

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>

JOHN GRIBBIN

BİLİMİN YEDİ DAYANAĞI

*Buzun İnanılmaz
Hafifliği ve Bilimin
Diğer Sürprizleri*

ALFA | BİLİM

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

BİLİMİN YEDİ DAYANAĞI

Bilim tarihine ve bilimin süregelen gelişimine baktıkça, bir zamanlar inanılmaz gelen fikirlerin nasıl doğru olarak kabul edildiğini görmek ve örneğin dünyanın düz olduğunu düşünen o basit fikirliere karşı bir üstünlük duymak kolaydır. Bilimin nasıl işlediği bilimin kendisi kadar ilgi çekicidir. Bu kitapta bilimsel bilginin dayanağı olmuş ya da olmakta olan yedi örnek ele alınmakta. Örnekler, evrenin kendi varoluşumuzla ve başka yerlerdeki yaşam olasılığıyla ilgili özelliklerden seçilmiş. Örneğin katı şeyler çoğunlukla boşluktur, peki nasıl bir arada dururlar? Görünüşe göre özel bir "yaşam gücü" yok, peki canlıları cansız nesnelerden nasıl ayırt edeceğiz? Ve çoğu katı madde yüzemezken buz neden su üzerinde yüzer? Bu sorunun sorulması gerektiğini düşünebilirsiniz, ancak buz yüzmeseydi dünyada yaşam asla olmazdı. Tüm bu soruların cevapları o zamanlar sansasyoneldi ve bazıları hâlâ öyle.

"Gribbin bilimin temellerine inerek, merak uyandıran bir hikaye anlatıyor."

—Brian Clegg, *popularscience.co.uk*

"[Bu kitap] parçalarının toplamından bile daha fazla hayranlık uyandıran daha büyük bir resmi ortaya çıkarmak için noktaları ustaca birleştiriyor."

—Laura Hiscott, *Physics World*

"John Gribbin okurları, varlığımızın temelini oluşturan yedi temel bilimsel gerçeği gösterdiği bir tura çıkartıyor."

—<https://www.waterstones.com/>



ALFA

@alfakitap

alfakitap

f alfakitap

www.alfakitap.com



BİLİM

JOHN GRIBBIN (1946)

Tam zamanlı bir bilim yazarı olmadan önce Cambridge Üniversitesinde astrofizik bölümünde eğitim görmüştür. *Nature* ve *New Scientist* için çalışmalar yapan Gribbin ayrıca *The Times*, *The Guardian* ve *The Independent*'a bilim dalında yazdığı makalelerle katkıda bulunmuştur. Ayrıca BBC Radyo 4 için de pek çok bilim dizisi hazırlamıştır. John Gribbin yazıları nedeniyle İngiltere ve Amerika'da pek çok ödül almış olup, İngiliz siyaset, kültür ve güncel olaylar dergisi *Spectator* tarafından "günümüzün en başarılı ve üretken popüler bilim yazarlarından biri" olarak gösterilmiştir. Halen Sussex Üniversitesi Astronomi Bölümünde misafir araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Alfa Bilim Dizisinden çıkan kitapları şunlardır: *Çoklu Evrenler*, *İlk Şempanze*, *Derin Basitlik*, *Schrödinger* ve *Kuantum Devrimi*, *Bilim Tarihi*, *Her Şeyin Nedeni*, *Evren* ve *İnsan Olmak*. John Gribbin ayrıca *Innervisions* [İçgörü] dahil olmak üzere pek çok bilimkurgu eserinin de yazarıdır. Doğu Sussex'te yaşayan Gribbin evli ve iki çocuk babasıdır.

ONUR ÇELİK (1990)

Ankara'da doğdu. Uzay mühendisliği alanındaki lisans eğitimini 2013'te İTÜ'de, yüksek lisans eğitimini de 2015 yılında İngiltere ve İsveç'te tamamladı. Aynı alandaki doktora derecesini de 2020 yılında Japonya Havacılık ve Uzay Ajansında (JAXA) yürüttüğü araştırmalarla aldı. Şimdilerde Glasgow Üniversitesinde doktora sonrası araştırmacı olarak uzay-tabanlı güneş enerjisi çözümleri üzerine araştırmalarını yürütmektedir. Ian Stewart'ın Türkçede *Evreni Ölçmek* adıyla yayımlanan kitabının çevirmenidir.

Bilimin Yedi Dayanağı

© 2021, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Seven Pillars of Science

© 2020, John and Mary Gribbin

Kitabın Türkçe yayın hakları Anatoliaİt Ajans aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankocak

Çeviren Onur Çelik

Kapak Tasarımı Füsün Turcan Elmasoğlu

Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-625-449-602-8

1. Basım: Mayıs 2022

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Çiftelhavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 45099

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Alemдар Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Çağaloğlu-İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 (pbx) Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 43949

JOHN GRIBBIN

BİLİMİN YEDİ DAYANAĞI

*Buzun İnanılmaz
Hafifliği ve Bilimin
Diğer Sürprizleri*

Çeviri: Onur Çelik

ALFA

İÇİNDEKİLER

Teşekkür, 7

Önsöz: Bilgeliğin Yedi Dayanağı, 11

GİRİŞ

BAŞKA DÜNYALAR: BELKİ DE YALNIZ DEĞİLİZ 13

1. Dayanak

KATI CİSİMLERİN İÇİ ÇOĞUNLUKLA BOŞLUKTUR 25

2. Dayanak

YILDIZLAR GÜNEŞLERDİR VE ONLARIN NELERDEN
OLUŞTUKLARINI BİLİRİZ 37

3. Dayanak

YAŞAM GÜCÜ DİYE BİR ŞEY YOKTUR 51

4. Dayanak

SAMANYOLU YAŞAMIN HAM MADDELERİYLE
DOPDOLU BİR DEPODUR 63

5. Dayanak

KARBON RASTLANTISI 79

6. Dayanak

YAŞAMIN KİTABI ÜÇ HARFLİ SÖZCÜKLERLE
YAZILMIŞTIR 93

7. Dayanak

BUZUN İNANILMAZ HAFİFLİĞİ 105

Sonsöz, 117

Düğüm Noktası: Belki de Yalnızız, 117

Okuma Önerileri, 125

TEŞEKKÜR

Bu kitabı yazmam için maddi destekte bulunan Alfred C. Munger Vakfı ile mekân ve araştırma birimlerini kullanmamı sağlayan Sussex Üniversitesine minnettarım.

Her kitabımda olduğu gibi, Mary Gribbin bu kitapta da anlaşılmazlığın karanlık ormanında kaybolmama engel oldu. Geriye herhangi bir yanlışı kaldıysa da, hepsi bana ait.

Bilgelik onun evini yaptı; o ise ona yedi sütun yonttu.

İncil ayeti 9:1

BİLGELİĞİN YEDİ DAYANAĞI

J. B. S. Haldane'in meşhur tarifinde bilimsel fikirlerin kabul edilmesinin dört aşaması şöyledir:

- (i) Bu işe yaramaz bir saçmalıktır.
- (ii) Bu ilginç, ama güncel anlayışla uyuşmayan bir bakış açısıdır.
- (iii) Bu doğru, ancak oldukça önemsizdir.
- (iv) Ben bunu zaten söylemiştim.

Bilim tarihine ve bilimin süregelen gelişimine baktıkça, bu sıralamayı daha çok takdir ediyorum. Geriye dönüp bakınca, bir zamanlar inanılmaz gelen fikirlerin nasıl gerçek olarak kabul edildiğini görmek ve örneğin dünyanın düz olduğunu düşünen o basit fikirlilere karşı bir üstünlük duymak kolaydır. Ancak kendi yaşamımda bile, fena varsayımlar olarak görülen Büyük Patlama kuramının evrenin başlangıcı olduğu ve kuantum varlıklarının yerelsizliği gibi konular da dahil olmak üzere, pek çok fikir yerleşik bilgi olarak kabul edilirken, onların daha "sağduyuya uygun" alternatifleri, örneğin durağan hal kuramı gibi, bir noktada olanların uzak başka bir noktada olanları anında etkileyemeyeceğini ifade eden kuramlar bir kenara atıldı. Bilimin nasıl işlediği bilimin kendisi kadar ilgi çekicidir. Bunu göstermek için kendi zaman-

larında akla uygun, her biri ya Haldane'in dört aşamalı kabulünden geçerek bilimsel bilginin dayanağı olmuş ya da olmakta olan yedi örnek seçtim. Onları yediyle sınırlandırmak için bir ana fikre ihtiyacım vardı; onu da, evrenin kendi varoluşumuzla ve başka yerlerdeki yaşam olasılığıyla ilgili özelliklerden seçtim. Sonuçta, insanlar söz konusu olduğunda bilimin en önemli konusu budur.

Bu örneklerden bir kısmı çoktan bilimin dayanaklarıyken, diğerleri daha erken aşamalarda olabilir, onun kararını size bırakıyorum. Ancak tüm bu örnekler ortaya çıktıkları zamanda, bazılarıysa hâlâ heyecan vericiyken, bilimsel gelişmenin en önemli özelliklerinden biri, düşünülme-yeni düşünme istekliliği ve sonra da kaçınılmaz olarak fikirlerin gerçek dünyanın iyi bir betimlemesi olup olmadığını deneyerek anlamaktır. Gerçi sınıflandırılması imkansız, kişisel bakış açınıza göre de Haldane'in aşamalarından herhangi birine uygun olabilecek bazı fikirler var. Bunların en büyüğüse, bu kitaba son noktayı koyacağım, bugün bilim dediğimiz şeyden çok daha uzun süredir filozofların kafa yorduğu şu sorudur: Evrende yalnız mıyız?

John Gribbin
Kasım 2019.

GİRİŞ

BAŞKA DÜNYALAR: BELKİ DE YALNIZ DEĞİLİZ

Dünya küre biçiminde olup uzayda hareket eder. Bunun anlaşılması yalnızca birkaç yüzyıl önce sarsıcıydı. Sağduyuya o kadar uygun olsa da bazı insanlar hâlâ bunu kabul etmez. Onlardan biri olmayabilirsiniz, ama bunu size çocukken birisi öyle söylediği ve “herkes” doğru olduğunu “bildiği” için mi kabul ediyorsunuz? Peki gündelik deneyiminizi ve kanıtları düşündüğünüzde, bunun ne kadar da çılgınca bir fikir olduğunu durup düşündünüz mü?

Dünyanın düz olması fikrinin ne kadar akla yatkın olduğunu, küre biçiminde olduğunun fark edilmesininse ne kadar heyecan verici olduğunu anlamak için, MÖ 5. yüzyılda yaşamış Yunan filozof Atinalı Anaksagoras’a bakabiliriz. Anaksagoras ahmak değildi. Akıl yürütmesini kendisine sunulan en iyi kanıtlara dayandırmıştı ve o gerçeklere göre de akıl yürütmesi doğrudu. Sonuçlarının yanlışlığı ortaya çıktı, ama bundan daha önemlisi, onun güneşi dünyadaki her şeyle aynı yasalara uyan bir varlık olarak anlamaya çalışmasıydı. Onu insan kavrayışının ötesinde, doğaötesi bir olay olarak ele almamıştı.

