yapı Çözümünün Öyküsü, Çev. Alev Serin, Say Yayınları, 2013]

İKİNCİ KISIM: Maddeyi İşe Koşmak

Mark Buchanan, *Forecast: What Physics, Meteorology and the Natural Sciences Can Teach Us about Economics*

Ha-Joon Chang, *23 Things They Don't Tell You About Capitalism*

[Kapitalizm Hakkında Size Söylenmeyen 23 Şey, Çev. Belgin Tupal, Say Yayınları, 2011]

Jared Diamond, *Guns, Germs and Steel* [Tüfek, Mikrop ve Çelik, Çev. Ülker İnce, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 1. Basım 1997].

Richard Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter*

[Kuantum Elektrodinamiği - Işık ve Maddenin Tuhaf Kuramı, Çev. R. Ömür Akyüz, Pan Yayıncılık, 1997]

Richard Feynman, Robert Leighton and Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics* [Feynman'ın Fizik Dersleri], cilt ii

- “Great Names in Computer Science”, <http://www.madore.org/~david/computers/greatnames.html>
- Tim Harford, *The Undercover Economist* [Görünmeyen Ekonomist, Çev. Sibel Demirel, Pegasus Yayınevi, 2008]
- Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*
- Steven Pinker, *The Better Angels of Our Nature: A History of Violence and Humanity*
- Matt Ridley, *The Rational Optimist* [Akılcı İyimser: Refahın Evrimi, Çev. Mehmet Doğan, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2013]

ÜÇÜNCÜ KISIM: Dünya'nın İş

- James Gleick, *Chaos* [Kaos, Çev. İlkay A. Demir, Alfa Yayıncılık, 2014]
- Edward Lorenz, *The Essence of Chaos*
- Louise Young, *Earth's Aura*

DÖRDÜNCÜ KISIM: Derin İşleyiş

- Peter Atkins, *Four Laws that Drive the Universe* [Evreni Yöneten Dört Yasa, Çev. Eser Bakdur, Alfa Yayınları, 2014]
- Sander Bais, *Very Special Relativity*
- Marcus Chown, *Quantum Theory Cannot Hurt You* [Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez, Çev. Taylan Taftaf, Alfa Yayınları, 2009]
- *We Need to Talk About Kelvin*
- Richard Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter* [Kuantum Elektrodinamiği - Işık ve Maddenin Tuhaf Kuramı, Çev. R. Ömür Akyüz, Pan Yayıncılık, 1997]
- Michael Lockwood, *The Labyrinth of Time*
- Charles Misner, Kip Thorne ve John Wheeler, *Gravitation*
- Victor Stenger, *Timeless Reality: Symmetry, Simplicity, and Multiple Universes*

BEŞİNCİ KISIM: Kozmik Bağlantı

- Marcus Chown, *The Never-Ending Days of Being Dead*
- Martin Rees ve Mitchell Begelman, *Gravity's Fatal Attraction*
- Caleb Scharf, *Gravity's Engines*

DİZİN

- ABD Deniz Kuvvetleri, 157
AC (değişken akım), 111, 113, 312 n. 19
Acorn Computers, 124
açısal momentum, 200; korunumu yasası, 200, 205
Ada bilgisayar dili, 313 n. 3
Adams, Douglas, 255, 273
adenin, 35
Afar, Ethiopia, 158
Afrika, 80-1, 84, 95-6, 96-7, 155, 157-9, 225, 256; *ayrıca bkz.* Güney Afrika
Agassiz, Louis, 162
ağaçlar, 24, 36, 43, 45, 76, 77, 91, 137, 321-2 n. 1
ağır su *bkz.* döteryum
ağızdan ağıza yapay solunum, 23
aile ağacı, 305-6 n. 13
akciğerler, 23-4
akkorlaşma, 290
aksonlar, *bkz.* sinir hücreleri
algler, 300 n. 6; mavi-yeşil, 165, 173
aleller, 49
aletler, 76, 77, 78-81, 82, 83, 99
alfa parçacıkları, 240, 241
Alize rüzgarları, 167
alkol, 20
Allen, Tim, 116
almaçlar, *bkz.* nöronlar
Almanya, 133
alpakalar, 99
Alpha Centauri, 255, 256
altın, 124, 238, 240; para birimi olarak, 133, 134
alveoller, 23-4
Amazon.com, 108
Amerika, 96-9; *ayrıca bkz.* Kuzey Amerika, Güney Amerika
Amerika yerlileri, 99; *ayrıca bkz.* Aztekler, İnkalar
amigdala, *bkz.* limbik sistem
amino asitler, 4, 35, 62
ampuller, 108, 112, 182, 192, 277, 311 n. 8
And Dağları, 99, 160
Anderson, Philip, 363
Andromeda galaksisi, 255, 276
Antarktik buz örtüsü, 174
Antarktika, 80-1, 172, 173
antibiyotikler, 13, 37, 98; direnç, 37
anti-kuarklar, 245
anti-madde, 245
anti-parçacıklar, 245, 295; elektrik yükü, 245; spin, 245
antisiklonlar, *bkz.* hava sistemleri
Apollo 15, 220
arabalar, 25, 97, 125, 268
argon, 165
arılar, 45
arkebakteriler, 7-8, 300 nn. 5, 6
ARM, 124
Armstrong, Neil, 101
arsenik, 123
arz ve talep, 130, 133, 138, 141, 143, 144
asetilkolin, 63
asitler, 4, 124; yağ asitleri, *bkz.* lipidler; *ayrıca bkz.* amino asitler

- asitlik, 24
 askerler, 93
 Aspect, Alain, 201
 asteroidler, 165
 Asya, 80, 91, 96-8, 100
 aşınma, 156
 @Katharine_T29m, 325 n. 7
 @MrDFJBaileyEsq, 326 n. 17
 ateş, 83-4
 Atkins, Peter, 179, 181
 Atlantik Okyanusu, 81, 157-8, 159,
 170, 172; *ayrıca bkz.* Atlantik-ortası
 Sırtı, transatlantik kablolar
 Atlantik-ortası Sırtı, 157, 158
 atlar, 47, 99, 136
 atomlar, 19, 21-3, 25, 61, 106-7, 108,
 109, 112, 122-3, 182-3, 235-51, 289,
 295, 312 n. 15, 319 n. 13, 322 n. 4,
 324 n. 5, 331 n. 2, 332 n. 10, 335 n.
 7, 336 nn. 12, 14; çekirdek, 19-20,
 21-2, 106, 110, 202-4, 205, 211,
 238-41, 241, 243, 249, 277, 301 n. 6,
 310 n. 3, 329 n. 14, 331 n. 2, 332 n.
 10, 334 n. 6, 335 n. 8, 336-7 n. 14;
 doping, 123, 124; elektrik yüklü,
 115, 116, 307 n. 6; ve kuantum
 kuramı, 191-3, 194, 196, 197-9, 202-
 6, 324 n. 5; sıralanma, 157; yapı,
 19-20, 239-41, 301 n. 3; *ayrıca bkz.*
 elektronlar, leptonlar, moleküller,
 muonlar, nötronlar, nötrinolar,
 fotonlar, protonlar, kuarklar
 atom saati, 223, 229
 ATP (adenozin trifosfat), 8, 22, 116
 Augarten, Stan, 122
australopithecus, 76, 79, 101
Australopithecus afarensis, 76
Australopithecus anamensis, 76
 avcı-toplayıcılar, 93, 309 n. 2 *supra*;
 avlanma, 78, 80, 85, 91, 93, 98-9
 Avrupa, 80, 85, 96-100, 170, 172, 173
 Avustralya, 96-100, 166; fosiller, 5
 Ay, 75, 81, 225, 255, 279, 327-8 n. 7;
 338 n. 5; çarpışma havzaları, 316 n.
 5, 317 n. 2; kabuk, 317 n. 2; Krizler
 Denizi, 101; kütleçekim, 220, 226,
 266; orbit, 265
 Aztekler, 99
 Babbage, Charles, 313 n. 3
 Bacon, Francis, 157
 bağırsak kurtları, 46
 bağışıklık, 54, 100
 bakır, 312 n. 15
 bakteriler, 8, 13-4, 15, 20-1, 29, 37,
 44, 47, 51, 59-60, 61, 62, 300 nn.
 5, 6; 304 n. 2, 305 n. 6; üreme, 35,
 37, 299 n. 3; yapı, 4; *ayrıca bkz.*
 Arkebakteriler
 balinalar, 29; katil balinalar, 55; kısa
 yüzgeçli kara balinalar, 55
 balon, elektrik yüklü, 108-9, 311 nn.
 9, 10
 baltalar, 79-80
 Bangladeş, 143
 bankacılık, 133-6; ; borçlanma, 134,
 137; borç verme, 135-6; faiz,
 134; geri ödeme, 134; ticari, 138;
 varlıklar, 135; yatırım, 143-4
 bankacılık krizi (2008), 135, 136, 143,
 148, 149, 315 n. 2
 Bardeen, John, 314 n. 9
 Barings Bankası, 138
 Barry, Dave, 103, 262
 baryonlar, 245
 basınç, 192, 238, 250, 335-6 n. 11;
ayrıca bkz. hava: basınç
 BBC, 278
Beagle, HMS, 30
 Begley, Sharon, 65
 Bekenstein, Jacob, 295
 Belçika Doğa Bilimleri Kraliyet
 Enstitüsü, 309 n. 6
 belirme, 248, 250
 Bell Laboratuvarları, 314 n. 9
 bellek, 94; *ayrıca bkz.* bilgisayarlar,
 nöronlar
 Bereketli Hilal, 91, 92, 95, 98, 99
 Bern, 222
 Berners-Lee, Tim, 66
 besin, 7, 13, 17, 19, 21, 23-5, 31, 44,
 76, 116, 304 n. 9; ve çiftçilik, 92,
 96; fazlalığı, 92-3; süngerler, 60;
 üretimi, 96, 97, 99, 101; zinciri, 20

- Besso, Michele, 259
 beyaz cüceler, 229-30
 beyin, ağırlık, 65; bellek, 65; beyaz madde, 307-8 n. 17; beyin sapı, 64-5; beyincik, 65; büyüklük, 85; duygular, 66; enerji kullanımı, 64-5, 78, 83; gri madde, 307-8 n. 17; insan 50, 57-71, 76, 79, 249, 250, 257; kopyalama, 307 n. 13; sürünge, 65; *ayrıca bkz.* limbik sistem, neokorteks
 beyincik, *bkz.* beyin
 beyin hücreleri, *bkz.* nöronlar
 beyin sapı, *bkz.* beyin
 beyin zarları, 66
 bezelye bitkisi, 33-5, 92
 Bezos, Jeff, 108
 bilardo oyuncuları, 268
 bilgi, 5, 33, 59, 63, 67, 68, 69, 122, 186, 237, 250, 261, 262, 295-6, 299-300 n. 4, 303-4 n. 8, 323 n. 14, 324 n. 5, 336-7 n. 14, 338 n. 5
 bilgi depolanması, 121
 bilgisayarlar, 25, 69, 70, 97, 100, 117-26, 181, 191; bellek, 67; devreler, 64; dizüstü, 125; durma problemi, 119-20; entegre devreler, 123, 314 n. 10; güç, 124-5, 313 n. 2; hız, 125; kapılar, 121-2; mantık kapıları, 64, 122, 123; manyetik ortam, 121; masaüstü, 124; PC'ler, 124; programlama, 69, 75, 119-21; toplayıcılar, 122-3; *Vel* VEYA kapıları, 122; *ayrıca bkz.* mikroçipler, silikon, transistörler, hesaplanamazlık
 bilim, 96-7, 110
 bilinç, 65
 Binnig, Gerd, 329 n. 3
 bipedalizm, *bkz.* iki ayaklılık
 Birinci Dünya Savaşı, 229
 biseksüellik, 54
 bitkiler, 4, 11, 14, 20, 24-26, 64, 78, 98, 186, 249, 309 n. 2 *supra*; ; üreme, 30, zehirler, 8331, 45; *ayrıca bkz.* Çiftçilik
 biyofilmler, 6
 biyoloji ve biyologlar, 3, 4, 7, 10-2, 14, 20-1, 23, 30, 32, 33-4, 37, 38, 43, 44, 45-7, 49, 50, 54, 64, 71, 85, 91, 100, 116, 131, 160, 181, 249, 261, 284, 300 nn. 5, 11; 303 n. 7, 305 n. 6
 bizon, 99
 Black, Jonathan, 314 n. 6
 Blair, Tony, 315 n. 2
 Blake, William, 235, 263
 Blumenthal, Sidney, 145
 Bohr, Niels, 189, 206, 235
 Bollier, David, 149, 150; *Sessiz Hırsızlık (Silent Theft)*, 149
 Boltzmann, Ludwig, 260
 Boltzmann sabiti, 332 n. 9
 Bondi, Hermann, 217, 334 n. 5
 Boole mantığı, 333 n. 5
 bor, 123
 borsa, 142, 146; *ayrıca bkz.* hisseler
 Bostrom, Nick, 313 n. 2
 boşluk, 269, 270
 Boyle yasası, 191
 bozonlar, 206, 244, 246-7, 330-1 n. 15; spin, 330-1 n. 15; vektör, 244; *ayrıca bkz.* Higgs bozonu
 bozunma, 260, 280, 336 n. 12
 Bragg, William, 193
 Brattain, Walter, 314 n. 9
 Brno, 33
 Broome, Batı Avustralya, 334 n. 9
 Brown, Robert, 9, 300 n. 11
 Brunel, Isambard Kingdom, 316 n. 4
Brünn Doğa Tarihi Derneği Dergisi, 34
 Buchanan, Mark, 146, 147
 buğday, 92
 buhar, 181-3, 191, 238, 322 nn. 4, 5; 322 n. 7, 323 n. 14; gücü, 111
 buharlaşma, 163
 buhar makinesi, 179, 181-2, 183, 184, 238, 301 n. 1, 331 n. 7
 Buşmenler (Kalahari), 78
 Butler, Samuel, 44
 buz, 173, 270
 buz pateni, 268
 buz tabakası, 80
 buz, tatlı su, 173

- buzul dönemleri, 81-2, 83, 91-2, 95,
100, 171-3, 320-1 n. 22, 330 n. 8;
ayrıca bkz. Kartopu Dünya
- buzullar-arası dönemler, 92
- Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, 215, 216,
244, 270, 292
- Büyük Patlama, 186, 230, 243, 245,
246, 247-8, 257, 259, 261, 267, 270,
276-7, 323 n. 13, 324 n. 5, 331 n. 2,
332 n. 10, 334 nn. 4, 5; 336-7 n. 14,
337 nn. 16, 18, 19; şişme, 279, 283,
284
- Byron, George Gordon, Lord, 313 n. 3
- Caenorhabditis elegans*, 47, 65, 307
n. 13
- Cambridge, 124
- Carlyle, Thomas, 251
- Carnot, Sadi, 322 n. 7
- Carroll, Lewis, 46; *Alice Harikalar
Diyarında*, 46, 191; *Aynanın
İçinden*, 46
- Cassini uzay aracı, 121
- CDO (Teminatlı Borç Senetleri), 148
- CDO-square, 148
- Celsius (santigrat) ölçeği, 323 n. 10
- Cenevre, 215, 244, 292
- cep telefonları, 124
- Chandrasekhar, Subrahmanyam, 287
- Chang, Ja-Hoon, 142, 144, 145,
148; *Kapitalizm Hakkında Size
Söylenmeyen 23 Şey*, 143-4
- Cherenkov ışığı, 330 n. 7
- Şikago Okulu, 146
- Church, George, 303-4 n. 8
- Churchill, Winston, 27, 43, 304 n. 1
- cirt cirt bantları, 262
- civik mantarlar, 306 n. 19
- cinsel yönelim, 54
- Clarke, Arthur C., 285; 2001: *Uzay
Yolu Macerası*, 79
- Clarkson Üniversitesi, New York, 331
n. 8
- Clausius, Rudolf, 186
- Clinton, Bill, 145, 315 n. 2
- Coase, Ronald, 146
- Conan Doyle, Arthur, 306 n. 1
- Conklin, Edwin Grant, 249
- Coriolis kuvveti, 318 n. 10
- Crick, Francis, 303 n. 6
- Cringely, Robert X., 125, 314 n. 14
- Curzon, Paul, 314 n. 6
- Cygnus X-1, 290
- çakıl taşları, 79
- çamur, 155-6
- çan eğrisi, *bkz.* Gauss dağılımı
- çekirdek kuvvetleri, 244; güçlü, 215,
241, 242, 244-5, 334-5 n. 6; zayıf,
244, 246
- çelik, 231
- çeşitlilik, 33, 37, 45, 48
- çevresel felaket, 149
- çingiraklı yılan, 39
- çiçek hastalığı, 99, 100
- çiftçilik, 91-3, 95, 98-100, 101, 135, 309
n. 2 *supra*
- çiftleştirme, seçici, 31
- Çin, 80, 95
- çipler, *bkz.* mikroçipler
- çivi yazısı, 95
- çocuk doğurma, 55
- çocuk işgücü, 142
- çocuk yetiştirme, 54-5
- Çok Büyük Dizge, New Mexico, 292
- çok hücreli canlılar, 10, 53, 60, 62
- çoklu evren, 303 n. 4, 333 n. 5
- dağlar, 160
- dâhi, 305 n. 6
- dalgaboyu, 124, 202-3, 325 n. 14
- dalgalar, 202; girişim, 197-9, 325
n. 8; kütleçekimsel, 231-3;
süperpozisyon, 196, 198-200, 205,
325 n. 8; *ayrıca bkz.* ışık: dalga
olarak, kuantum dalgaları, radyo
dalgaları, ses dalgaları
- Dallas, Texas, 107
- Dalrymple, David, 307 n. 13
- darı, 95
- Darwin, Charles, 14, 30-4, 37-8, 70, 73,
76, 77, 148, 155, 160, 284, 302-3 n. 2,
303 nn. 3,4; *Türlerin Kökeni*, 32
- Davisson, Clinton, 198, 325 n. 8

- Dawkins, Richard, 9, 32, 38, 39, 43, 45, 54, 76; *Kör Saatçi*, 43
- DC (doğru akım), 112
- de Broglie, Louis, 293, 325 n. 14
- demir, 161, 166, 182, 229, 293
- demir oksit, 165
- demokrasi, 150
- Demokritos, 237-8, 240, 247, 248, 329 n. 3
- dendritler, *bkz.* nöronlar
- denge, 65, 67
- deniz buzu, 170, 172
- deniz kabukları, 155, 159, 161
- denizler, 161, 170-3, 174, 175, 316 nn. 2, 3; ısı, 170; tuz, 170
- deniz suyu, 80; *ayrıca bkz.* deniz buzu
- deniz tabanı, 157-60, 175
- deniz üzümü, 64-5
- denizyıldızı, 268, 334 n. 9
- Dennett, Daniel, 64
- depremler, 147, 160, 161
- Derin Zaman, 156
- develer, 100
- Diamond, Jared, 98, 99, 100
- Dickens, Charles, 94
- Dickinson, Emily, 59
- Dicle nehri, 91
- dil (lisan), 65, 67, 75, 83, 94, 96
- Diller, Phyllis, 41
- dinozorlar, 29, 106, 275
- diploid, 51
- Dirac, Paul, 267
- dişler, 79, 83
- DNA (deoksiribonükleik asit), 4-5, 8-9, 11, 14, 15, 16, 35, 43-4, 45, 47, 49, 51, 53-4, 65, 70, 75, 160, 249, 300 n.5, 12; 305-6 n. 13; bilgi depolanması, 299-300 n.4; 303-4 n.8; bitkiye ait, 92; çaprazlama (crossover), 52, fazlalığı, 36; insana ait, 35-6, 37; kopyalanması, 12, 35-6, 44, 303 n. 6; mitokondri, 305-6 n. 13; mutasyon, 35, 44; paketlenmesi, 305 n. 10; protein ifadesi, 6-7, 9-10, 35-6; süpersarım, 305 n. 10; yapısı, 7, 35, 47, 299-300 n. 4; *ayrıca bkz.* adenin, kromozomlar, sitozin, guanin, insanlar, timin
- Dobzhansky, Theodosius, 32
- doğal seçim, 31-34, 36, 38-9, 44, 46, 52, 53, 71, 76, 92, 94, 131, 148, 160, 302-3 n. 2; *ayrıca bkz.* kalıtım, özellikler (kalıtsal), çeşitlilik (varyasyon)
- domuzlar, 27, 47, 95, 99
- dopamin, 63
- doping, *bkz.* atomlar: doping
- dot-com yükselişi, 137, 315 n. 2
- dölllenme, iç 53
- döteryum, 317 n. 3
- döviz, 147
- Drake Geçidi, 172
- durağan hal, 334 n. 5
- durağanlık, 143
- Durant, Will, 153
- duyular, 59, 63, 69
- Dünya: atmosfer, 20, 81, 161, 163-76, 211-2, 319 n. 13, 321-2 n.1; biyosfer, 186; büyüklük, 165; dönüş, 166-9, 318 n. 9, 10, 318-9 n. 11, 319 n. 12; ekzeni, 155-6; ekvator, 82, 166, 167, 170-1, 172, 173, 317-8 n. 5; gündönümleri, 171; iç kısım, 160; kutup bandı, 167, 319 n. 12; kutuplar, 166-7, 170-1, 172, 173, 318 nn. 8, 10, 319 nn. 11, 12; 319-20 n. 17; kuzey/güney yarımküreler, 166, 168-9, 171, 255, 318-9 n. 11, 319 n. 16; kütleçekim, 226-7, 257-8, 266; manto, 158-162; manyetik alan, 110, 157; manyetik kutuplar, 157; merkez, 161-2; mevsimler, 170, 319 n. 16, 319-20 n. 17; oluşum, 316 n. 3; sıcaklık ekzeni, 165, 166, 169, 170, 173-4, 185, 319 n. 16, 323 n. 10; tropik bant, 168, 319 n. 12; troposfer, 169, 174, yaşanabilirlik, 161, 165; ısı, 160-2, 166-8, 170-1, 172-3, 175, 181, 184, 317-8 n. 5, 318 n. 8, 319 n. 16, 321-2 n. 1, yaşı, 156; yerkabuğu, 147, 156-60; yörunge, 81, 170, 171, 209, 220, 259, 275, 308