Anaksagoras'ın yorumunun çıkış noktası Aegospotami'ye* düşen bir göktaşıydı. Göktaşı sıcaktı, o hâlde güneşten gelmiş olmalıydı. İçinde demir vardı, o hâlde güneşin demirden yapılmış olduğunu düşündü; gökyüzünde dolaşan demirden sıcak bir balon. Bu çıkarımlar o dönemde bilinenlerin ışığında tamamen mantıklıydı. Ancak bu, Anaksagoras'ın cevaplaması gereken iki ilgi çekici soruya da yol açtı; demirden sıcak olan o balon ne kadar büyüktür ve dünyanın yüzeyinden ne kadar yüksekte hareket etmektedir?

Anaksagoras pek gezgin değildi, ama Nil deltasına ve Nil nehrinin kaynağının ötesine gitmiş insanların anlattıklarını duymuştu. Bu anlatılar, bugünkü Asvan yakınındaki Syene şehrinde, güneşin yaz dönencesinde (yani "en uzun günde"), tam öğle saatinde şehrin dikey olarak tam üstünde olduğundan bahsediyordu. Bu ufak bilgiyle başka bir bağlamda da karşılaşmış olabilirsiniz, öyleyse sürprize hazır olun. Anaksagoras, güneşin en uzun günde Nil deltasına dikeyden 7 derecelik bir açıyla düştüğünden de haberdardı. Ayrıca Nil deltası ile Syene şehri arasındaki uzaklığı da biliyordu. Bu bilgiyle, yaz dönencesi öğle vaktinde güneşin Syene şehri sakinlerinin (modern ölçüm birimleriyle) kabaca 6437,4 kilometre üstünde olduğunu hesaplamak, dünyanın düz olduğunu varsayıp eşkenar üçgen geometrisini kullanan Anaksagoras için basit bir işti. Güneş gökyüzünde bir yay derecesinin yarısını kadar alan kapladığından (Ay'ın gökyüzünde kapladığıyla aynı, bu kitabın kapsamı dışında kalan çarpıcı bir tesadüf),

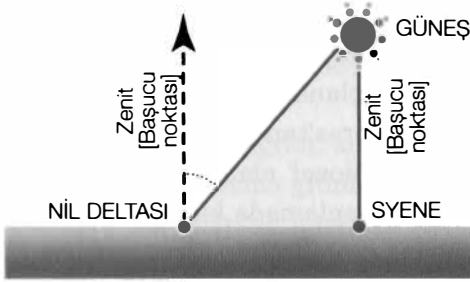
* Aegospotami, bugünkü Çanakkale Boğazına dökülen küçük bir nehrin antik Yunancadaki adıdır. Aynı isimli Yunan kasabası bugünkü Gelibolu yakınlarında bulunmaktaydı. MÖ 467'te kasabanın yakınlarına düşen göktaşının, Halley kuyruklu yıldızının Avrupa'daki ilk kaydı olduğu düşünülmektedir -çn.

üçgen geometrisi Anaksagoras'a güneşin yaklaşık 56,3 kilometre, yani kabaca Yunanistan'ın güneyindeki Mora Yarımadası genişliğinde olduğunu söyledi.

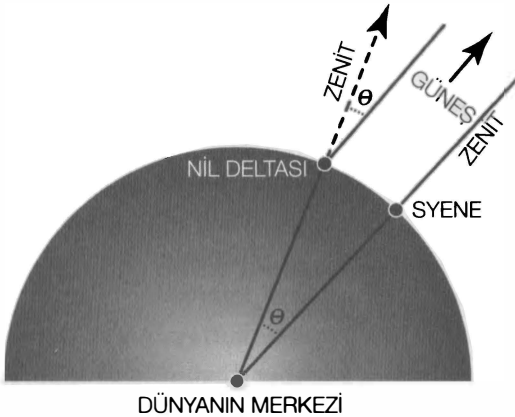
Güneşin bir doğa olayı olduğu önerisi hemşehrilerine göre öyle şok ediciydi ki, Anaksagoras sapkınlıktan tutuklanıp bir daha dönmek üzere memleketi Atina'dan sürüldü. Başka bir düşünür olan Galileo Galilei'nin, güneşi bir doğa olayı olarak açıklamaya çalıştığı on yedinci yüzyıla kadar iki bin yıldan uzun bir süre geçecek ve yine o da sapkınlıkla suçlanacaktı.

Ancak Anaksagoras'tan yalnızca birkaç yüzyıl sonra, başka bir Yunan filozof olan Eratosthenes, aynı veriyi biraz farklı bir hesaplamada kullandı. İşte hikâyenin bu biçimini duymuş olabilirsiniz. Eratosthenes dünyayı bir küre olarak varsayıp güneşin çok uzak olduğunu, öyle ki güneşten gelen ışık ışınlarının dünyaya paralel çizgiler halinde ulaştığını tahmin etti. Bu varsayımla, Nil deltasında dikeyden 7 derece ölçülen açı, dünyanın merkezinden ölçüldüğünde, Nil deltası ile Syene arasındaki uzaklığın yeryüzünde taradığı açıyla aynıdır (*bkz. alttaki diyagram*). Açı aynı olduğundan, "cevap" da aynıdır, yani 6437,4 kilometre. Ancak, bu sayı artık güneşin dünyadan uzaklığı olarak değil, dünyanın yarıçapıdır. Eratosthenes "haklı" olduğu için, Anaksagoras'ınki göz ardı edilirken, onunki hikâyenin ders kitaplarına ve yaygın kaynaklara giren biçimidir. Ancak çıkarılacak ders kimin haklı olup olmadığı değildir. Başarılı kuramlar sağlam kanıtlara dayanır ve test edilebilecek öngörülerde bulunur. Eğer kuramlar bu testleri geçerse kullanılmaya devam edilir; geçemezse reddedilir. Beraber düşünüldüğünde, Yunan filozofların bu iki kuramı (varsayımı, doğrusunu söylemek gerekirse, ancak bunun üstünde durmayacağım) bir araya gelip, bize ya dünyanın düz olup güneşin onun 6437,4 ki-

lometre üstünde olduğunu ya da dünyanın bir yuvarlak olup güneşin bilinmeyen ama muazzam bir uzaklıkta olduğu söyler. Sonraki gözlemler ve ölçümlerse hangisinin gerçek dünyanın daha iyi bir tarifi olduğuna karar verilmesini sağladı.



Dünyanın düz olduğu varsayımıyla güneşe olan uzaklığı hesaplamak kolaydır.



Dünyanın yuvarlak olduğu varsayımıyla aynı gözlem gezegenin yarıçapını verir.

Hikâyenin eğitici bir tarafı da var. Doğruyu arayışında dönemin otoritelerine karşı koymaktan korkmayan, köktenci ve ileri görüşlü bir düşünür bile dünyanın düz olduğu önyargısından kurtulamadı. Anaksagoras alternatifleri hiç dikkate almamıştı. Bilim tarihi benzer talihsiz fikirlerle doludur; onlar kusursuz bir mantık ve tam bir kesinlik üzerine kurulmuş, ama doğru olmadığı ortaya çıkan sorgulanmamış inanca dayalıdır. Bilim inançla ilgili değil, el üstünde tutulan inançları sorgulamak üzerine olmalıdır. Giordano Bruno'nun bedelini ödediği gibi, bu pek de öyle huzurlu bir yaşam sağlamaz. Ancak unutmayın ki, Bruno yalnızca bilimin peşinde değil, hayatını zorlaştırmak için de yoldan çıkmış gibiydi.

Tarihçiler (kendim de dahil olmak üzere), modern bilimin başlangıcını Mikolaj Kopernik'in 1543 yılında yayımlanan *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Göksel Kürelerin Devinimleri Üzerine) kitabına tarihlendirir. Ancak doğrusunu söylemek gerekirse, kitap o dönemde pek de heyecan verici değildi; içindeki fikirler sonraki yüzyılın çoğunda yaygın olarak kabul görüp bizi evrenin merkezinden alacak kadar ileri gitmedi. Kopernik evrenin sabit bir merkezi olduğu fikrini korudu, ancak onu dünyadan güneşin merkezine taşıdı. Yıldızların gökyüzündeki görünür hareketini dünyanın dönüşüyle açıklarken, yıldızların ve gezegenlerin güneşin etrafında dolan katı kürelere sabitlenmiş olduğu fikrini sürdürdü. En "sapkın" önerisiyse dünyanın güneş etrafında yılda bir defa dönen bir gezegen olduğuydu, ancak gittiği en ileri nokta buydu.

* Nikolaus Kopernikus, *Göksel Kürelerin Devinimleri Üzerine* (çev. C. Cengiz Çevik), Türkiye İş Bankası Yayınları, İstanbul, 2010 -çn.



Giordano Bruno.

Bilim Fotoğrafları Arşivi

Bruno, Kopernik'in fikirlerini daha ileriye taşıdı. *De Revolutionibus*'tan beş yıl sonra, 1548'de Napoli yakınlarında doğup, Filippo adıyla vaftiz edilen Bruno, on yedi yaşında Dominikan kilisesine katılıp Giordano adını aldı ve 1572 yılında da papazlığa atandı. Özgür düşüncesi ve yasak (ya da en azından tartışmalı) kitaplara ilgisi yüzünden çok geçmeden zorluklarla karşılaştı. İsa'yı in-

sanla Tanrı arasında bir noktaya yerleştirerek kutsal bir noktaya koyan ancak Tanrı'dan farklı tutan Ariusçuluğu benimsemesi nedeniyle başı özellikle derde girdi. İşler iyice karıştığında Napoli'ye kaçtı, dini kıyafetlerinden kurtulup kendisini Cenevre'ye, Lyon'a ve başka şehirlerle, teoloji alanında doktorasını alıp felsefe dersleri verdiği Toulouse'a götüren bir yolculuğa başladı. Kral III. Henry'nin koruması altında çeşitli çalışmalarını yayımladığı Paris'e ise 1581'de taşındı.

Bruno, Fransız kralının tavsiye mektubuyla 1583 yılında İngiltere'ye gidip, saygın kişiler olan Philip Sidney ve (muhtemelen) John Dee ile tanıştığı [Kraliçe] Elizabeth'in eşrafına katıldı. Oxford Üniversitesinde Kopernikçi Evren Modeli üzerine bazı dersler vermiş olsa da, o dönemin Lincoln College rektörü, daha sonra da Canterbury Başrahibi' olacak John Underhill, Bruno'yu "Dünyanın kendi etrafında dönüp göklerin sabit kaldığı, öte yandan aslında başı kendi etrafında dönerken beyninin yerinde durmadığı Kopernik'in görüşünü" benimsemesi nedeniyle küçümseyip, tartışmalı görüşleriyle alay etti.¹ Ancak görünen o ki, kendisinin Oxford'da istenmemesine neden olan öğrettikleri kadar kişiliği de. Kibirli olmakla birlikte akılsız saydığı insanlara zaman ayırmaya isteksiz gibiydi, kendi görüşlerini paylaşan insanları bile usandırmıştı.

Ancak bu, Bruno'nun ortaya koyduklarının yarısından daha azdı. Kopernikçi kozmolojiyi desteklediği bir "diyaloglar" serisinin ilk ikisini 1584 yılında yayımladı, 1588'e kadar da evrenin "sonsuz (...) sonu olmayan ve sınırsız" olduğunu yazıyordu. Peki o hâlde yıldızlar neydi? Bruno

* Canterbury Başrahibi [Archbishop of Canterbury], İngiliz Kilisesi'nin başrahibi ve Anglikan Kiliselerinin sembolik lideridir –çn.