n. 8, 321 n. 23; *ayrıca bkz.* hava, iklim, kıtasal kabuk, kıta kayması, Milanković döngüleri, okyanusal kabuk, Kartopu Dünya, tektonik levhalar, hava sistemleri
Dünya Ticaret Örgütü, 144

Eagle barı, Cambridge, 303 n. 6
Eddington, Arthur, 184, 217, 225,
Edison, Thomas, 108, 112, 311 n. 8
Einstein, Albert, 109, 114, 125, 189,
194, 195, 201, 207, 209-10, 213,
214-216, 219-22, 227-33, 244, 256-
60, 262, 269-70, 282, 300 n. 11, 311
n. 12, 312 n. 20, 324 n. 5, 327 n. 6
infra, 328 n. 8, 335 n. 9, 335-6 n. 11,
336 n. 13

ekin, *bkz.* çiftçilik

ekonofizik, 147

ekonomi, 132-3, 137-8, 145-7, 149,
315 n. 2 *ayrıca bkz.* ekonofizik,
enflasyon, korumacılık, durağanlık,
mali destek, ticaret ve takas

eksiklik teoremi, 313-4 n. 4

elektrik, 103-16, 122, 310 n. 5, 318 n.
10; evlere iletimi, 103, 111-2, 115,
312 n. 17; hücre içi, 61-3, 307-8 n.
17; uzun mesafelere iletim, 111-3;
yalıtım, 123, 307-8 n. 17, 312 n. 17;
yük dengesizliği, 107, 311 nn. 7,9;
312 n. 13; *ayrıca bkz.* iletkenler, ev
aletleri, elektrik santralleri, yarı-
iletkenler, bobin

elektrik akımı, 107, 110-2, 125, 182,
310 n. 5; voltaj, 112-3, 121, 122, 312
n. 18; *ayrıca bkz.* AC (değişken
akım), DC (doğru akım)

elektrik alanı, 22, 109-12, 113-4, 116,
312 nn. 15, 17, 20; 326-7 n. 5

elektrik jeneratörü, 111, 113

elektrik kuvveti, 105-8, 115-6, 245, 309
n. 2, 311 n. 11

elektrik motoru, 113, 133

elektrik santralleri, 111-3, 137, 312 n.

17; *ayrıca bkz.* nükleer güç
elektrodinamik, 115, 237

elektromanyetik alan, 114

electromanyetik dalga, 114, 202

elektromanyetik kuvvet, 244, 245, 289

elektromanyetik tayf, 328 n. 11

elektromanyetizma, 114-5, 202, 322 n.
4; Maxwell kuramı, 202

elektronlar, 17, 19-20, 21-3, 25, 26,

106-8, 109, 111-3, 121-3, 124, 182,

239-43, 246-8, 227, 301 nn. 1, 3, 4;

302 nn. 6, 7; 309-10 n. 2; 310 nn. 3,

4, 5; 311 n. 9, 312 nn. 15, 17; 326-7

n. 5, 332 n. 10, 335 n. 8, 336-7 n.

14; ayırt edilemezlik, 326 n. 19, 330

n. 11; bir araya gelmeleri, 20, 21,

331 n. 2; kabuk düzenlenmesi, 23,

205, 301 n. 3; pozitif (artı)/negative

(eksi) yüklü, 105-7, 110, 115-6,

123, 239-40, 310 n. 5, 311 n. 10, 312

n. 13; spin, 200-1, 204-6, 242, 325

nn. 9-10, 326 n. 19, 330 n. 11; ve

kuantum kuramı, 194, 196-9, 200-2,

204-5, 325 nn. 8, 15; yörüngeleri,

202-3, 239, 241, 243

elektron dalgaları, 193, 198, 202-4, 310

n. 3, 325 n. 15, 326 n. 19, 330 n. 11

elektron yozlaşma basıncı, 325 n.

15 elektron nötrinoları, *bkz.*

Nötrinolar

elektrozayıf kuvvet, 245

elementler, 239

Eliot, T. S., 186

elips, 328 n. 10

embriyo gelişimi, 12, 35, 50, 53, 75-6,
303 n. 7

Endonezya, 32

endoplazmik retikulum, 8

enerji, 229, 243, 278, 284-5, 295, 328

n. 8; asgariye indirme, 20, 204;

aşırı yüksek, 247; dağılımı, 312 n.

17; dönüşümü, 20; elektrik, 20,

106-7, 125-6, 182, 214; en düşük,

301 n. 3; fazlalığı, 20-2, 202, 334-5

n. 6; gereksinimi, 7; Güneş, 166,

186, 302 n. 11, 321-2 n. 1; hareket,

182-3, 214-6, 245, 268, 301 n. 1, 323

n. 14, 334-5 n. 6; jeokimyasal, 302

n. 11; ISI, 22, 108, 111, 113, 182-6, 214, 239, 268, 269, 312 n. 19, 322 nn. 3, 7; ışık, 20, 24, 108, 111, 113, 125-6, 182, 202, 203, 228, 323 n. 11; kaybı, 202; kaynak, kimyasal, 19; kimyasal, 182, 214, 268; kişi başı, 136-7; korunumu yasası, 182, 214, 239, 268, 269, 310 n. 4, 322 n. 6, 335 n. 10; kütleçekimsel, 20, 203, 228, 229; manyetik, 320 n. 19; nükleer, 290; orbital, 231; patlaması, 106-7, 310 n. 4; serbest kalışı, 20-2, 24, 25; ses, 185, 215, 228; üretimi, 4, 5, 7-8, 11, 17; ve iş, 20, 21, 301 n. 1; ve kütle, 125, 216, 220, 224, 239, 245, 246-7, 281, 290, 295, 327 n. 5; verimliliği, 44, 65, 322 n. 7; yoğunluğu, 282, 335-6 n.11, 336 n. 13; *ayrıca bkz.* karanlık enerji, Güneş ışığı
 enflasyon, 133
 “Enigma” şifresi, 119
 enlem, 318-9 n. 11
 entropi, 183-6, 296, 323 nn. 8, 12, 14; 332 n. 9
 epigenetik, 54
 ESA (Avrupa Uzay Ajansı), 166
 eşeysiz üreme, 44-6, 47, 50-1
 et, 78, 79, 83, 95-6
 ev aletleri, 105, 110, 112
 Everest Tepesi, 328-9 n. 12
 evrim, 27-39, 51, 52, 70, 107, 130, 148, 160; *ayrıca bkz.* yapay seçim, doğal seçim
 eroin, 142
 eşcinsellik, 54
 eşey hücreleri, *bkz.* gametler
 eşeyssel farklılıklar, 49, 50
 eşeyssel üreme, 35-6, 41-56, 304 n. 9
 etoburlar, 20-1
 Evren, 125, 261, 285, 291, 337 n. 18; algısı, 59, 71, 121, 183, 250-1, 262, 267, 275, 279, 281, 284, 289, 294, 296, 313-4 n. 4, 334 n. 4; geçmiş, 230, 255-7, 276, 291, 332 n. 10, 334 n. 5, 335 n. 8; geleceği, 223, 259, 289; genişleme, 186, 229, 276-80,

282-3, 286, 324 n. 16, 335 n. 9, 337 n. 18; gözlemlenebilir, 15, 255, 285, 335 n. 9, 337 n. 19; oluşum, 243, 245, 249, 261, 270, 275-81, 283, 336 nn. 13, 14, 337 n. 16; sıcaklık, 185-6, 280-4, 325 n. 13; şişme, 280, 282, 285-6, 324 n. 5; ve entropi, 184-7, 261, 323 n. 12; ve galaksiler, 65, 303 n. 4; ve ışık, 186, 209-10, 224, 232-3, 255, 277, 291, 329 n. 14, 331 n. 2; ve karanlık enerji, 246, 282-5; ve kuantum kuramı, 191, 195, 201, 205, 215, 231, 248, 267, 283, 284-5, 286, 336 n. 12; ölçek, 276, 335 n. 9; ve kütle enerjisi, 292, 282; *ayrıca bkz.* Büyük Patlama, kozmik arkaplan ışınımı, olay ufku, galaksiler, Hawking ışınımı, son saçılma dönemi, çoklu evren, kırmızıya kayma
 Evrensel Turing Makinesi, 120-1
 fabrikalar, 137-8
 Falkland adaları, 157
 Faraday, Michael, 111, 312 n. 21
 Faraday rotasyonu, 312-3 n. 21
 faşizm, 141
 Federal Reserv Kurulu (ABD), 145
 felsefe, 97
 feodalizm, 141
 Ferguson, Niall, 127
 fermantasyon, 21
 fermiyonlar, 206, 246, 330 n. 11, 330-1 n. 15; spin, 330-1 n. 15
 Feynman, Richard, 115, 116, 202, 205, 237, 265; *The Feynman Lectures on Physics*, 235
 Fırat nehri, 91
 fırtına, 22, 106, 108, 311 n. 9
 Fischbach, Gerald D., 66
 Fischer, Irving, 146
 “Fish” şifresi, 119
 fizik ve fizikçiler, 14, 20, 106, 109-11, 113-4, 121, 145, 147, 186-7, 191, 192, 194, 198, 200, 201, 209, 211, 215-6, 217, 219-20, 223, 229, 230, 231, 235, 237, 239, 241, 244-6, 248-51, 259-62,

- 263-70, 279, 280, 281-2, 286, 290, 295, 296, 314 n. 5, 318 n. 10, 323 n. 10, 326 n. 2, 326-7 n. 5, 329 n. 2, 335 n. 7, 338 n. 5; *ayrıca bkz.* parçacık fiziği
- fizik yasaları, 182, 184, 214, 241, 259, 260, 278, 290, 322 n. 6, 331-2 n. 8, 332 n. 9
- Flores, Endonezya, 80
- Ford, Henry, 127
- fosfor, 123
- fosil kanıtlar, 4, 6, 29-30, 38, 76-7, 79, 81, 82, 85, 155, 308 n. 6; *ayrıca bkz.* stromatolitler
- fosil yakıtlar, 25, 137, 145, 173; *ayrıca bkz.* kömür, petrol
- fotino, 246
- fotoğraf, 310-1 n. 6
- fotolitografi, 124
- fotonlar, 17, 24, 107, 186, 194-5, 200, 202, 203, 206, 224, 244, 246, 248, 277, 325 n. 12, 327 n. 5, 332 n. 10, 335 n. 8, 336-7 n. 14; sanal, 311 n. 11
- fotosentez, 24-5, 165, 173, 300 n. 6; yapay 25
- fMRI (işlevsel manyetik rezonans görüntüleme), 69
- Franklin, Benjamin, 94, 310 n. 5
- Freud, Sigmund, 89, 94
- Friedman, Milton, 146
- GABA (gama aminobütirik asit), 62
- galaksiler, 244, 266, 275, 277-8, 279-84, 290-3, 332 n. 10, 334 nn. 1, 5, 336 n. 14, 336-7 n. 15; eski, 255; genişleme, 229, 278; geri çekilme (resesyon), 276, 279; görüntü olarak, 3, 11-2; kaynaklı ışık, 230-1, 277, 285, 290; kümeler, 267; oluşum, 283-4, 284-5, 293-4, 316 n. 5, 334 nn. 1, 5, 336-7 n. 14; radyo salımları, 292; sarmal, 337 n. 15; sayı, 64, 276; uzak, 229-30; ve kütleçekim, 244, 246, 266-7, 276, 381-2, 332 n. 10; zeki yaşam formları, 10; *ayrıca bkz.* Andromeda galaksisi, karadelikler, karanlık madde, jetler, Samanyolu galaksisi, kuazarlar, yıldızlar
- Galápagos takımadaları, 30, 36, 38
- Galbraith, John Kenneth, 138, 139
- Galileo Galilei, 210, 220, 318 n. 9
- galyum, 123
- gama ışınları, 328 n. 11, 334-5 n. 6
- gametler, 48; birleşmeleri, 48, 306 n. 15
- Gauguin, Paul, 100
- Gauss dağılımı, 146
- gayrisafi yurt içi hasıla, 149
- gazlar, 169, 238, 249-50; basınç, 319 n. 13; yıldızlararası, 292
- gebelik, 56
- Geç Dönem Ağır Bombardıman Süreci, 165, 317 n. 2
- Geiger, Hans, 239, 241
- gelişmekte olan ülkeler, 143-4
- Gell-Mann, Murray, 248
- gemiler, 96, 97
- genler, 14-5, 35, 36, 38, 44, 46, 48-52, 55, 75-6, 249, 306 n. 15; baskın, 49; çekinik, 50; dizilim, 305 n. 6; düzenleyici, 11, 76; etkinleşmeleri, 303 n. 7; göz rengi, 75; ifadeleri, 75; insana ait, 14; kan grubu, 75; kombinasyon, 36, 47; kopyalama, 51; mikrobiyal, 14; mutasyon, 15, 35-8, 45, 49; *ayrıca bkz.* aleller, diploid, haploid
- genetik, 34, 70, 160; *ayrıca bkz.* DNA
- genetik bozukluklar, 55
- genetik kod, 35
- genetik mühendisliği, 92, 95, 101
- geometri, 333; *ayrıca bkz.* uzay-zaman: bükülme
- Germer, Lester, 198, 325 n. 8
- Germonpré, Mietje, 309 n. 6
- geyik, 302 n. 1
- gezegenimsiler, 316 n. 5
- gezegenler, 244; biçim, 309 n. 2; oluşum, 316 n. 5; yörüngeleri, 19, 326 n. 18
- girdaplar, 168
- giyecek, 82, 84
- Gladstone, William, 111
- glia hücreleri, 307-8 n. 17

- glukoz, 22
gluon alanı, 215, 244
gluonlar, 244
glutamat, 51, 60, 62
gluteus maximus (kalça kası), 77
Gold, Thomas, 334 n. 5
Golgi cisimciği, 8
gonad hücreleri, 50, 53
goriller, 29
Gould, Stephen Jay, 9
göçmenlik, 142
Gödel, Kurt, 313 n. 4
gökbilim ve gökbilimciler, 7, 11, 32, 225, 227, 229, 230, 231, 243, 255-6, 267, 275, 290, 292-4
göktaşı, 156
göllere, 155, 316 n. 2
görelilik, 257-8, 261; genel görelilik kuramı, 217-33, 257, 268, 289, 290, 327 n. 6 *infra*, 333 n. 3, 335 n. 9, 336 n. 13; kovaryans (eşdeğişkenlik) 334 n. 9; özel görelilik kuramı, 201, 207-16, 220, 222, 224-5, 257, 268, 335 n. 9
görelili sapma (ya da ışıma), 326 n. 1
göz, 38-9, 192, 257, 277; retina, 200
göz rengi, *bkz.* Genler
Grahame, Kenneth, 306 n. 2
granit, 159, 316 n. 7
graviton, 244, 247
Great Eastern, 316 n. 4
Greene, Graham, 253
Greenspan, Alan, 145, 148
grip, 100
Grönland, 160, 174; buz örtüsü, 174
guanin, 35
Guth, Alan, 280
gümrük vergisi, 143-4
gümüş, 312 n. 15
Güneş: çekimsel tümsek, 321 n. 23; dış katmanlar, 321 n. 23; dönüş, 320 n. 18; döngüsü, 320 n. 19; gelecekte, 321 n. 23; ısı çıktısı, 171-2, 175-6, 320 nn. 21, 22; kütle, 225, 228, 292, 293; lekeleri, 320 n. 18; manyetik alan, 320 n. 18; morötesi ışınım, 172; nükleer reaktör olarak, 169, 239; nötrinolar, 239; oluşum, 316 n. 5; patlamalar, 320 nn. 18, 19; sıcaklık, 162, 185, 320 n. 19; tutulma, 225, 228, 327-8 n. 7; yörünge, 275
Güneş ışığı, 25-6, 137, 171, 172-4, 186, 241, 320 n. 21, 321-2 n. 1, 330 n. 8, 334-5 n. 6
Güneş patlamaları, 147
Güneş Sistemi, 176, 202, 275, 326 n. 18; dış kısımlar, 317 n. 2; kütleçekim, 226-7; oluşum, 156, 316 n. 5, 317 n. 2
Güney Afrika, 82
Güney Amerika, 30-1, 80, 81, 99, 157-60, 172, 173; *ayrıca bkz.* Amerika
Güney Denizi Balonu, 315 n. 2
Gürcistan, 80
Gwynne, Peter, 11
habitat kaybı, 145
hacim, 191, 325 n. 15
Hadley döngüsü, 166, 167, 170, 319 n. 12
Hadley, George, 166
Haines, John, 276
Hamilton, Andy, 328 n. 9
Hannibal, 255
haploid, 51
hareket yasaları, 210, 265
haritalar, 157
Hartle, Jim, 261-2
Hartley, L. P., 156
Hartley 2 kuyruklu yıldızı, 317 n. 3
Harvard Tıp Okulu, 303 n. 8
Harvard Üniversitesi, 307 n. 13
hasat, 92
hava, 19, 22, 23-4, 211-2;
konveksiyon, 166-8, 173-4, 318 n. 8, 318 nn. 10, 12; 319 n. 16; basınç, 181-2; basınç eşitlenmesi, 168; direnç, 220-1; fırtınada, 106-8, 302 nn. 7, 9; *ayrıca bkz.* Dünya: atmosfer, Hadley dolaşım hücreleri, girdaplar, hava sistemleri, rüzgar hava sistemleri, 168-9; antisiklonlar, 169; siklonlar, 168