¹ Bkz. Andrew Weiner, <https://www.jstor.org/stable/437245>

tarafından çeşitli yerlerde ifade edilen fikirler bir araya getirilirse, yalnızca yıldızların başka güneşler olduğunu değil, onların da güneş gibi kendi gezegen aileleri olabileceğini fark eden ilk oydu. Bu başka dünyalar, demişti, “dünyamızdan daha yararsız bir özelliğe ya da farklı bir doğaya sahip değildir,” öyleyse “hayvan ve yaşayan kimse-ler barındırabilirler.”

Bruno’yu Roma Katolik otoriteleriyle daha başka çatışmalara da sokmaya yeterdi bu, o yüzden Bruno da bazen bir bilim gazisi olarak gösterilir. Ancak onun otoritelerle olan problemleri öyle derinlerdeydi ki bu inançlar aslında onun sonraki yaşam hikâyesi ve akıbetinde bir dipnottan öteye gitmez. Bruno, İngiltere ve Fransa arasında kötülen ilişkiler yüzünden 1585’te Paris’e döndü, sonra Lüter-yenciler* tarafından aforoz edilme ayrıcalığına erişeceği (Katolik otoriteleriyle başı çoktan derde girmişti) Almanya’ya ve Prag’a gitti. Padova’da profesör olma ümidiyle 1591’de İtalya’ya dönmeyi denedi. Ancak o iş Galileo’ya verildi, Bruno da İtalyan şehir devletlerinin en özgürü olan Venedik’e doğru yoluna devam etti. Ortaya çıktığı üzere orası da yeterince özgür değildi. Dünyaların çoğulluğu da pek çok suçlamadan biri olmak üzere, dine hakaret ve sapkınlık suçlamalarıyla 22 Mayıs 1592 tarihinde yakalanıp tutuklandı. Görece hafif bir cezayla kurtulabilirdi, ama engizisyon ilgilenilmek üzere Roma’ya gönderilmesini talep etti, Venedikli otoritelerse en sonunda buna boyun eğip 1593 Şubat’ında onu teslim ettiler.

Bruno’nun davası aralıklarla yedi sürerken kendisi bu süre boyunca Roma’da hapsedildi. Dava hakkındaki belgelerin çoğu kayboldu, ama ona yöneltilen suçla-

* Lüter-yencilik, 16. yüzyılda yaşamış filozof Martin Luther’in öğretilerini benimseyen, Hristiyanlığın mezheplerinden Protestanlığın en büyük kollarından biridir –çn.

malar yalnızca dine hakaret ve sapkınlık değil, aynı zamanda ahlaksız davranıştı. Suçlamalardan bazılarının Hristiyanlığın kutsal üçlüsü [Trinity] fikrine ve İsa'nın kutsallığına karşı konuşmayı ve yazmayı, İsa'nın annesi Meryem'in bekâretinden şüphe duymayı içerdiği düşünülmektedir. Hatta Hristiyan Kilisesinin farklı mezheplerinin uyum içinde yaşayıp birbirlerinin görüşlerine saygı göstermesi şeklinde şok edici bir öneride de bulundu. Bunlar, engizisyonun gözünde dünyaların çoğulluğundan çok daha büyük günahlardı, ama o da bir şekilde listeye girmişti.² Sapkınlık konusunda alışıldığı gibi, Bruno'ya sonuçta fikrini değiştirme şansı verildi, o ise bunu reddetti, böylece Papa VIII. Celestine 20 Ocak 1600'de onu resmen sapkın ilan etti. Cezaya çarptırıldığında hakimlere tehditkar bir harekette bulunduğu iddia edilirken, 17 Şubat 1600'de bir kazığa bağlanıp, izleyenlere söylediği son sözleri sapkınca olmasın diye ağzı tıkandıktan sonra yakıldı. İşte onun düşüncesinin derinliğini gösteren pek de son sözleri olmayan sözlerinin bir kısmı:

Aristoteles'in öğrettiği gibi mutlak bir yukarı ya da aşağı yoktur, uzayda mutlak bir konum yoktur; bir cismin konumu başka cisimlerin konumlarına göredir. Evrenin her yerinde aralıksız bir bağıl konum değişimi bulunur ve gözlemci her zaman cisimlerin merkezindedir.

Yıldızların gerçekten de başka güneşler olduğu oldukça çabuk kabul edilmişti, hatta Isaac Newton diğer yıldızların parlaklığının kabaca güneşinki kadar olduğunu varsayarak yıldızlara olan uzaklıkları kestirmeye çalışanlardan biriydi. Ama gökbilimciler onlardan bazıları-

² Tartışmaya açık olmakla birlikte, Bruno söz konusu olmasaydı kilise Kopernik konusunda bu kadar öfkelenemeyebilirdi; onun kitabı yasaklı kitaplar listesine 1616'da girdi ve 1835'e kadar orada kaldı.

nın uzaklıklarını paralaks denilen yöntemle, dünya kendi yörüngesinde hareket ederken yakındaki yıldızların arka plandaki yıldızlara göre konum değişimlerini kullanarak, 1840'larda ancak ölçebildiler. Yirminci yüzyılda başka yöntemler evrenin uzak köşelerine olan uzaklıkları ölçmeyi olanaklı kıldı ve nihayet 1930'larda, sonsuz evren fikrini saygıdeğer bir konuma getirdi. Ama yıldızların kendi gezegen aileleri olabilmesi fikri bile tamamen kurgu olarak kaldı.

Bu durum, kabaca güneşin bir benzeri, 51 Pegasi olarak adlandırılan bir yıldız etrafında dolanan gezegenin 1995'te keşfedilmesiyle değişti. Keşif, yıldızın etrafında dolanan gezegenin kütleçekiminin, yıldızın hareketinde yol açtığı yalpalamanın incelenmesiyle yapıldı. Bu ölçümler, Doppler etkisi olarak bilinen, hareketteki yalpalamanın yıldızın spektral [tayf] çizgilerinde³ ufak kaymalara neden olduğu bir süreç sayesinde olanaklıdır. Ölçümlerin görece kolay olduğu ortaya çıktı, çünkü gezegen çok büyüktü ve yıldızın yakınında sayılabilecek bir yörüngedeydi, dolayısıyla kütleçekim etkisi görece fazlaydı. Gökbilimcilerin beklediğiye bu değildi.

Güneş sistemimizde, iç kısımda güneşe yakın yörüngede dolanan dört kayamsı (kabaca dünyaya benzeyen) gezegen ve dış kısımlarda yörünge dolanan dört büyük gaz (kabaca Jüpiter'e benzeyen) gezegen, ayrıca Plüton'u da içeren çeşitli küçük kırıntılar bulunur. Akıl yürütecek başka bilgi olmadığından, gökbilimciler diğer gezegen sistemlerinin de benzer olabileceğini düşündü. Ancak 51 Pegasi'nin etrafında dolanan gezegen çok büyüktür ve yıldızına çok yakındır. Ona "sıcak jüpiter" denilir. Kütleli Jüpiter'inkinin yarısından fazladır ve yıldızının etrafın-

³ Yıldız spektroskopisi daha sonra ele alınacak dayanaklardan biri.

da güneş sisteminin en iç gezegeni olan Merkür'ün güneşe olan uzaklığının onda biri uzaklıkta dolanır. Bundan çıkarılacak ilk ders tek bir örnekten yola çıkılarak genelleme yapılamayacağıdır! Güneş sistemimiz evrendeki tek gezegen sistemi örneği olmadığı gibi alışılmadık bile olabilir. Bundan çıkaracağımız sonuçsa dünyayı tipik bir gezegen varsaymamaktır; buna daha sonra geleceğiz.

1995'ten bu yana, pek çoğu sıcak jüpiterler içeren, çoğunun farklı düzenlerde, merkezi bir yıldızın etrafında dolanan birden fazla gezegen içerdiği bugün bilinen, çok daha fazla "güneşdışı" [extrasolar] gezegen sistemi keşfedildi. "Yeni" bir gezegenin keşfi bugün manşet olmak bir yana, haber organlarının dediği gibi "dünya benzeri" değilse haber değeri bile taşımaz. Ancak manşetlere aldanmayın. Demek istedikleri gezegenin muhtemelen kayamsı olduğu ve dünyadan birkaç kat daha ağır olduğudur. Dünya benzeri olmaktan çok dünya büyüklüğünde. Ayrımı netleştirmek için yalnızca Venüs'e, güneşin etrafında bizden daha yakında dolanan, en yakın komşumuza bakmamız yeter. Venüs neredeyse dünya ile aynı büyüklükte, kayamsı ve genel olarak "dünya benzeri" tanımına medyada yaygarası koparılan güneşdışı gezegenlerin herhangi birinden daha iyi bir adaydır. Büyüklüğü, kütlesi, yoğunluğu ve yüzeyindeki kütleçekimi benzerdir. Ancak Venüs'ün yüzeyinde sıcaklık 462 °C'dir olup kurşunu eritmeye yeter. Bu sıcaklık güneşe biraz daha yakın olmasından dolayı değil, kalın karbondioksit atmosferi tarafından yaratılan sera etkisi nedeniyledir. Venüs'ün yüzeyinde atmosfer basıncı dünyanın yüzeyindekinden 92 kat fazladır; bu da okyanuslarımızın bir kilometre altındaki basınçla aynıdır.

Bu da bizi Bruno'ya ve onun, insanlar da dahil olmak üzere, başka yaşam formlarıyla dolu başka gezegenler olduğu önerisine getirir. Gezegenler mi, dopdolu. Her güneş

benzeri yıldızın, belki de her yıldızın, bir gezegen ailesi olduğu anlaşıyor. Çok da kötümser olmayalım. Evrende bir çeşit ada olan galaksimiz Samanyolu'nda yüz milyarlarca yıldız vardır. Daha ilginç olasılıkları dikkate almamızdan önce bile, eğer o yıldızların ufak bir kısmı güneş sistemimizinki gibi bir gezegen sistemine sahipse ve onların da yalnızca ufak bir kısmı Venüs benzeri olmaktan çok dünya benzeri bir gezegene sahipse, oralarda bizim gibi yaşam formları için milyonlarca muhtemel yer bulunur. Yüz milyarın yüzde biri hâlâ bir milyardır, bir milyarın yüzde biriye on milyon. Gezegenler evrende yaygındır, belki dünya gibi gezegenler de. Belki de yalnız değiliz. Yaşama uygun yerler yaygın olabilir. Peki ya yaşamın kendisi? Buraya nasıl geldik? Cevap evrenin işleyişine ilişkin yedi şaşırtıcı keşfe bağlıdır, varoluşumuza ve evrendeki muhtemel başka yaşamların olası varoluşuna temel oluşturan, bilimin yedi dayanağına.

1.