- hava tahmini, 169-70
Hawaii, 162
Hawking, Stephen, 73, 248, 295-6, 338 n. 5
Hawking ışıınımı, 295-6, 338 n. 5
Hawthorne, Nathaniel, 103
hayal gücü, 65
hayvanlar, 249: av olarak, 96; çeşitlilik (varyasyon), 30, 35, 75; çok hücreli, 11, 61; evcil hayvanlar olarak, 96; evcilleştirilmeleri, 30, 85, 95-6, 98-9, 136; görüş, 39; hastalıkları, 100; ortak yavru, 36; solunum, 19, 21, 23, 166; tek hücreli, 13; üreme, 31, 53; ve besin, 20-1; ve mitokondriler, 7; yokoluş, 99, 100; *ayrıca bkz.* kemikler, giyecek, et, doğal seçim, sinir sistemi
Heidelberg, Almanya, 81
Heisenberg Belirsizlik İlkesi, 325 n. 15
Heisenberg, Werner, 192-3
helyum, 240, 243, 277, 320 n. 21, 335 n. 6, 337 n. 16
hemogloblin, 23-4
Herşeyin Kuramı, 248-50, 251
Hertz, Heinrich, 114
hesaplanamazlık, 313-4 n. 4
heteroseksüellik, 54
hız, 182, 210-1, 322 n. 5; bükülmüş, 225; sabit, 219, 223; sonsuz, 209, 214; *ayrıca bkz.* ışık: hızı
hiçlik, 269
hidrojen, 19-21, 23-5, 174, 175-6, 205, 239-41, 301 nn. 2, 3, 4; 302 nn. 6, 11; 309-10 n. 2, 317 n. 3, 320-1 n. 21, 322 n. 4, 334-5 n. 6
Hidrojen bombası, *bkz.* nükleer bomba
Higgs alanı, 244, 326-7 n. 5
Higgs bozonu, 244
Higgs mekanizması, 215
Higgs parçacığı, 215, 245
Higgs, Peter, 326-7 n. 5
Himalayalar, 82, 156, 159
Hindistan, 144
hiperbol, 328 n. 10
hipokampus, *bkz.* limbik sistem
hisseler, 142
histonlar, 305 n. 10
Hollanda, 144
hologramlar, 289, 294-6
homininler, 76, 77, 79, 80-5, 308 n. 2; *ayrıca bkz. australopithecuslar, Australopithecus afarensis, Australopithecus anamensis, şempanzeler, Homo erectus, Homo floresiensis, Homo heidelbergensis, insanlar, Neandertaller*
Homo erectus, 78, 80-1, 83, 255; göç, 80-1
Homo floresiensis, 80
Homo heidelbergensis, 81
Homo sapiens, 84
Hooke, Robert, 3
hormonlar, 50
Hoyle, Fred, 178, 334 n. 5
Hubble, Edwin, 276
Hulse, Russell, 231
Hutton, James, 156
Huxley, Aldous, 111; *Cesur Yeni Dünya*, 111
Huxley, Thomas, 31
hücreler, 3-15, 22, 34-5, 52-3, 93, 249; birleşme, 50-2; bölünme, 12, 303-4 n. 8; bütünleşme, 9; büyüklük, 6-7; çekirdek, 9-10, 11, 35, 61, 93, 300 n. 12; 305 n. 10; elektrik yükü, 61-3, 116; görüntü, 4; ısıya duyarlı, 39; ışığa duyarlı, 39; iletişim, 12, 59-61; işbirliği, 6, 9, 10; iyon kanalları, 60-2; karmaşıklık, 7; kimyasal haberleşme, 5-6, 60, 62, 307 n. 8; korunma, 5-6; mikrotübüller, 9-10; oluşum, 47, 48, 52, 185; nakliye sistemi 11, 12; ve DNA, 35, 47, 48, 51, 54; ve proteinler, 8-9, 302 n. 5; ve su kaybı, 5; voltaj kapılı iyon kanlları, 61; yapı, 4-5, 302 n. 5; yeniden yapılanma, 307 n. 5; zar, 4-5, 8, 9, 11, 51, 61, 185, 300 nn. 5, 7; *ayrıca bkz.* hücre ölümü, kan hücreleri, sitoplazma, endoplazmik retikulum, Golgi cisimciği, gonad hücreleri, Krebs

- döngüsü, lizozomlar, mitokondriler,
nöronlar, organeller, prokaryotlar,
ribozomlar, veziküller
- hücre ölümü, 22
- hükümet, 149
- Irak, 91
- ısı, *bkz.* enerji: ısı
- ısı kaybı, 78
- Isı Ölümü, 186-7
- ıslaklık, 249
- ışığa direnç, 127, 314 n. 11
- ışık, 114, 124-5, 202, 219, 230, 246, 257,
289, 312-3 n. 21, 329 n. 14, 331 n.
2; bükülme, 193, 217, 223-5, 228-9;
dalga olarak, 191-3, 197, 230, 232-3,
312-3 n. 21; 324 n. 4; girişim, 192,
197; görünür ışık, 192, 276-7, 284,
323 n. 11; hızı, 114, 201, 207, 209-
15, 219, 224, 245, 255-8, 268, 279,
292, 326 n. 1; 335 n. 9; iletimi, 194;
kırılım, 192; kırmızı, 230; kuramı,
191-3; lazer, 206, 231; mavi, 230;
parçacık olarak, 192-3, 324 n. 4;
titreşim, 230; ve karadelikler, 327 n.
4; ve madde, 237; yansıma, 194-5;
ayrıca bkz. enerji: ışık, lazerler, ışık
ufku, fotonlar, kırmızıya kayma,
morötesi ışık, dalgaboyu, X-ışınları
- ışık ufku, 285
- İber yarımadası, 83
- IBM, 117, 386 n. 3
- iki ayaklılık, 76-9
- ikili pulsar, *bkz.* PSR B1913+16 (ikili
pulsar)
- ikili sistem, 119-21, 122
- İkinci Dünya Savaşı, 119
- iklim, 171-2
- iklim değişimi, 77, 82, 91-2, 100-1
- ilaç sanayisi, 148
- iletkenler: elektrik, 122, 123, 310 n. 5,
312 n. 15; ısı, 318 n. 8; *ayrıca bkz.*
bobin, iletken
- İleri Araştırmalar Enstitüsü,
Princeton, 296
- indirgenme, 301-2 n. 4
- InfoWorld*, 125, 314 n. 14
- İngiltere, 160
- İnkalar, 99
- inme, 67, 70; rehabilitasyon, 70
- insan evrimi 75-85
- insan genomu, 14
- insanlar, 11, 23, 29, 35, 36, 49, 52,
69, 75, 77, 81, 83, 121, 122, 192,
250; DNA, 37, 49, 75-6, 84; enerji
kullanımı, 136-7; eşya olarak,
149; etkileşim, 79, 82, 93-4, 98, 99,
148; geleceklere, 100; hastalıklar,
100; ısı kaybı, 181; kişisel çıkarlar,
150; seçkinler, 95, 141; solunum,
166; terleme, 181; türler arası
üreme, 84; uzmanlaşma, 96, 131-2;
yenidoğanlar, 84; *ayrıca bkz.* beyin,
insan; homininler
- İnsan Mikrobiyom Projesi, 13
- insansı-maymunlar, 75, 77-8, 94, 96,
131, 250, 267
- Intel, 124, 125
- internet, 100
- ipek böcekleri, 95
- ipotek, 135
- ishal, 13
- İskoçya, 156, 198
- ispinozlar, 30, 38
- iş, 182-6, 301 n. 1, 322 n. 7
- iş alanı, 137
- işgücü, 149
- It's Only a Theory*, 328 n. 9
- ivme, 220-7, 257, 292, 327 n. 2, 327 n.
6, *ayrıca bkz.* Kütleçekim
- iyon kanalları, 60-1
- iyonlar, 61, 307 n. 6
- İzlanda, 157
- izotoplar, 317 n. 3
- Jacob, François, 27
- Japonya, 330 n. 7
- Jarman, Derek, 54
- Java, 80
- jeoloji, 153-62
- jet akımı, 168
- jetler, kozmik, 292, 294

- John Innes Centre ve Institute of Food Research, 300 n. 9
 Johnson, George, 68
 Jones, Steve, 38
 Jones, Terry, 312 n. 16
 Jüpiter, 167, 317 n. 2, 326 n. 18;
 bölgeler, 167; dönüşü, 166;
 kuşaklar, 167
- kafatası, 65, 79, 81
 Kalahari çölü, 78
 kalça kası, *bkz. gluteus maximus*
 kaldıraç, 185
 Kaledonya Dağları, 156
 kalıtım, 33, 36
 Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü,
 Pasadena, 321 n. 23
 Kaliforniya Üniversitesi (Santa
 Barbara), 261
 kalkülüs, 120
 kalp, 24, 302 n. 10
 kalp atım hızı, 65
 kalp krizi, 24
 kalsiyum, 61
 kamu hizmetleri, 315 n. 2
 kan, 3, 302 n. 10
 Kanada, 170, 173
 kan damarları, 23-4
 kan grubu, *bkz. genler*
 kan hücreleri, 11, 12, 23-4, 36, 53-5
 kan pıhtısı, 66
 kanser yapıcı kimyasallar, 36
 kaos kuramı, 169
 kapitalizm, 139-50; serbest Pazar, 142;
 kâr, 149-50; *ayrıca bkz. pazar*
 kâr, *bkz. kapitalizm: kâr*
 kara, 148-9
 karaciğer, 66
 karaciğer hücreleri, 35
 kara delikler, 14, 223, 226, 230, 232,
 287, 327 n. 4, 338 nn. 3, 5; entropi,
 296; tekillik, 290, 295; yıldız kütlesi,
 290-2; *ayrıca bkz. Cygnus X-1,*
 Sagittarius A*
- karanlık enerji, 246, 281-2, 284, 324 n.
 16, 336 n. 13
 karanlık madde, 246, 283, 284, 337 n.
- 15
 karar verilemezlik, 313-4 n. 4
 karbon, 23, 25, 293
 karbondioksit, 23-5, 161, 165, 173-6,
 302 n. 11, 321-2 n. 1
 Kartopu Dünya, 173
 karıncalar, 131
 kasırgalar, 182
 kaslar, 3, 62, 63, 67, 69, 70, 182, 183,
 214; kas gücü, 96
 katılar, 249
 kayalar, 153, 155-6, 157, 158; demirce
 zengin, 166; manyetizma, 157;
 radyoaktif, 160; tortul, 156, 316 n.
 12; volkanik, 158-9
 keçiler, 95
 kediler, 47, 266; kılıç dişli, 81
 kelebek etkisi, *bkz. kaos kuramı*
 Kellogg, William, 175
 Kelvin ölçüğü, 323 n. 10
 Kelvin, William Thompson, Lord, 183,
 316 n. 4
 kemikler, 76, 79, 80-1
 Kennedy, Jackie, 41
 Kepler, Johannes, 228
 Keynes, John Maynard, 139
 Khufu, Firavun, 255
 kılcal, 54
 kırmızı cüceler, 293
 kırmızı devler, 176, 321 n. 23
 kırmızıya kayma: kozmolojik, 230;
 kütleçekimsel, 230-1
 kıta kayması, 157
 kıtalar, 157, 159, 172
 kıtasal kabuk, 159-61, 316 n. 7
 kızamık, 99, 100
 Kızıl Kraliçe Varsayımı, 46-7
 kıltaşı, 156
 kimlik, 1, 3
 kimya ve kimyacılar, 21, 23-4, 115-6,
 174, 181, 204-5, 238, 249
 King, Augusta Ada, Lovelace Kontesi,
 313 n. 3
 kireç, 175
 kirlilik, 144
 kistik fibroz, 36
 kişilik, 59

- klorofil, 24
 kloroplast, 300 n. 6
 komünizm, 139, 141, 150
 konik kesitler, 328 n. 10
 konum, 212, 258, 259, 270, 278, 324 n. 6, 326 n. 3, 338 n. 5; ikili, 196
 Kopernik, Nikola, 32
 korpus kallosum, *bkz.* neokorteks
 korumacılık, 143-4
 Kourou, Fransız Guyanası, 166
 koyunlar, 31, 95
 kozmik arkaplan ışıınımı, 186, 277, 279, 283, 331 n. 2, 334 nn. 3, 4, 5; 335 n. 8; 336-7 n. 14; sıcaklık, 279, 281-2
 kozmik hız sınırı, 201, 214, 220, 257, 335 n. 9
 kozmik ışınlar, 329 n. 14
 kozmoloji ve kozmologlar, 243, 273-86, 324 n. 5
 kömür, 25, 97, 111, 137, 145, 173, 314 n. 5, 321-2 n. 1
 köpekler, 47, 96, 309 n. 6
 Krebs döngüsü, 21, 23
 kredi derecelendirme kuruluşları, 136
 kredi kartları, 136
 kristal, 198, 199, 325 n. 8
 Kro-Magnonlar, 85
 kromatin, 305 n. 10
 kromozomlar, 35-6, 47-50, 52, 305 n. 10; 306 n. 15; sayıları, 47; X, 50; Y, 50; *ayrıca bkz.* SRY
 Kuiper Kuşağı, 317 n. 2
 kuantum dalgalanmalar, 283
 kuantum dalgaları, 198, 202, 204, 247, 324 n. 6, 325 n. 8; *ayrıca bkz.* orbitaler, dalgalar: girişim, dalgalar: süperpozisyon
 kuantum elektrodinamik, 237
 kuantum kuramı, 189-206, 244, 247-8, 269, 278, 280, 284, 286, 310 n. 3, 311 n. 11, 335 n. 10, 336 nn. 12, 13; 338 n. 5; kuantum hesaplama, 198; olasılık, 195, 196; öngörülemezlik, 195, 200, 324 n. 5
 kuantum sayılar, 203, 205
 kuantum spin, 200, 205; *ayrıca bkz.* açısıl momentum
 kuantum tuhaflığı, 197, 199-200, 202
 kuarklar, 206, 215, 241-3, 244-6, 249, 250, 251, 325 n. 10; alt kuarklar, 243; aşağı kuarklar, 241-3; ayırt edilemezlik, 242; tılsım kuarklar, 242; tuhaf kuarklar, 242; üst kuarklar, 243; yukarı kuarklar, 241-2, 244; *ayrıca bkz.* karşı-kuarklar
 kuazarlar, 290-1, 293, 294
 kurbağalar, 29
 kurşun, 175, 241
 kurt, 78
 kuvvet taşıyıcı parçacıklar, 244-5
 kuyruklu yıldızlar, 165, 304 n. 2
 Kuzey Amerika, 80, 81, 99; *ayrıca bkz.* Amerika
 Kuzey Atlantik taşıma bandı, 173
 Kuzey Buz Denizi, 173
 Kuzey Kutbu, 81
 küresel ısınma, 144-5, 172, 173-5, 321-2 n. 1
 Küresel Konumlandırma Uyduları, 257; yörünge, 257
 kürk, 77-8
 kütle, 214-5, 220-2, 223, 225, 227-30, 238, 243- 5, 265-6, 268, 277, 282-4, 291-2, 326-7 n. 5, 328 n. 9, 337 nn. 15, 16
 kütleçekim, 105-7, 116, 171, 182, 2130, 232-3, 245, 246-7, 257, 258, 259, 261, 265-6, 281-3, 289, 290, 294, 309 n. 1 *infra*, 309-10 n. 2, 316 n. 5, 320 n. 21, 323 n. 13, 325 n. 15, 326 n. 18, 327 n. 4, 327 n. 6 *infra*, 328 nn. 8, 9, 10; 330 n. 12, 332 n. 10, 333-4 n. 8, 335-6 n. 11, 336 n. 13, 336-7 n. 14, 337 n. 15; 338 n. 5; evrensel yasa, 219-20, 226, 227, 259, 265-7, 333 n. 3; itici, 280, 282-3, 324 n. 16, 335-6 n. 11; Newton'un kuramı, 194, 219, 220; ve gezegenler, 19, 309-10 n. 2, 319-20 n. 17, 321 n. 23; *ayrıca bkz.* ivme, galaksiler: ve kütleçekim, kırmızıya kayma: kütleçekimsel, dalgalar: kütleçekimsel
 kütleçekim kuvveti, 219-20, 244, 247

Laetoli, Tanzanya, 76, 101
 laktik asit, 20
 lamalar, 99
 Landau, Lev, 286
 Lane, Nick, 17
 Larkin, Philip, 53
 lav, 157-8, 165
 Lavoisier, Antoine, 238
 lazer interferometre, 232
 lazerler, 191, 206, 223-4
 Leahey, Louis, 85
 Leahey, Mary, 76
 Leeson, Nick, 138
 Leeuwenhoek, Antonie van, 3,4
 Leibniz, Gottfried, 121
 Lemaitre, George, 276
 leptonlar, 240-1, 244, 248-9; ayırt edilemezlik, 242
 Lessing, Doris, 68
 levha tektoniği, 157-62, 316 n. 7
 Lewis, Gilbert Newton, 38
 LIGO (Lazer İnterferometre Kütleşimsel Dalga Gözlemevi), 232
 limbik sistem, 65; amigdala, 65; hipokampus, 65; hipotalamus, 65
 lipidler (yağ asitleri), 5
 lityum, 205, 240
 Livio, Mario, 321 n. 23
 lizozomlar, 8
 Llinás, Rodolfo R., 64
 Londra Kraliyet Derneği, 3
 Lorenz, Edward, 169
 Lorentz büzülmesi, 211
 Los Angeles, 160
 Lovelock, James, 174
 LSD (liserjik asit dietilamid), 63
 Luther, Martin, 44
 MacLean, Paul, 65
 madde, 186, 193, 226-7, 231, 237-8, 239, 245, 249, 278, 281, 283-5, 289, 292, 324 n. 16, 328 n. 8, 330 n. 12, 332 n. 10, 335 n. 8, 335-6 n. 11, 336-7 n. 14, 337 n. 16; kozmik, 230; madde kuramı, 191-2; ayrıca bkz.

karanlık madde
 Madeira, 155
 magma, 159
 magnezyum, 293
 Maguire, Eleanor, 70
 mağarada yaşam, 82-3
 makro-durum, 382 n. 9
 Maldacena, Juan, 296
 Malezya, 32
 mali destek, 143-4
 Manhattan Projesi, 147
 mantarlar, 11, 13, 29, 44, 301 n. 15
 mantık kapısı, bkz. bilgisayarlar
 manyetik alan, 109, 111-2, 113, 114-5, 200, 205, 312-3 n. 20; 313 n. 21; dolanım, 110
 manyetik kuvvet, 245
 manyetik yük: kuzey/güney kutuplar, 312 n. 13
 manyetizma, 113-4, 157, 312-3 n. 21
 Margulis, Lynn, 7
 Mars, 321 n. 23, 326 n. 18
 Marsden, Ernest, 239, 241
 Marx, Karl, 141
 matematik ve matematikçiler, 119-20, 146-7, 16970, 226-7, 250, 267-8, 269, 270, 276, 313-4 n. 4, 322 n. 6, 333 n. 5
 Matrix, 313 n. 2
 Maxwell, James Clerk, 113-4, 115, 202, 238, 245, 312 n. 20
 Maxwell'in kuramı, bkz. elektromanyetizma, Maxwell'in kuramı
 maya, 20
 mayoz, 47, 51, 52, 306 n. 15
 MC1R, 49
 McGoohan, Patrick, 150
 McOwan, Peter, 314 n. 6
 McPhee, John, 153
 Mears, Ray, 192
 Médaille, John, 135
 meditasyon, bkz. nöronlar
 mekanizasyon, 97
 mekik, 111
 Meksika Körfezi, 170, 172
 memeliler, 95

Mendel, Gregor, 33-5
 menenjit, 66
 menopoz, 55
 merak, 59, 71
 merkezkaç kuvveti, 226, 316 n. 5
 Merkür, 176, 227-9; yörüngede
 yalpalanma, 228
 metan, 173
 meyve sinekleri, 34
 mezonlar, 245
 miknatıslar, 110-1, 113, 200
 Michelson, Albert, 209
 mide, 12, 83; duvarındaki hücreler, 12
 mikroçipler, 123, 124
 mikrodalga, 276, 334 n. 3
 mikro-durum, 332 n. 9
 mikroorganizmalar, 7, 11, 13, 301 n. 15
 Milanković döngüleri, 82, 171, 308 n. 8
 Milanković, Milutin, 82
 Milne, A. A., 253
 mimivirüsler, 37
 Minkowski, Herman, 213, 258-9
 Minsky, Marvin, 69
 mitokondriler, 7-8, 305-6 n. 13
 mitoz, 48, 49
 miyelin, 307 n. 17
 moleküller, 250; bölünme, 172, 173,
 175; elektrik yükü, 116, 307 n. 6;
 kopyalama, 43-4; oluşum, 20, 122,
 204, 241, 249-50, 322 n. 4; ve hücre
 yapımı, 5-6, 22; ve ısı, 182-4, 323 n.
 5, 323 n. 14; yüksek irtifa, 172;
 momentum, 247, 325 nn. 14, 15; 327
 n. 5; korunumu yasası, 268; açısal
 momentumun korunumu yasası,
 268
Monty Python, 312 n. 16
 Moore, Gordon, 125
 Morgan, Thomas Hunt, 34
 Morley, Edward, 209
 morfogenler, 303 n. 7
 morötesi ışık, 36, 124, 172, 320 n. 19
 Mors alfabesi, 201
 MRSA (metisiline dirençli
Staphylococcus aureus), 13
 MS (multipl skleroz), 307 n. 17
 muonlar, 211-2, 242-3, 326 n. 2; *ayrıca*

bkz. Nötrinolar
 mutlak sıfır, 279, 335 n. 7
n-tipi malzeme, 123
 NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay
 Dairesi), 166, 337 n. 18
 Navier-Stokes denklemi, 169
 naylon, 108, 311 n. 9
 Neandertaller, 81, 83-4; türler arası
 üreme, 84
 neokorteks, 65-6; korpus kallosum, 66;
 sol/sağ taraflar, 66-7; yarım küreler,
 66
 Neptün, 317 n. 2
 nörobilim ve nörobilimciler, 64, 67,
 71, 250
 nöronlar, 3, 11, 36, 62-6, 67-72, 299
 n. 1, 307-8 n. 17; ağlar, 63, 69-70;
 aksonlar, 62-4, 67, 69, 307 n. 8, 307-
 8 n. 17; bağlantılar, 66-7; bellek,
 63, 66-70; dendritler, 62-4, 66, 68,
 69; meditasyon, 70; öğrenme, 66-
 71; reseptörler (almaçlar), 62, 64;
 sinaps aralığı 68, 307 n. 8; sinapslar,
 62, 64; tekrarlama, 67; terminal
 buton, 307 n. 8; unutma, 69; *ayrıca*
bkz. sinirsel iletiler
 nöroplastisite, 69, 70
 nörotransmitterler, *bkz.* sinirsel
 iletiler
 nötrinolar, 194, 242-3, 329 n. 14, 330
 nn. 7, 8, 12; elektron nötrinoları,
 241-3; muon nötrinoları, 243; steril,
 330 n. 12; tau nötrinoları, 243
 nötronlar, 194, 215, 239, 241-2, 243-5,
 302 n. 6
 nötron yıldızları, 97, 230-3, 328-9 n.
 12, 338 n. 3
 Newton, Isaac, 97, 121, 195, 219-20,
 226-9, 239, 265-7, 328 n. 8, 9; 329
 n. 2, 333 n. 3, 338 n. 5; *ayrıca bkz.*
 Kütleçekim
 New York, 112
New York Times, 269
 nitrojen (azot), 6, 165
 Nobel Ödülü, 115, 146, 246; Fizik, 198,
 231, 237, 290, 313 n. 9, 329 n. 3