Dayanak

KATI CİSİMLERİN İÇİ ÇOĞUNLUKLA BOŞLUKTUR

Katı cisimler boştur. Dünyanın sağduyuya aykırı doğasının sıklıkla atıfta bulunulan bir örneği olsa da, durup düşündüğünüzde sizi yine de şaşkınlığa uğratır. Yazdığım “katı” klavye ve yazma eylemini gerçekleştiren parmaklar gibi şeyler, elektriksel kuvvetlerle bir arada duran, görece hacimli boşluklara yayılmış küçücük parçacıklardan oluşur. Bu öyle önemli ve insanın aklını başından alan bir fikirdir ki, Richard Feynman bilimin dünyayla ilgili keşfettiği en önemli gerçek olduğunu söylemiştir. Pek çok konuda olduğu gibi, bunda da onu olduğu gibi aktarmaya değer:

Eğer, herhangi bir felaketle, tüm bilimsel bilgi yok edilecek ve yalnızca tek bir cümle bir sonraki neslin yaratıklarına aktarılacak olsaydı, hangi ifade en az sözcükle en çok bilgiyi içerirdi? Bence, *her şeyin atomlardan oluştuğu; küçük parçacıkların sürekli hareket edip, birazcık uzakken birbirlerini çektikleri, sıkıştırıldıklarındaysa birbirlerini ittikleri atomik varsayım* (ya da atomik gerçek, nasıl adlandırmak isterseniz). O tek bir cümlede, göreceksiniz ki, eğer yalnızca birazcık hayal gücü kullanılır

ve düşünülürse, dünya hakkında muazzam miktarda bilgi bulunur.¹

Ancak, yalnızca birkaç fizikçi Feynman'daki hayal gücü (daha önemlisi, fiziksel kavrayış) ve düşünüşe sahipti; atomlar fikri çok daha önceleri ortaya atılmış olsa da, dünyanın böyle parçacıklardan oluşup oluşmadığı hakkındaki tartışma yirminci yüzyılın başlarına kadar sonuçlanmadı.

Atomik kuramın (ya da her nasıl adlandırmak isterseniz) yaygın kaynakları genellikle beşinci yüzyılda yaşamış Demokritos'a ve MÖ 342 ile 271 arasında yaşamış Epikuros'a değinerek başlar. Ancak onların, küçük cisimlerin "boşlukta" hareket edip birbirleriyle etkileştiği fikri hiçbir zaman bir azınlığın görüşü olmaktan öteye geçemedi, Aristoteles gibi boşluk fikrini reddeden filozoflar tarafından alaya alındı. Pierre Gassendi fikri canlandırıp, atomların değişik şekillerde olduğunu ve birbirlerine bir çeşit kanca ve göz mekanizmasıyla bağlandığını ortaya atması 1649 yılını buldu. Gassendi, atomlar arasındaki boşlukta hiçbir şey olmadığını vurguladı. İki yüz yıldan uzun sürecek bir tartışmanın başlangıcıydı bu. Bir tarafta Newton'ı takip eden, Newtoncu düşünce okulu diyebileceğimiz atomik varsayımı destekleyenler, öte yandaysa René Descartes'ı takip eden, boşluk ya da vakum fikrin-den nefret eden, kartezyen okul vardı. İşler on dokuzuncu yüzyıla gelindiğinde iyice sarpa sardı.

John Dalton'ın daha erken çalışmalarından yola çıkarak, kimyacılar 1850'lerden itibaren atom fikrini, farklı atomların farklı ağırlıkları olup moleküller oluşturmak

¹ Six Easy Pieces, Basic Books, gözden geçirilmiş 4. baskı (7 Nisan 2011) [Altı Kolay Parça (çev. Zekeriya Aydın), Alfa Yayınları, 2. Baskı, 2019.]

için bir araya geldiklerini, öyle ki söz gelimi bir su molekülünün, iki hidrojen atomunun bir oksijen atomuyla bir araya gelmesinden oluştuğu şeklinde görülebileceğini kabul ettiler. Değişik atomların ağırlıklarını (daha doğru bir deyişle, kütlelerini) en hafif element olan hidrojenle karşılaştırarak ölçebildiler. Hatta gram cinsinden atomik (ya da moleküler) ağırlığı verilen herhangi bir element örneği içinde, örneğin 1 gram hidrojen, 12 gram karbon, 16 gram oksijen vb., hangi parçacıktan (atomdan ya da molekülden) ne kadar olması gerektiğini bile hesaplayabildiler. Böylesi her bir örnek aynı sayıda parçacık içerir. Bu sayı, adını kuramı geliştiren kişiden alan Avogadro sayısı olarak bilinir ve çok büyük bir sayıdır. Ancak onun ne kadar büyük olduğuna girmeden önce, atom fikrinin gerçekten de ne kadar heyecan verici bir fikir olduğunun altını çizen ve yirminci yüzyılın başında bile hala etkisini sürdüren karşıt fikirlerden bahsetmem gerek.

Karşıt fikirler, çok sayıda küçük parçacığın boşlukta hareket edip, birbirlerine çarpıp kendi yollarına Isaac Newton tarafından ortaya koyulan yasalara uygun şekilde gitmesi fikrinin kabul edilemez bir hata olduğuna işaret eden fizikçi ve filozoflardan geldi. Newton yasalarının burayı ilgilendiren noktası tersinir olmalarıdır. Bunun anlatmanın genel bir yolu iki bilyardo topunun çarpışmasını ele almaktır. Toplardan biri, söz gelimi, soldan gelip durağan topa çarptıktan sonra dururken diğer top sağa doğru hareket eder. Eğer bu olayın bir filmini çekip geriye sararsanız tamamen normal görünür. Toplardan biri sağdan gelip durağan toplu çarpışıp dururken diğeri sola doğru hareket eder. Newton yasaları bir “zaman yönü” içermez. Ancak gerçek dünyada zamanın bir yönü bulunur. Eğer bir bilyardo topunun dizili bir grup bilyardo topuna çarptığını, öyle ki topların her yöne saçıldığını

düşünürsek, toplum arasındaki her bir çarpışma Newton yasalarına uysa bile olay tersinir değildir. “Filmi geriye sarmak,” toplumların her bir noktadan gelip çarpışarak düzenli grup halinde durduğu, gündelik hayatta asla görülmeyecek bir dizi olay yaratır.

Gündelik yaşamın tersinmezliği on dokuzuncu yüzyıl bilim insanlarınınca ısı açısından, termodinamik bilimiyle ifade edildi. Onlar, ısının her zaman sıcak cisimden soğuk cisme doğru aktığına işaret ettiler. Ilık su içerisine bırakılan bir buz küpü sudan ısı alır ve erir; ortasında bir buz kütlesi oluşurken suyun eşzamanlı olarak ısındığını asla görmeyiz. Ancak Newton yasalarınınca hem bu hem de “geriye sarılmış” bilardo topu senaryosuna tümüyle izin verilir. On dokuzuncu yüzyıl termodinamikçilerinin ilk çıkarımları, cisimlerin o yasalarla uyumlu şekilde çarpışıp duran küçük parçacıklardan oluşamayacağıydı. Ancak daha sonra bu ikilem de çözümlendi.

En az üç düşünür çözümü birbirinden bağımsız olarak buldu. Onlar, çok sayıda parçacığın Newton yasalarıyla uyumlu etkileşimiyle oluşan davranışın istatistiksel olarak tanımlanması gerektiğini fark ettiler ve onların nasıl davranması gerektiğini hesaplamaya yarayan denklemleri türettiler, yani istatistiksel mekanik olarak bilinen yasaları. Bu bize, titiz matematiksel bir yolla, fizik yasalarında bir bardak ılık su içerisinde buz küpleri oluşmasını engelleyen hiçbir şey olmasa da, böyle bir olayın son derece nadir olduğunu ve çok ama çok uzun bir sürede gerçekleşebileceğini söyler; o süre de kaç parçacığın sürece dahil olduğu bilinirse hesaplanabilir.² Bunu anlayıp istatistiksel mekaniğin yasaları üzerine çalışan ilk iki bilim insa-

² Buz küpünün oluştuğunu gözlemlenme şansınız olması için, o bir bardak suyu evrenin şu anki yaşından çok çok daha uzun süre oturuş izlemeniz gerekir.

nı birbirlerinden haberleri olmadığı için hoş görülebilir. Ludwig Boltzmann Avrupa'da, William Gibbs ise ABD'de çalıştı, on dokuzuncu yüzyıla gelirken bile bilimsel fikirlerin Atlantik Okyanusunun öte yakasına geçmesi zaman alıyordu. İstatistiksel mekaniğin üçüncü mucidininse (ya da kâşifinin) daha az bahanesi vardı, ama hiç yok denemez, çünkü kendisi sahneye biraz daha geç çıktı. Ancak, kendi başına çalışmayı tercih edip, kimsenin ne yaptığıyla ilgilenmemesiyle kötü bir ün yaymıştı. Onun adı Albert Einstein'dı ve yirminci yüzyılın başında ortaya koyduğu "belirli, sonlu büyüklükteki atomların varlığını olabildiğince garantileyen"³ kanıtlar, maddenin atomik kuramının nasıl yerleşik olmayı başaramamış olmasına bir işarettir. İstatistiksel mekaniğin onun ortaya koyduğu biçimi 1902-1904 arasında yayımlanan üç olağanüstü makalede yer aldı, öyle ki bunu ortaya koyan ilk kişi olsaydı bunlar ona bilimsel şöhreti garantilerdi. Ancak, diğer şeylerin yanı sıra 1905 yılında yayımladığı bilimsel makale, birkaç fanatik filozof dışında herkese atom ve molekül gerçeğini ilan etti. Hatta bunu kavraması matematikçi olmayanlar için de daha kolay, o yüzden istatistiksel mekaniği bir kenara bırakıp fiziğe odaklanacağım.

İşin fiziği, Einstein'ın en azından kabaca farkında olduğu eski bir çalışmaya dayanır. Ancak o çalışma, Einstein'ın çalışmasının başlangıç noktası değildi, çünkü o yine temel prensiplerden yola çıkıyordu, örneğin bir bardak su gibi bir sıvı içindeki toz zerresi gibi küçük bir cismin, atomlar ve moleküllerin sürekli olarak ona çarpması halinde nasıl hareket edeceğini hesaplamaya çalışıyordu. Bu tip bir hareket 1820'lerde İskoç botanikçi Robert Brown

³ Kendisinin *Autobiographical Notes* [Otobiyografik Notlar] kitabından, P. A. Schlipp (derleme), Open Court, Illinois, 1979.

tarafından çalışılmıştı. Onun ilgisi, polen taneciklerinin su içinde olduğu yerde koşma gibi bir titreşim hareketi şeklinde hareketinin, mikroskopla yapılmış gözlemlerden kaynaklanıyordu. O günkü olağan açıklama polen taneciklerinin canlı olduğu ve kendi akışları altında hareket ettiğiydi. Ancak Brown bunu öğütülmüş cam ve granit taneciklerinin sudaki hareketine bakarak test ettiğinde aynı şekilde hareket ettiklerini fark etti. Brown hareketi denilen bu olay, o hareketin yaşamla hiçbir ilgisi olmadığı ortaya koydu.

Einstein, atomların ve moleküllerin cansız toz zerreciklerini sıvı içinde nasıl harekete geçirdiğini hesaplayarak işe başladı, ancak yukarıdan aşağı yerine aşağıdan yukarıya doğru. Konu hakkında 1905 yılında yayımladığı makalesinin ilk paragrafında şöyle der:

Bu bahsi geçen hareketin, Brown moleküler hareketi denilen şeyle aynı şey olması olasıdır; ancak konuyla ilgili sahip olduğum veri öyle tutarsız ki bu konuda bir sonuca varamadım.

“Sahip olduğum veri öyle tutarsız ki,” yazdı, çünkü bakmaya gerek bile duymamıştı; hatta bu cümlelerin, makalenin basımdan önceki halini okuyan biri tarafından, çalışmanın Brown hareketiyle olan bağlantısının kendisine gösterilmesinden sonra eklendiğine ilişkin kayda değer bir şüphe de var. Ancak niyeti ne olursa olsun, Einstein Brown hareketini ancak dâhilerin yapabildiği, öyle ki bunun daha önce başkası tarafından nasıl akıl edilemediğini merak ettiren, hesaplamalarla desteklenen bir şekilde açıklayıp, deneycilere test edilecek bir şeyler verdi.