- Noether, Emmy, 267, 268, 322 n. 6
 nüfus artışı, 93-5, 98, 99
 nükleer bomba, 106, 215-6, 276, 280
 nükleer güç, 111, 137, 312 n. 16
 nükleer radyasyon, 36
 nükleer reaktörler, 97, 191
 nükleer tepkime, 320 n. 21
 nükleer yakıt, 229, 330 n. 7
- oksidasyon, 301 n. 4
 oksijen, 19-25, 100, 165-6, 173, 196, 301
 nn. 2, 3, 4; 322 n. 4
 okuryazarlık, 95
 okyanusal kabuk, 159-60
 okyanuslar, *bkz.* Denizler
 olay ufku, 232-3, 289-290, 295
 omurilik, 3
 onluk sistem, 121
Ophioglossum vulgatum, 47
 optik, 211
 orak hücre anemisi, 54
 orangutanlar, 77
 orbitaller, 204-5
 organeller, 8-10, 51
 Ørsted, Hans Christian, 110
 Orta Doğu, 81
 ortak yaşam, 249
 ovum (yumurta hücresi), 12, 49, 53,
 55, 305-6 n. 13
 oyun konsolları, 124
 ozon, 172
- ökaryotlar, 7-10, 14, 50, 300 n. 5; 305
 n. 10; hücre iskeleti, 9
 ökaryotik hücreler, 7, 51, 300 n. 6;
 birleşme 51
 ölü gömme, 83
 öğrenme, *bkz.* nöronlar
 ön-evrim, 43-4
 öngörülebilirlik, 170
 özelleştirme, 315 n. 2
 özellikler (kalıtsal), 33, 35-7, 45
 özgecilik, 55
- p*-tipi malzeme, 123
 paleoantropoloji, 85
 panspermi, 304 n. 2
- para, 129-38, 149; bölünebilirlik, 132-3;
 senetler, 133-4; taşınabilirlik, 132
 parabol, 328 n. 10
Paramecium, 61
 parazitler, 39, 46-7, 83, 304 n. 9
 parçacık fiziği, 239, 280, 284
 parçacıklar, atom-altı 206, 211, 215,
 240, 242, 247, 270, 283, 295; *ayrıca*
bkz. karşı-parçacıklar, leptonlar,
 muonlar, kuarklar, taular
 parçacık hızlandırıcıları, 246-7
 Pasifik Okyanusu, 81, 82, 172
 Pauli Dışlama İlkesi, 205-6, 242, 326 n.
 19, 330 n. 11, 330-1 n. 15
 pazar, 141-50; dalgalanmalar, 146-7;
 denge, 145-7; düzenlemeler, 142-3;
 kararsızlık, 145-6, 148; karmaşıklık,
 148-9; kuralsızlaştırma, 143, 315
 n. 2; *ayrıca bkz.* döviz, vadeli
 sözleşmeler, gümrük vergisi,
 yaptırımlar, hisseler, borsa
 pazar yeri, 130, 132
 pelvis, 77
 Penrose, Roger, 258, 332 n. 10
 petrol, 25, 111, 145, 173
 Picasso, Pablo, 119
 pil, 22-3, 310 n. 5
 Pink Floyd, 1, 287
 Pinker, Steven, 94
 Piramitler, 255, 319-20 n. 17
 pirinç, 95
 Pisa Kulesi, 220
 piston, 181-5, 238, 322 n. 5, 323 n. 8,
 323 n. 14
 pişirme, 83
 piyasa, *bkz.* Pazar
 Planck sabiti, 325 n. 9
 plütonyum, 142, 239
 Polanyi, Karl, 148-9; *Büyük Dönüşüm*,
 149
 Polaris, 319-20 n. 17
 polen, 300 n. 11
 potasyum, 160, 205
 primatlar, 65, 80
 Principe, 225
The Prisoner, 150
 prokaryotlar, 4, 6, 7, 8-10, 13, 14, 305

- n. 10; *ayrıca bkz. Thiomargarita namibiensis*
- proteinler, 4, 12, 14, 23-5, 35, 48, 49, 59-60, 73, 83, 302 n. 5, 305 n. 10; biçim değişimi, 302 n. 7; değişim, 8; düzenek, 49; ifade, 6-7, 10, 35, 38, 44, 50; kırık, 49; protein kompleksleri, 21; taşıyıcı, 5; ve RNA, 299-300 n. 4; yapı, 4-5; *ayrıca bkz. histonlar, iyon kanalları, MC1R, tübülün*
- protonlar, 22, 106, 215, 238, 241-2, 243-5, 302 nn. 6, 7; 309-10 n. 2, 310 n. 3, 330 n. 7; pozitif elektrik yükü, 239, 241
- protozoonlar, 46
- Prout, William, 239
- PSR B1913+16 (ikili pulsar), 231
- Publius Scipio, 255
- Pugh, Emerson M., 71
- pulsarlar, 230-1, 338 n. 3; *ayrıca bkz. PSR B1913+16*
- pusula, manyetik, 110, 311 n. 12
- PVC, 312 n. 17
- Queen Mary, Londra Üniversitesi, 314 n. 6
- Rabbi, I. I., 243
- radyoaktiflik, 160, 324 n. 5
- radyoaktif tarihlendirme, 156
- radyo dalgaları, 115, 231, 296, 328 n. 11
- radyo iletişim, 115
- radyum, 239
- Raglan, Fitzroy Somerset, 4. Baron, 89
- rahim, *bkz. uterus*
- Ramón y Cajal, Santiago, 71
- Raskin, Jef, 313 n. 1
- Raspall, François-Vincent, 14
- renk, 229, 237, 250; tayf, 230, 328 n. 11
- reseptörler, *bkz. Nöronlar*
- Resnikoff, Howard, 186
- ribozomlar, 6, 8
- RNA (ribonükleik asit), 6, 8; bilgi depolanması, 299-300 n. 4; kopyalanma, 299-300 n. 4; ve proteinler, 8, 299-300 n. 4;
- Rohrer, Heinrich, 329 n. 3
- roket, 217, 219-22, 226; itme, 19-20, 21, 25, 301 n. 2
- Rumsfeld, Donald, 284
- Rusya, 304 n. 1
- Rutherford, Adam, 11
- Rutherford, Ernest, 239
- rüzgar: erozyon, 156; gücü, 111, 137; yüksek irtifalı, 168-9; *ayrıca bkz. jet akımı, yıldız rüzgarları, Alize rüzgarları*
- Ryan, Robert T., 169
- Sackmann, Juliana, 321 n. 23
- Sagan, Carl, 7, 165, 175, 273
- Sagittarius A*, 293
- sağkalım, 30, 31, 38, 45-6, 48, 52, 54, 60, 61, 75, 77, 84-5, 262, 302 n. 1
- Samanyolu galaksisi, 3, 11, 47, 267, 275-7, 282-3, 289, 290-1, 293, 294, 303 n. 4, 337 n. 15
- San Andreas Fayı, Kaliforniya, 147, 160
- San Francisco, 160
- sanat ve sanatçılar, 92, 96
- sanayi devrimi, 97, 98, 149
- sanrılar, 63
- santigrat, *bkz. Celsius ölçeği*
- Satürn, 317 n. 2; halkalar, 121
- savaş, 94, 96
- Scarre, Chris, 91
- Schmidt, Maarten, 290
- Schulman, Larry, 331 n. 8, 332 n. 10
- Scott, Dave, 220
- Seinfeld, 65
- sekoya ağaçları, 29
- selektron, 246
- sentez, 249
- SEOA (son evrensel ortak ata), 14-5
- sera gazları, 161, 173-5, 320-1 n. 22, 321-2 n. 1
- serebrospinal sıvı, 66
- seri üretim, 96-7
- sermaye, 141
- serotonin, 63
- Serratia marcescens*, 47