Einstein, polen ya da öğütülmüş cam gibi günümüz mikroskoplarıyla görülebilecek büyüklükteki parçacıkların, tek bir atom ya da molekül çarpmasıyla gözle görülür

şekilde hareket etmek için fazla küçük olduğunu fark etti. Ancak bir sıvı içerisinde, böyle parçacıklar çok sayıda atom ve molekül tarafından her taraftan sürekli olarak bombardımana uğrar. Bu bombardıman her yönden eşit olamaz. Herhangi bir zamanda, bir taraftan birkaç çarpma daha fazla olurken, diğer tarafta daha az olur. Parçacık daha az çarpmanın olduğu yöne doğru kayar. Daha sonra denge değişir ve başka bir yöne kaydırılır. Bunun toplamda etkisi, olduğu yerde koşmak değilse de, dolambaçlı bir yolda oraya buraya koşarak başladığı yerden giderek uzaklaşmak olan, titreşim benzeri bir harekettir. Bugün rastgele yürüyüş olarak bilinen o yol, Einstein'ın kavrayışının anahtar noktasıydı.

Einstein, bir parçacık hareketine nereden başlarsa başlasın, başladığı noktaya olan uzaklığının aradan geçen zamanın kareköküne bağlı olduğunu gösterdi. O hâlde, eğer parçacık bir saniyede belirli bir uzaklık kadar hareket ediyorsa, dört saniyede onun iki katı kadar (çünkü 4'ün karekökü 2'dir), on altı saniyede de dört katı kadar hareket edecektir. Ancak parçacık aynı yönde hareket etmeye devam etmez. Dört saniyede iki katı kadar hareket eder, ama rastgele ve öngörülemez bir yönde; on altı saniye sonra dört katı kadar başka rastgele bir yönde. Buna "ortalama karekök" yerdeğiştirmesi denir ve deneyçiler için bu öngörüü test etmesi olanaklıdır. Einstein, diğer çalışmalardan aldığı Avogadro sayısını yerine koyarak, 17 °C sıcaklığındaki suda 0,001 mm çapındaki bir parçacığın, başladığı noktadan bir dakikada bir metrenin milyonda altısı kadar yer değiştireceği sonucuna vardı. Bir maddenin gram cinsinden moleküler ağırlığındaki molekül sayısını veren Avogadro sayısının modern hesaplamaları $6,022140857 \times 10^{23}$ 'e, ya da kabaca 6'dan sonra 23 sıfıra eşittir. Bu da size, bir maddenin istatistiksel hareketinin,

neden eriyen buz küpleri ve Brown hareketi⁴ gibi etkileri ortaya çıkaran tekil, geri dönüştürülebilir etkileşimlere baskın gelmesine ilişkin bir fikir verir. Einstein'ın özetlediği gibi:

Eğer bu hareketin öngörülerinin yanlışlığı kanıtlanırsa, ısıнын moleküler-kinetik kavranışına karşı çıkan, önemli etkileri olan bir iddia olacaktır.

Elbette yanlışlığı kanıtlanmadı, bu da atomlar ve moleküllerin gerçekliğinin güçlü bir kanıtı olarak kabul edildi. Ancak dahası da var, hem de Einstein'ın 1905'te farkına vardığından bile daha fazlası.

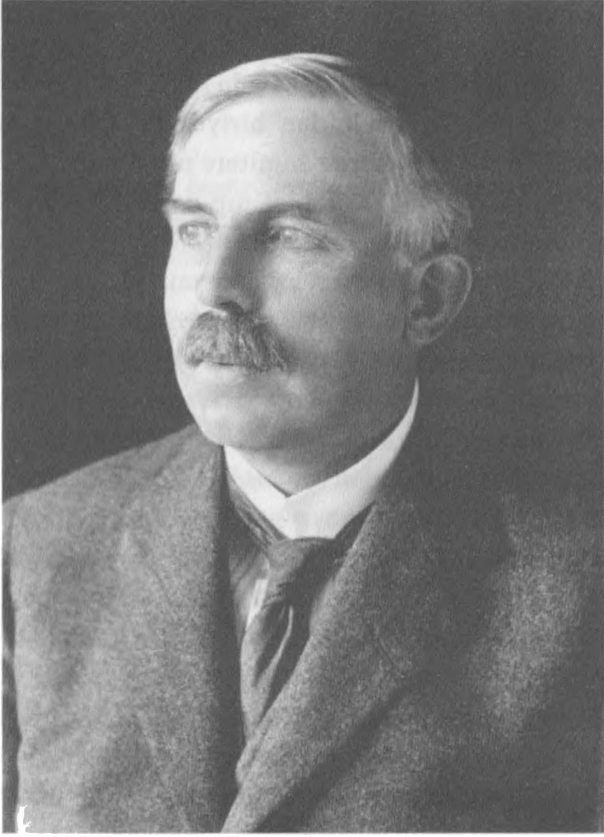
Einstein'ın bahsettiği ısıнын moleküler-kinetik kuramı, gündelik cisimlerin katı, sıvı ve gaz şeklindeki ayrımını açıklar. Bir gaz, atomların aralarında hiçbir şey olmadan boşlukta dolaşmasının tipik örneğidir. Bir sıvı, bir atom (ya da molekül) topluluğunun birbirinin yanından aralarından hiçbir boşluk olmaksızın oldukça kolay geçmesi şeklinde düşünülür. Bir katıdaysa, parçacıklar bir sıra içinde, atomlar ve moleküller arasında boşluk olmaksızın, birbirine dokunur şekilde ve sağlamca dizilmiş olarak betimlenir. Peki o hâlde neden klavyemi ve parmaklarımı çoğunlukla boşluk olarak tanımladım? Bu gerçekten de heyecan uyandıran bir keşifti ve yüzyıldan biraz daha fazla bir zaman önce, yirminci yüzyılın başlarında Manchester'daki araştırmacılar tarafından gerçekleştirildi.

⁴ O bilardo toplarına kafanızın takıldığını düşünerek, masa üzerine dağılmış, durağan bir grup topun harekete geçip birlikte düzenli bir grup haline gelmesi için masanın malzemesinin soğuyarak toplara enerji vermesi gerekirdi, aynen buzun bardaktaki suya enerji vermesi gibi. Bu mümkün, ancak oldukça düşük olasılıklı, görece az sayıdaki bilardo topunun beraber çalışması gerektiğinden *değil*, muazam çokluktaki parçacıkların beraber çalışması gerektiğinden.

Deneyleri aslında gerçekleştiren kişiler, Ernest Rutherford danışmanlığında çalışan Hans Geiger ve Ernest Marsden'di. Rutherford o dönemde fizik biliminin gelişiminde anahtar isimlerden biriydi. Yeni Zelanda'dan geldikten sonra, 1890'larda İngiltere'nin Cambridge şehrinde yeni keşfedilmiş X ışınlarının davranışını inceledi, daha sonra da 1898'de Kanada'nın Montreal kentindeki McGill Üniversitesine geçerek o dönemin bir başka büyük keşfi radyoaktivite üzerine çalışmalar yürüttü. Manchester'a ise 1907 yılında yerleşti. İlk yılı içerisinde, onun ekibi alfa radyasyonu denilen bu radyasyonun bir çeşidinin, aslında her biri iki birim elektrik yükü (bugün bunun iki elektron olduğunu biliyoruz) kaybeden bir helyum atomuyla aynı olduğunu ortaya koydu. Bu geriye, alfa parçacıkları denilen, iki birim pozitif yük taşıyan soyulmuş helyum atomları bıraktığından, onlar elektrik ve manyetik alan içerisinde kontrol edilebilir ve ışınlara doğru yönlendirilip hızlandırılabilir; işte bu yirminci yüzyılın ilk on yılında fiziğin ne kadar hızlı ilerlediğinin bir işaretidir, öyle ki 1909'a gelindiğinde Manchester ekibi doğal radyoaktivitenin ortaya çıkardığı alfa parçacıklarını kullanarak maddenin yapısının incelemek için onları bu şekilde kontrol ediyordu.

O günlerde atomik kuramın destekçileri, atomları içinde negatif yüklü elektron gömülü pozitif yüklü bir şeylerle dolu toplar olarak düşündü, aynen karpuz içindeki çekirdek ya da üzümlü kek* içindeki üzüm gibi (Bu model, Cambridge'deki ilk yıllarında Rutherford'a danışmanlık eden ve elektronun keşfi kendisine atfedilen J. J. Thomson tarafından geliştirilmiştir). Rutherford ve Geiger ise alfa

* Asıl benzetme bir Noel tartı olan erik pudingidir [plum pudding]. Ancak Türkçede üzümlü kek benzetmesi daha yaygın olduğu için o kullanıldı -çn.



Ernest Rutherford

ABD Kongre Kütüphanesi/Bilim Fotoğrafları Arşivi

parçacıklarını ince altın plakalara ateşleyip yollarından nasıl saptıklarını gözlemekteydi. Plakaların içinden geçen parçacıklar arka tarafta ısıltı yaptıkları bir sintilasyon ekranı kullanılarak tespit edilmekteydi.⁵ Geiger'in cesaretlendirmek istediği Marsden isminde parlak bir öğrencisi vardı ve Rutherford da ona herhangi bir alfa parçacığının

⁵ Ünlü Geiger sayacı bu değil, ama Geiger aynı Geiger.

plakadan sekip sekmediğine bakabileceğini söylemişti. Kimse pek önemli bir şey göreceğini ummamıştı, o da bir şey görürse. Sıkıcı, muhtemelen de bir öğrencinin deney yürütme deneyimi kazanması için kendisine verilmiş amaçsız bir işti. Ancak Marsden, beklediğinin aksine dedektör ekranında bir saniyeden uzun süren ışıltılar gördü. Pek çok alfa parçacığı, ya bir yana büyük bir açıyla sapıyor ya da geldiği yönde geri sıçrayarak bir şekilde sekiyordu. Rutherford'un daha sonra dikkat çektiği gibi: "Neredeyse 38 santimetrelik bir topu bir peçeteye ateşlemişsiniz de geri dönüp sizi vurmuş gibiydi." Ancak neler olduğuna ilişkin benzer, ani bir kavrayış yoktu.

Rutherford'ın ilk düşüncesi Thomson'ın "üzümlü kekini" derinlerinde yoğunlaşmış negatif elektrik yükü olabileceğiydi. Bu pozitif yüklü ve hızlı hareket eden alfa parçacıklarını çeker ve negatif yüklülerin etrafından geldikleri yönde geri gönderir; tıpkı bir kuyruklu yıldızın güneşin kütleçekimi tarafından çekilip etrafından dolanarak tekrar derin uzaya gitmesinde olduğu gibi. Olan biteni daha iyi açıklamak için yapılan bir grup özenli deneyden sonra, sintilasyon örüntülerine daha yakından uyan başka bir fikir geldi aklına. Atomun (bugün çekirdek denilen) merkezinde, elektronlarla ilişkili daha büyük bir negatif yük bulutuyla çevrelenmiş, bir *pozitif* yük yoğunluğu olması gerekir. Pek çok alfa parçacığı elektron bulutunu yarıp yoluna devam eder, ancak görece daha az sayıdakiler çekirdeğe çarpıp pozitif yük tarafından geri gönderilir. Birkaç bin alfa parçacığından birinin bu şekilde etkilendiğini gösteren deney istatistiklerini kullanarak, Rutherford 1911 yılında çekirdeğin atomun boyutunun yüz binde birinden daha küçük olduğu sonucuna vardı. Rutherford'ın *pozitif* yüklü çekirdeği tam olarak desteklemesi 1912'yi bulsa da, atomun kalbindeki yük yoğunluğunun keşfi Manches-

ter'daki bilimsel bir toplantıda duyurulup, 1911 yılının Mayıs'ında yayımlandı. Negatif yüklü atomların neden pozitif yüklü çekirdeğe düşmediğinin açıklanması için kuantum kuramını beklemek gerekti, ancak o andan sonra atomun çoğunlukla boşluk olduğuna ilişkin hiçbir şüphe kalmadı ve daha sonra alfa parçacıklarının aslında helyum çekirdeği olduğu anlaşıldı.

Modern ölçümler çekirdeğin çapının, hidrojen (en hafif element) için yaklaşık 1,7 femtometre ($1,7566 \times 10^{-15}$ metre) ile doğal olarak ortaya çıkan en ağır element olan uranyum için yaklaşık 12 femtometre arasında olduğunu göstermektedir. Atomların çaplarıysa 0,1 ila 0,5 nanometre (1×10^{-10} ila 5×10^{-10} metre) arasında değişir, öyleyse atomların ve çekirdeklerinin göreceli boyutları Rutherford'ın ilk kestirimleriyle hemen hemen uyuşur.

Böylesine küçük sayılara aşına olmayan insanlar için, atomların boşluğu görsel olarak zihinde daha iyi canlandırılabilir. Eğer çekirdek bir kum taneciği boyutundaysa, atom Albert Hall' boyutundadır. Oldukça kabaca olmakla birlikte, bir atom ve çekirdeği arasındaki boyut farkı, sizin ve bir hücrenin boyutu arasındaki farka benzerdir. Sporseverlere göreyse, eğer çekirdek bir golf topu boyutundaysa, bir atom 2,5 kilometre çapında olurdu. Durumu anladınız. Atomları bir araya getirip "katı" cisimler ortaya çıkaran yalnızca, küçücük çekirdeği çevreleyen, neredeyse bomboş alandaki bulutlarda iş başında olan elektriksel kuvvetlerdir. Çekirdeği çevreleyen o bulutlardaki elektronların davranışıyla aynı zamanda yıldızların nelerden yapıldığını anlamamızı olanaklı kılar.

* Birleşik Krallık'ta bulunan konser ve performans sanatları gösteri merkezi. Ülkede birden fazla Albert Hall bulunmakla birlikte, yazarın burada onların en bilineni olan Londra'daki konser salonu Royal Albert Hall'a atıfta bulunduğu düşünülmektedir -çn.

2.

Dayanak

YILDIZLAR GÜNEŞLERDİR VE ONLARIN NELERDEN OLUŞTUKLARINI BİLİRİZ

Filozof Auguste Comte 1835'te "Bir gün yıldızların kimyasal içeriğini belirleyebilmemiz aklımızın alacağı hiçbir yöntemle olanaklı değildir," diye yazmıştı. Yıldızların kimyasal içeriğini belirleyen bir yöntemse makale hâlinde Prusya Bilimler Akademisine 1859'da sunuldu. Bu 1859'daki sunum hikayenin sonu olmaktan epeyce uzak olsa da, iki olay arasındaki zıtlık bunun ne kadar şaşırtıcı bir sürpriz olduğunun ortaya koyar.

Hikâye aslında Comte farkında değilken, 1802 yılında, İngiliz fizyolog ve fizikçi Wiliam Hyde Wollaston'ın, cam prizmadan geçtiğinde gökkuşağı örüntüsü çıkaran güneş ışığı spektrumunu araştırırken başladı. Örüntünün, ikisi spektrumun kırmızı tarafında, üçü yeşil tarafında diğer dördüyse mavi ucunda olmak üzere karanlık çizgilerle kesintiye uğradığını fark etti. Bunların renkler arasında boşluklar olduğunu düşünüp keşfinin peşinden gitmedi. Alman endüstriyel bilimci Josef von Fraunhofer ise, mercek ve prizmalarda kullanılan camların kalitesini artırmaya çalıştığı deneyleri yaparken aynı keşfi bağımsız olarak 1814'te yaptı. İlk olarak Wollaston'ınkinin kar-

şıtı bir etkiyi fark etti; bir ateşten gelen ışık prizmadan geçtiğinde, spektrumda oldukça belirli dalga boylarında iki parlak sarı ışık vardı. Bu saf sarı ışığı farklı camların optik özelliklerini test etmek için kullanıp daha sonra camın güneş ışığını nasıl etkilediğini inceledi. O sırada kendisi farkında değilken keşfedilmiş karanlık çizgileri gördü. Fraunhofer'in daha iyi aletleri ve yüksek kaliteli camları olduğundan, güneş spektrumunda bulunan, her biri belirli dalga boylarında çok daha fazla çizgiyi görüp 576'sını sayabildi; onların genel görünümü daha çok bir barkodu andırıyordu. Dahası, benzer çizgi örüntülerini Venüs'ten ve yıldızlardan gelen ışıktaki da gördü. Bunların neden kaynaklandığını asla bulamadı, ancak bugün o çizgiler Fraunhofer çizgileri olarak bilinmekteler.

Sonraki büyük adım 1850'lerde Heidelberg'de çalışmalarını yürüten Robert Bunsen ve Gustaf Kirchhoff'tan geldi. O dönemlerdeki tüm kimyacıların bildiği gibi, onlar da farklı maddelerin tutuşturulduklarında farklı renklerde yandığını bilmekteydi, örneğin bir tutam sodyum (yani bildiğimiz tuz, sodyum klorür) için sarı, bakır için mavi-yeşil gibi. Bu "yanma testleri" için, adını Bunsen'in kendisinden alan¹ ve içinde bir prizma ve mikroskoptaki gibi, ışığı detaylıca incelemeye yarayan (ilk spektroskop buydu) çok iyi bir ocakları vardı. Spektroskopiyi kullanarak ortaya çıkan renkli ışığı incelediklerinde, ateşte her elementin belirli dalga boylarında kendine has keskin çizgiler ortaya çıkardığını gözlemlediler. Fraunhofer tarafından fark edilen iki sarı çizgi sodyum tarafından, spektrumun mavi-yeşil kısmında sivri çizgilerse bakır tarafından ortaya çıkarılır, vb. Her sıcak cismin spektrum-

¹ Basit ocak Faraday tarafından tasarlanıp, Bunsen'in adı altında pazarlayan ve onun asistanı olan Peter Desaga tarafından geliştirildi.

da kendine özgü çizgilerden oluşan örüntüler ortaya çıkardıklarını fark ettiler.² Sonraysa beklenmedik bir fırsat ayaklarına geldi.

Heidelberg'de çalıştıkları bir akşam, yaklaşık 16 kilometre uzaklıktaki Mannheim'da büyük bir yangın çıktı. Spektroskopiyi kullanarak yangından gelen ışığı incelemek için doğru zamanda doğru yerdeydiler ve spektrumda strontiyumla baryuma karşılık gelen çizgileri ayırt edebildiler. Daha sonra farklı zamanlarda farklı biçimlerini anlattıkları hikâyeye göre, yangından birkaç gün sonra Bunsen şu cümleleri sarfettiğinde ikisi Neckar Nehri kıyısında yürüyordu: "Mannheim'da yanan maddelerin doğasını belirleyebiliyorsak, aynı şeyi güneş için de yapabilmeliyiz. Ancak insanlar böyle bir şeyi hayal etmemizin çılgınca bir şey olduğunu söyler."

Laboratuvara geri dönüp o çılgınca fikri test ettiler. Kirchhoff güneş spektrumunun sarı tarafındaki çift sodyum çizgisini hemen tespit etti, daha sonraysa Kirchhoff'un öncülüğünde, Bunsen ocağında yanarken parlak çizgiler ortaya çıkaran dalga boylarında çoğu koyu olan Fraunhofer çizgilerini buldular. Bunun anlamı, sıcak cisimler spektrumda parlak çizgiler ortaya çıkarsalar da, onlara karşılık gelen dalga boylarındaki ışığın, ışık soğuk cisimlerden geçtiğinde soğrulup karanlık çizgiler ortaya çıkarmasıdır. Güneşin sıcak olan içinden gelen ışık, soğuk dış katmanlardan geçerek bu etkiyi yapıyor olmalıdır. Güneşin neyden oluştuğunu anlamak *olanaklıydı*. Kirchhoff o kadar şaşırmıştı ki, nehir kenarındaki sohbetlerine atıfta bulunarak, heyecanla "Bunsen, çıldırdım!" dedi, Bunsen ise "Ben de, Kirchhoff, ben de" diye yanıtladı. İşte bu, Kir-

² Böyle bir şeyin *neden* olduğunun açıklanması için yirminci yüzyılda kuantum kuramının gelişmesini beklemek gerekecekti, ancak bu o zamanın kimyacılarının pek umrunda olmadı.

choff'un 27 Ekim 1859'da Prusya Bilimler Akademisine yaptığı sunumun ana hatlarını oluşturdu. Güneşin ve yıldızların nelerden oluştuğunu söylemek gerçekten de olanaklıydı. Yoksa değil miydi?

Başlangıçta her şey yolunda gibiydi. Yıldızlardan gelen ışığı analiz eden yeni tekniğin büyük başarısı, 18 Ağustos 1868'de Hindistan'dan izlenebilen güneş tutulmasının ardından geldi; Kirchoff'un keşfinden, yani belirli elementlerin güneşten gelen ışığı belli dalga boylarında engellemesiyle Fraunhofer çizgilerinin oluştuğunu fark etmesinden sonraki ilk tutulmaydı bu. Bir tutulma sırasında, güneşin ana diskinden gelen ışık ay tarafından engellenir, böylelikle yüzeyin üst bölgelerinden gelen daha soluk ışığı incelemek olanaklı olur. Fransız gökbilimci Pierre Janssen tam olarak bunu yapıp, beklenen sodyum çizgisine yakın çok parlak sarı bir çizgi buldu. Bu çizgi öylesine parlaktı ki, tutulmadan sonra bile inceleyebilmişti, hatta Fransa'ya dönmeden önce fazladan gözlemler bile yapmıştı. Bu sırada, İngiliz gökbilimci Norman Lockyer, 20 Ekim 1868'de güneşin dış bölgelerinden gelen ışığı incelemek için kullandığı yeni bir teleskop geliştirmişti. Aynı sarı ışığı o da gördü. Keşif, Janssen ve Lockyer'in ikisine de atfedildi. Ancak yalnızca Lockyer cesaret edip onun dünyada bilinmeyen bir element olduğunu iddia etti ve ona adını Yunanca güneş sözcüğünden alan helyum adını verdi. Bu iddia, 1895 yılında William Ramsay uranyum tarafından yayılan bir gazın (bugün bunun radyoaktif yarılanma sonuncunda olduğunu biliyoruz) spektrumunda aynı parlak sarı çizgiyi ortaya çıkardığını bulmasına kadar tartışmalı kaldı. Güneşte 27 yıl önce "bulunan" bir element dünyada da bulundu. Yirminci yüzyılın başında, spektroskopi yoluyla tespit edilen sayısız element, güneş bilinmeyen bir süreç sayesinde sıcak tutulsa da, içeriği-

nin neredeyse dünyanınkiyle aynı olduğunu söyler gibiydi. Ancak kanıtların bu şekilde yorumlanması yanlıştı. Sandıkta keşfedilmeyi bekleyen başka sürprizler de vardı.