- ses dalgaları, 232
 Shakespeare, William, 111, 179, 249
 Shipman, Pat, 95-6
 Shockley, William, 314 n. 9
 sıcak hava balonları, 166
 sıcaklık, 182-4, 238, 246, 250-1, 270, 277, 279, 322 nn. 3, 7, 323 nn. 8, 10, 13, 335 n. 7; *ayrıca bkz.* mutlak sıfır, vücut sıcaklığı, Celsius (santigrat) ölçeği, Dünya: sıcaklık, Kelvin ölçeği, Güneş: sıcaklık
- sığır, 100
 sıtma, 36, 46, 54
 sıvılar, 249
 sicim kuramı, 247-8
 siklonlar, *bkz.* hava sistemleri
 silahlar, 76, 78, 99
 silikon, 69, 122, 123-4, 307 n. 13
 siller, 61
 simetri, 263, 267-70, 322 n. 6; dönel, 267, 267; zaman-öteleme, 267, 322 n. 6
 simya, 238
 sinapslar, *bkz.* nöronlar
 Sinclair, Upton, 141
 sinir hücreleri, *bkz.* nöronlar
 sinir sistemi, 60, 64, 65, 307 n. 13
 sinirsel iletiler, 50, 62-4, 68; *ayrıca bkz.* asetilkolin, dopamin, glutamat, serotonin
 sismik tomografi, 161
 sitoplazma, 5, 6, 7, 10
 sitozin, 35
 sivrisinek, 106-7, 310 n. 4
 siyanobakteriler, 100, 165, 173, 300 n. 6
 siyaset, 142, 143, 145, 149
 Smith, Adam, 141, 145, 150; *Ulusların Zenginliği*, 141
 Snow, C. P., 179
 sodyum, 60, 205, 229
 Sokal, Alan, 267
 soluma, 23-4, 65
 solunum, 17-25
 Sommerfeld, Arnold, 187
 sonar incelemeler, 157
 son saçılma dönemi, 255, 331 n. 2, 332 n. 10, 335 n. 8, 336-7 n. 14
 sonsuzluk, 209, 290, 328 n. 10
 sosyoloji ve sosyologlar, 125, 250
 sperm, 12, 48, 53, 305 n. 6
 Springsteen, Bruce, 78
 SRY (Y kromozomu üzerinde Cinsiyet Belirleyici Bölge), 50-1
 St. Helens Dağı, 158
 Standart Model, 245
 Stanford Üniversitesi, California, 296
Staphylococcus aureus, *bkz.* MRSA
 Starobinsky, Alexei, 280
 Stenger, Victor, 270
 Stephens, Mark, *bkz.* Cringely, Robert X.
 Stiglitz, Joseph, 142; *Eşitsizliğin Bedeli*, 142
 STM (Taramalı Tünelleme Mikroskopu), 329 n. 3
 Stoppard, Tom, 240
 stratosfer, *bkz.* Dünya: stratosfer
 stromatolitler, 6
 su, 21, 24, 25, 155, 156, 158-60, 163, 165, 172, 173, 176, 250, 270, 304 n. 9; 307 n. 5; 312 n. 16, 316 n. 7; buharı, 23, 163, 165, 174-6, 334 n. 4; dönüş yönü, 168; erozyon, 156; gücü, 96, 111, 137; kaynama, 160, 170; moleküler yapı, 21; ultra-saf, 330 n. 7; yoğunlaşma, 181; *ayrıca bkz.* buharlaşma, buz: tatlı su, buz, deniz buzu, buhar, ıslaklık
 su çarkı, 112
The Sunday Times, 138
 Suriye, 91
 Susskind, Leonard, 296
 sülfürik asit, 175
 Sümerler, 95
 süngerler, 60, 307 n. 5
 süperbilgisayarlar, 64
 Süper-Kamiokande detektörü, 330 n. 7
 süpernovalar, 211, 232-3, 328-9 n. 12, 329 n. 14
 süpersimetri, 246-7
 sürtünme, 185, 194
 Sze, Arthur, 250
 şebekler, 77

şekerler, 21, 25; *ayrıca bkz.* Glukoz
şempanzeler, 30, 37, 49, 75, 77, 78;
DNA, 37, 49, 75-6; *ayrıca bkz.*
Homininler
Şili, 160

tahıllar, 91-2
takas alanı, 130
takas oranı, 129, 130
taksi şoförleri, 70, 143
tarım, *bkz.* çiftçilik
tasarım yanılışması, 29, 38
tasarruf tedbirleri, 149
taular, 243; *ayrıca bkz.* nötrinolar
tavuklar, 99
tavus kuşu, 302 n. 1
Taylor, Joseph, 231
Tegmark, Max, 333 n. 5
tekeşlilik, 80
tekillik, *bkz.* kara delikler
tektonik levhalar, 158-62; *ayrıca bkz.*
levha tektoniği
telekomünikasyon, 100, 114
teleskoplar, 255, 256, 284, 286
televizyon, 114, 276
tel, iletken, 110-2, 113, 114, 312 n. 15
terleme, 77, 181
termodinamik, 179-87, 259; birinci
yasası, 182; ikinci yasası, 179, 182-6,
260, 331 n. 8, 332 n. 9
Terry, John, 80
Tesla, Nikola, 112
testisler, 50
testosteron, 50
ticaret ve takas, 97, 129-33, 136-8, 141,
143; uluslararası, 135-6; ve uzay,
132-3; ve zaman, 132-3; *ayrıca bkz.*
takas oranı, pazaryeri, arz ve talep
ticari eşyalar, 132-3, 148-9
timin, 35
Thiomargarita namibiensis, 6
Thomas, Lewis, 1, 3, 8, 15, 17, 38, 44
Thomson, J. J., 198
Thomson, George, 198-200, 325 n. 8
toryum, 160
transatlantik kablolar, 157-8, 316 n. 4
transformatörler, 113

transistörler, 64, 121-5, 314 nn. 6, 9
troposfer, *bkz.* Dünya: troposfer
Tsiolkovsky, Konstantin, 176
Turing, Alan, 119, 120, 313 n. 4
Tutu, Desmond, 80, 308 n. 6
tuz, 4, 61, 170, 172; para birimi olarak,
132
tüberküloz, 100
tübülün, 9
Türkiye, 91
türler, 36-7
türler arası üreme, 36
tüyler, 78
Twain, Mark, 100, 171
Twitter, 325 n. 7, 326 n. 17
Tyndall, John, 166
Tyson, Neil deGrasse, 267
uçaklar, 97, 119, 318 n.9; Boeing 747,
167
uçan tilkiler, 29
Uhuru uydusu, 290
Ulusal Standartlar ve Teknoloji
Enstitüsü (ABD), 223
University College, London, 70
unutma, *bkz.* nöronlar
Uranüs, 317 n. 2, 318 n. 7
uranyum, 160, 204, 239
uterus (rahim), 53
uydu navigasyon cihazları, 124
uygarlık, 89-101, 153
uzak kızılötesi, 186, 323 n. 11, 334 nn.
3, 4
uzay, 114, 132-3, 196, 204, 210, 212-3,
215-7, 219, 250, 255, 256, 258, 268,
269, 278, 282, 284-5, 287, 290, 324
n. 4, 326-7 n. 5, 331 n. 3, 334 n.
4, 335 nn. 8, 9; eğiklik, 225, 227;
kabukları, 255, 256; *ayrıca bkz.*
konum: ikili, uzay-zaman
Uzay Teleskop Bilimi Enstitüsü,
Baltimore, 321 n. 23
Uzay Yolu, 59, 108, 132
uzay-zaman, 212-3, 215, 216, 225, 231,
232-3, 258, 259, 261, 268, 278, 289,
324 n. 4, 327 n. 6 *supra*, 327 n. 4;
bükülme, 226-7, 229, 231, 328 n. 8

- üreme organları, 53; böceklerde, 36
 vadeli sözleşmeler, 147
 vakum, 199, 216, 255, 280-3, 295, 335
 n. 10; sahte, 280, 335-6 n. 11; şişme
 özellikli, 280, 282, 283, 337 n. 19
 Valéry, Paul, 269
 Van Valen, Lee, 46-7
 varyasyon, *bkz.* *Çeşitlilik*
 Venüs, 161, 166, 174-5, 176, 275, 316 n.
 7; gün/yıl, 317-8 n. 5; yörünge, 317-
 8 n. 5; su, 174
 vergiler, 315 n. 2
 verimlilik, *bkz.* Enerji
 veziküller, 5
 Victoria, Kraliçe, 316 n. 4
 virüsler, 15, 36
 Viyana, 332 n. 9
 voltaj, *bkz.* elektrik akımı: voltaj
 voltaj kapılı iyon kanalları, *bkz.*
 hücreler
 vücut sıcaklığı, 65

 Wallace, Alfred Russel, 32, 302 n. 2
 Watson, James, 71, 303 n. 6
 Watson, Thomas J., 117
 Weather Girls, 163
 Wegener, Alfred, 157, 158, 159
 Weinberg, Steven, 267, 290
 Weyl, Herman, 268
 Wheeler, John, 121, 227, 262, 269, 290,
 338 n. 3
 Wigner, Eugene, 267
 Wilde, Oscar, 59, 129, 150
 Wilkinson Mikrodalga Anizotropi
 Sondası, 337 n. 18
 William, I., 255
 Williams, Tennessee, 94
 Wilson, Edward O., 65, 85
 Winnipeg, Kanada, 173
 Woese, Carl, 300 n. 5
 Wolpert, Lewis, 303 n. 7
 World Wide Web, 66, 137
 Wright, Stephen, 290

 yabancı düşmanlığı, 94
 yağ, 21, 302 n. 9
 yağmur, 137, 163, 174
 yakıt, 19, 49, 301 n. 2
 yakıt hücreleri, 25
 yalıtım, *bkz.* elektrik: yalıtım
 yalpalama, 319-20 n. 17
 yanardağlar, 157, 159, 161, 162, 165,
 174, 175; patlamalar, 156, 158, 173;
 ayrıca bkz. lav, magma
 yapay seçim, 92
 yaptırımlar, 144
 yaratılışçılık, 29-30, 32-3, 155, 265, 333
 n. 4
 yarı-iletkenler, 123
 yarı-ömür, 326 n. 2
 yaşam standardı, 136-7, 144
 yazı, 94, 96
 yel değirmenleri, 137
 yerelsizlik, 201, 205; *ayrıca bkz.*
 Konum
 yerleşimler, 92-94, 100; savunma, 93
 yevmiye, 138, 142
 yılan dili, *bkz.* *Ophioglossum*
 vulgatum
 yıldırım, 22, 60, 82, 107-9, 110-1, 310-1
 n. 6, 311 n. 7; 312 nn. 18, 19
 yıldız ışığı, 186, 277
 yıldızlar, 3, 13, 15, 48, 65, 185, 186,
 220, 229-30, 232-3, 244, 246, 265,
 275-6, 277, 283-5, 290-6, 318 n. 7,
 323 n. 13, 327 n. 4, 328-9 n. 12, 332
 n. 10; *ayrıca bkz.* kara delikler,
 nötron yıldızları, süpernovalar,
 beyaz cüceler
 yıldız rüzgarları, 321 n. 23
 yiyecek arama, 78, 80
 yokoluş, 47, 53, 82, 99, 100, 106, 146,
 262
 yoksulluk, 136-7
 yoğunluk, 238, 277, 283, 290, 323 n. 13
 Young, Patrick, 170
 Young, Thomas, 197
 yumurta, *bkz.* ovum (yumurta
 hücresi)
 yumurtalıklar (ovaryumlar), 50, 55

Yunanistan, 134

Yunanlar, 96-7, 228, 237, 265

yuvarlak solucan, 65

yükseliş ve çöküş, 136-8

zaman, 114, 132-3, 209-13, 215-7, 219,

222, 223, 229, 252-62, 268, 269, 278,

285, 287, 289-90, 291, 324 n. 4, 326

n. 3; genişmesi, 211, 223; "oku",

260-1; *ayrıca bkz. uzay-zaman*

zanaat ve zanaatkarlar, 93, 97, 98

zeka, dünya-dışı, 11

zeytin, 92

zigot, 49, 306 n. 15

Zürih, İsviçre, 329 n. 3