Yorumlama yanlış olsa da, sağlam kanıtlara dayanıyor gibiydi. On dokuzuncu yüzyılın sonunda, güneşin bileşimine ilişkin güncel bilgi, Henri Rowland tarafından, içindeki 36 elementi belirleyip spektral çizgilerindeki koyuluk hakkında detaylar verdiği bir dizi tabloyla özetlendi. Bilgiler, örneğin her bir karbon atomu için kaç oksijen atomu olduğu gibi, elementlerin göreceli oranını ortaya çıkardı, bu da dünyadaki oranlarla eşti. Çoğunlukla Rowland'ın çalışmalarının sonucuna dayanarak, güneşin bileşiminin dünyanınkiyle aynı olduğu düşüncesi çeyrek yüzyıl daha devam etti. Sonra ilk sürpriz geldi.

Cecilia Payne 1924 yılında Harvard Üniversitesinde doktora üzerine çalışıyordu. Payne İngilizdir ve Cambridge'deki Newnham College'da okumuştur, ancak kadın olduğu için, bırakın doktora herhangi bir diploma almasına bile izin verilmemişti. İşte bu yüzden, 1925 yılında Harvard College Gözlemevinde yürüttüğü çalışmalarla Radcliff College'dan doktora derecesi alan ilk kadın olacağı Amerika'ya taşınmıştı. Işıltılı kariyerinin yalnızca başıydı bu,³ ancak hiçbir şey 1920'lerin ortalarında başardıklarını geçemedi. Başlangıç noktası, Hint fizikçi Meghnad Saha'nın Fraunhofer çizgilerinin detaylarının fiziksel koşullardan (sıcaklık, basınç, vb.) nasıl etkilendiğini açıklayan yeni bir çalışmasıydı. Bu bilgiyi kendine rehber edinin, çeşitli yıldızlardaki on sekiz elementin göreceli oranlarını kendisinden önceki herkesten daha hassas olarak hesaplayıp, bu etkiler hesaba katıldığında bütün

³ Kariyerinin çoğunu evlendikten sonraki adı Cecilia Payne-Gaposchkin olarak geçirdi.

yıldızlar için aslında aynı olduğunu gösterdi. Bu miktarların çoğu, Rowland'ın güneşteki miktarlara ilişkin tablolarıyla uyuşmaktaydı. Ancak arada dikkat çekici bir farklılık vardı. Payne'in hesaplamalarına göre, geri kalan her şeyin toplamından çok daha fazla hidrojen ve helyum vardı.

Payne, keşfini de içeren tezinin taslağını hazırladığında, danışmanı Harlow Shapley, incelemesi için tezi Princeton Üniversitesinde kıdemli bir gökbilimci olan Henry Norris Russell'a gönderdi. Russell sonuçların "kesinlikle olanaksız" olduğunu söyledi. Russell 1914 yılında, "The Solar Spectrum and the Earth's Crust" [Güneş Spektrumu ve Yer Kabuğu] üzerine bir makalede şöyle yazmıştı:



Cecilia Payne-Gaposchkin

Smithsonian Enstitüsü/Bilim Fotoğrafları Arşivi

Güneş ve yeryüzü [element] listeleri arasındaki uyum Rowland'ın düşüncesini öylesine doğrular ki, eğer yer kabuğu güneşin atmosfer sıcaklığına çıkarılacak olursa, oldukça benzer bir soğrulma spektrumunu verir. Güneş ve diğer yıldızların spektrumları benzerdir, dolayısıyla evrendeki bağıl element miktarı yer kabuğununkiyle benzer gibidir.⁴

O bu görüşü hâlâ koruyordu. Payne, 1925 yılında tezini resmen teslim ettiğinde Shapley'nin tavsiyesiyle, "yıldız atmosferlerinde –hidrojen ve helyum için– elde edilen muazzam bolluk neredeyse kesinlikle gerçekçi değildir," cümlesini tezine ekledi.

Ama bu zamanı gelmekte olan bir düşünceydi. Göttingen'de çalışan bir gökbilimci olan Albert Unsöld 1928'te güneş spektrumu üzerine bir çalışma yapıp güneşin çoğunlukla hidrojenden oluştuğu sonucuna vardı. İrlandalı genç bir araştırma öğrencisi olan William McCrea o sıralarda Göttingen'de bulunuyordu ve bu sonucu hesaplamalarla geliştirip, güneşin atmosferinde helyum dışında geriye kalan her şeyin toplamından milyon kat daha fazla hidrojen olduğunu gösterdi.⁵ Doktora derecesini 1929 yılında "Problems Concerning the Outer Layers of the Sun" [Güneşin Dış Katmanlarıyla ilgili Problemler] başlıklı teziyle Cambridge Üniversitesinden aldı. Aynı zamanlarda Russell, Payne'in sonuçlarındaki olanaksızlık hakkında fikrini değiştirmekteydi. Russell, Unsöld'ün çalışmalarından yola çıkıp Saha denklemlerini de kullanarak, güneş spektrumu üzerine detaylı bir çalışma yürüterek 56 elementin görelî miktarını sundu. Bu, Russell onu "neredeyse inanılmayacak düzeyde müthiş" olarak nitelese de,

⁴ *Science*, c. 39, s. 791.

⁵ Çok daha sonraları, ben Sussex Üniversitesinde gökbilim okurken McCrea benim danışmanımdı, ancak onun dehası bana geçmedi!

“hidrojenin muazzam miktarından şüphe duymanın hayli zor oluşu” hakkında kanıtı da içeren, o zamana kadar güneşin bileşimine ilişkin en iyi verilerdi. Russell kendi makalesini yayımladığında Payne’in hakkını tam olarak vermek konusunda dikkatliydi, ancak kendisi hâlihazırda adını duyurmuş bir bilim insanı olduğundan, onun makalesi o zamanlarda büyük ses getirdi ve sıklıkla keşifte Payne’in hakkı olan övgüyü de o aldı. Onun çalışması Payne’inkinden daha fazla ünlendi, ancak Payne’inki önce geldi; gökbilimci Otto Struve 1962’de Payne’in tezinin o zamana kadar “gökbilim üzerine yazılmış en dâhice doktora tezi” olduğunu söyledi. 1925’te “olanaksız” olan, 1929’da yalnızca “neredeyse” inanılmazdı.

Ancak Russell’ın 1914’teki “dolayısıyla evrendeki bağıl element miktarı yer kabuğununkiyle benzer göründü” yorumunda ipuçları verilen, gökbilimcileri şaşkınlığa uğratacak daha fazla şey de vardı. Eğer yıldızlar yer kabuğunda aynı miktarda bulunan aynı elementlerden oluşmadyısa, o hâlde evrenin bileşimi de yer kabuğunki gibi değildir. Daha açık olmak gerekirse, evren çok daha fazla hidrojen ve helyum içermelidir. Payne, Unsöld, McCrea ve Russell’ın çalışmalarından otuz yıl sonra ancak bu kadarı açıklığa kavuştu.

Gökbilimciler, güneşin iç kısımlarındaki ısıyı nasıl ürettiğinin tüm detaylarını bilmeseler de, 1920’lerin sonunda güneş gibi yıldızların doğası hakkında şaşırtıcı derecede iyi bir kavrayışa sahipti. Bir yıldız, temelde iki karşıt kuvveti eşitleyerek dengeyi sağlayan sıcak bir gaz balonudur. Kütleçekimi topu çekerek bir arada tutmaya çalışırken, iç kısımdaki ısı tarafından ortaya çıkarılan basınç onu iter. Gökbilimciler, gezegenlerin yörüngelerini inceleyerek güneşin kütlesini hesaplayabilirler, güneş de kendi kütleçekimi sayesinde bir aradadır, dolayısıyla

çeken kuvvetin gücünün ne kadar çok olduğunu bilirler. Denge sayesinde iten kuvvetin de ne kadar olduğunu bilirler, bu da onlara, merkezindeki sıcaklık da dahil olmak üzere güneşin içindeki koşullar hakkında bilgi verir. Bunun detayları, öncü astrofizikçi Arthur Eddington tarafından çalışılıp, 1926 yılında *Internal Constitution of the Stars* [Yıldızların İç Bileşimi] isimli kitapta yayımlandı. O zamanlarda, Albert Einstein sayesinde, enerjinin çekirdek kaynaşması yoluyla salınabileceği biliniyordu. Bu yolla, eğer dört hidrojen çekirdeği (tekil proton) bir helyum çekirdeğine (her biri iki proton ve iki nötronun birbirine bağlanmasından oluşan alfa parçacıkları) dönüştürülebilirse, çok yüksek miktarda enerji salınabilir, çünkü her bir helyum çekirdeği dört tekil protonun toplamından daha az kütleye sahiptir. Böylesi bir kaynaşmada salınan enerji, o “kayıp” kütlenin ışık hızının karesiyle çarpımına eşittir. Gökbilimcilerin, güneşin ve yıldızların ne kadar hidrojen içerdiğini fark etmelerinden önce bile, olasılıkla hepsi o kaynaşma işleminde yer alabileceğinden, Eddington ısıнын bu yolla ortaya çıkarıldığını, çünkü “ele aldığımız helyum bir yerde ve zamanda bir araya getirilmiş olmak zorundadır” önerisini ortaya atmıştı. Ancak asıl soru şuydu: Nasıl?

Bu soruya bir cevap arayışı talihsiz bir rastlantıyla engellendi. Astrofizikçiler 1930’larda yıldızların iç kısımlarının daha detaylı “modellerini” (neler olduğunu ifade eden denklemler) geliştirdiler. Onlardan biri, parçacıkların balondaki hava molekülleri gibi birbirleriyle çarpışarak etrafta dolaştığı, basınç olarak bildiğimiz düzenli süreçtir. Ancak bir yıldızın içi öyle sıcaktır ki negatif yüklü elektronlar pozitif yüklü çekirdekten sökülür. Sonuçta ortaya çıkan yüklü parçacıklar, yıldızın merkezinde ortaya çıkıp yüzeye doğru yol alan –ışık, X ışın-

ları gibi- elektromanyetik radyasyonla etkileşir. Bu ise, radyasyon basıncı olarak bilinen dışa doğru fazladan bir kuvvet ortaya çıkarır. Güneş gibi yıldızlar, bu tür basınçların ikisinin de kütleçekiminin içe doğru çekimiyle dengelendiğinde kararlıdır. Ancak anlaşıldı ki bu dengeye erişmenin iki yolu vardı.

Bildiğimiz basınç kaç adet parçacık olduğuna bağlıdır. Elektronlar, protonlar ve nötronlara göre çok daha hafif olduklarından göz ardı edilebilirler, dolayısıyla önemli olan atom çekirdeği sayısıdır. Ancak radyasyon basıncı elektron sayısına da bağlıdır. Bir hidrojen atomunun yalnızca tek elektronu vardır, o yüzden çekirdek başına bir elektron katkısında bulunabilir, ancak helyum atomunun iki elektronu olduğundan iki elektron katkısı yapabilir, gibi. Dolayısıyla ortalama basınçtaki bildiğimiz normal basınç ve radyasyon basıncı oranları, karışımda ne kadar ağır element çekirdeği olduğuna göre değişir. Güneşin kütlesi ve parlaklığında olan ya da herhangi benzer bir yıldız için talihsiz olan şudur ki, kütleçekimin içeri doğru çekiminin bu iki basıncın toplamıyla dengelenmesinin, yıldız *hem* en az yüzde 95 hidrojen ve helyum karışımından *hem de* hafif şeylerden yalnızca yüzde 35 ve ağır elementlerden yüzde 65 şeklinde bir karışımdan meydana gelmesiyle mümkün olmasıdır. Yıldızların tamamen ağır elementlerden oluşmadığının henüz farkına varmış olan gökbilimciler, 1930'larda ikinci olasılığa yöneldiler. Dünyada bulunan elementlerin güneşte yüzde 5'ten daha fazlasının bulunmadığını kabul etmek onlar için fazla büyük bir adımdı.

Dolayısıyla, yıldızlardaki enerjinin nasıl ortaya çıkarıldığını, yani hidrojen çekirdeklerinin bir araya gelip nasıl helyum oluşturduğunu açıklayan ilk girişimler yıldızların yüzde 35 hidrojen içerdiği varsayımında bulundu.

Bu yanlış anlaşılma, süreci açıklama çalışan ilk kişilerin çalışmalarını etkiledi; ilk çalışmalar Fritz Houtermans ve Robert Atkinson işbirliğinde gerçekleşirken, Atkinson daha sonra onları geliştirdi. Fikrin özü, ağır çekirdeğin ardı ardına dört protonu kendine katıp alfa parçacıkları, yani helyum atomları salmasıdır. Anlaşıldığına göre, bu süreç güneşten biraz daha büyük olan bazı yıldızlarda önemlidir, ancak aslında güneşin içinde enerjiyi ortaya çıkaran süreç çok daha basittir. Bu, iki protonun bir araya gelip bir pozitron (elektronun pozitif yüklü zıttı) salarak bir dötron,* yani tek proton ve tek nötron içeren bir çekirdek ortaya çıkarmasıyla başlar. Bir başka protonun daha eklenmesiyle bir helyum-3 çekirdeği ortaya çıkar ve iki helyum-3 çekirdeği etkileşerek bir helyum-4 (iki proton ve iki nötron, yani bir alfa parçacığı) çekirdeği ortaya çıkarırken iki proton atılır. Sonuçta dört hidrojen çekirdeği bir helyum çekirdeğine dönüştürülüp enerji salınır. Bu "proton-proton zincirinin" temelleri Charles Critchfield tarafından 1938'de çalışıldı, ama güneşin en az yüzde 95 oranında hidrojen ve helyumdan oluştuğunun farkına varıldığı 1950'lerde ancak tamamen kavranabildi.

Bunun işe yaraması için çok fazla hidrojene ihtiyaç duyulur, çünkü iki hidrojen çekirdeğinin birbirine dötron meydana getirecek kadar bir kuvvetle çarpma olasılığı, güneşin kalbindeki aşırı koşullar altında bile düşüktür. Yüksek hızlı elektronik bilgisayarlardaki ilerlemelerden epeyce yardım alan günümüzdeki hesaplamalar bize, Celsius cinsinden 15 milyon derece sıcaklığındaki güneşin kalbinde oradan oraya savrulan bir protonun kafa kafaya bir çarpışmaya girerek dötron ortaya çıkarması için 14

* Ağır hidrojen olarak da bilinen döteryum çekirdeğinin bilimsel adı -çn.

milyar yıl geçmesi gerektiğini söyler. Bazıları daha uzun, bazıları daha kısa sürer, ancak istatiksel olarak her 10 milyar trilyon* çarpışmanın yalnızca biri proton-proton zincirini başlatır. Zincirdeki diğer adımlar da benzer şekilde düşük olasılıklıdır. Dört protonun bir helyum çekirdeğine her dönüşümünde, kütlenin yalnızca yüzde 0,7'si enerjiye dönüştürülür. Bu olayların seyrekliğine ve enerjiye dönüşen kütlenin düşüklüğüne rağmen, yine de ortalamada 616 milyon ton hidrojen 611 milyon ton helyuma çevrilirken, güneş her saniye 5 milyon ton (bir milyon orta büyüklükteki Afrika filine eşdeğer) kütleyi enerjiye çevirir. Bunu 4,5 milyar yıldır yapmaktadır, ancak öyle çok hidrojenle işe başladı ki şu ana kadar sahip olduğu hidrojen yakıtının yalnızca yüzde 4'ünü işleyip helyum külüne dönüştürdü.

Güneşin (ve benzer yıldızların) bileşimi söz konusu olduğunda, durum 1930'larda hesaplamaların ortaya koyduklarından çok daha aşırıdır. Hesaplamalar, güneşin *en az* yüzde 95'inin hidrojen ve helyum formunda olması gerektiğini ortaya koydu. Bugün hem gözlemler hem de bilgisayar modellemelerinden biliyoruz ki, güneş kütle olarak yüzde 71 oranında hidrojen, yüzde 27 kadar helyum ve yüzde 2 oranında da geriye kalan her şeyin toplamından oluşmaktadır. Atomların (çekirdeklerin) sayıları açısından sayılar daha da etkileyicidir. Hidrojen çekirdeği güneşin yüzde 91,2'sini oluştururken, helyum yüzde 8,7'sini, geriye kalan her şeyse yalnız yüzde 0,1'ini oluşturur. Bu sayılar evrendeki yıldızlarda bulunan kimyasal elementlerin oranlarıyla benzerdir ve gezegenler yıldızlarına kıyasla (kozmetik anlamda) önemsiz toz zerrecikleridir (güneşin büyüklüğü, 1,3 milyon dünya boyutundaki geze-

* 10^{30} ya da 1'den sonra otuz sıfıra karşılık gelen sayı. Nonilyon -çn.

gen kadardır). Bizimle ilgili her şeyse yüzde 2'nin ya da atomları sayıyorsanız yüzde 0,1'in bir kısmıdır, yani sonradan akla gelmişiz gibi bir şey. İşte bu bilimin en büyük sürprizlerinden biriydi. Her şeye rağmen, belki de daha şaşırtıcı olanı, o yüzde 2'nin, biz de dahil olmak üzere yaşamı ortaya çıkarmasıdır. Bunun nasıl gerçekleştiğiyle bilimin başka bir dayanağıdır.

3.

Dayanak

YAŞAM GÜCÜ DİYE BİR ŞEY YOKTUR

Yaşamın özel bir şey olduğu, yani canlı şeylerin cansız şeylerde olmayan, gizemli bir “yaşam gücüyle” beslendiği düşüncesi tarihin kendisinden de eski olup antik Mısır ile Yunanistan’ın filozoflarınca tartışılmıştır. Akla yatar. Ancak dünyayı kavrayışımızda sürekli karşılaştığımız gibi, sağduyu gerçeklik için kötü bir rehberdir.

Canlı şeylerin nasıl çalıştığına yönelik ilk sağlam kavrayışın başlangıcı 1780’lerde Fransız kimyacı Antoine Lavoisier ve meslektaşı Pierre Laplace’ın yürüttüğü deneylerle geldi. Bir kutu içindeki gine domuzunu, içi buz dolu başka bir kutunun içine koyarak buzun belirli bir süre içinde ne kadar eridiğini ölçtüler. Ayrıca hayvanın (bugün karbondioksit olarak bilinen) “sabit havadan” ne kadar nefes verdiğini de ölçtüler. Bunun, aynı miktarda buz eritmek için yakılması gereken kömürün çıkardığıyla aynı miktarda olduğunu buldular. Böylelikle hayvanların kömür ya da mum yanmasıyla aynı yasalara uyduğu gözlemlendi.

Ancak sonraki on yılda başka bir keşif başlangıçta gerçekten de bir yaşam gücünün olduğunu ortaya atar gibiydi. Bu ünlü keşifte, İtalyan doktor Luigi Galvani ke-

silmiş bir çift kurbağa bacağının demire dokunduğunda seğirdiğini kazara keşfetti. Gerçi hikâyenin kendisi popüler kaynakların anlattıklarından biraz daha karmaşık, o yüzden bir bilim insanının zihninin nasıl çalıştığını anlamak için detaylarından bahsetmeye değer.

Galvani pek çok farklı deney yapmaktaydı ve laboratuvarında kolunu çevirerek sürtünme yoluyla halı üzerinde yürüdükten sonra metal bir cisme dokunduğunuzdaki şoka benzer statik elektrik üreten bir makine de vardı. Bir gün kurbağanın bir çift bacağını daha önceden makineye dokunup elektrik yükü kapmış bir neşterle keserken bacaklar sanki canlıymış gibi geri çekilmişti. Bu onu, ölü bir kurbağanın bacaklarının elektrik makinesine doğrudan bağlandığında ya da fırtınalı havada yıldırım varken metal bir plakaya koyulduğunda seğirdiğini gösteren deneyler yapmaya götürdü. Ancak anahtar gözlem kazara oldu. Galvani bacakları deneylere hazır hâle getirirken, onları bakır kancalarla açık havada asardı. Dışarıda bir elektrik kaynağı olmasa da, bu kancalardan biri demir çite dokunduğunda bacaklar geri çekildi. Bacakları alıp, onları içeride elektik makinesinden oldukça uzakta asıp, kancayı demire değdirdiğinde bacaklar yine geri çekildi. Her defasında ve her bacak grubunda aynı şey oldu.

Bu olayın, yıldırımını ortaya çıkaran ya da sürtünme yoluyla ürettiğimiz “statik” elektrikten başka, bir çeşit “hayvan elektriğinin” varlığını kanıtladığına ikna oldu. Bu hayvan elektriği, beyinde üretildikten sonra sinirler yoluyla kaslara taşınan ve kullanılması gerekene kadar orada depolanan bir çeşit sıvı olmalıydı. Galvani’nin dostu Alessandro Volta buna karşı çıktı. Seğirmeye neden olan elektriğin yaşam gücüyle değil, kesilmiş bacakların dokunduğu metallerin etkileşimiyle ilgisi olduğunu söyledi. Bu da onu, çeşitli deneylerle birlikte elektrik üreten bir

makine icat etmeye götürdü. Bu, birbiri üstüne koyulmuş, ancak tuzlu suya batırılmış kartonla birbirinden ayrılmış gümüş ve çinko disklerden oluşmaktaydı. Yığının tepesi alt kısmıyla bir tel yoluyla bağlandığında, telden elektrik akımı geçmekteydi. İşte bu "Voltaik pil," bildiğimiz pilin ilk örneği idi.

Volta'nın icadı Londra'daki Royal Institution'da geliştirilip, Humphry Davy tarafından elektriğin kullanılarak kimyasal bileşiklerin bileşenlerine ayrıldığı sıradışı deneylerde uygulandı ve potasyumla sodyumu da içeren "yeni" metallerin varlığı ortaya kondu. Ancak yaşam gücü fikrini bir kenara atmak bir yana, Davy'nin deneyleri fikrin bazı destekçilerini cesaretlendirmeye yaradı. Örnek vermek gerekirse, Londralı John Abernethy isminde bir cerrah, elektrik ve adına Canlılık dediği, özünde yaşam gücüyle aynı şey olan bir şey arasında bir bağlantı gördü. Onun vardığı sonuçlara meslektaşlarından biri olan William Lawrence tarafından karşı çıkıldı, bu da 1820'leri kapsıy kavuran bir tartışmayı başlattı (Mary Shelley'nin *Frankenstein*'i bu dönemlerde yazması bir tesadüf değildir; Lawrence, 1815-1818 arasında Percy Byssche Shelley'nin doktoruydu). Elektrik üzerine araştırmalar meseleyi çözemedi. Ancak 1828'de yürütülen bir kimyasal deneyin şaşırtıcı sonucu canlılık meselesini unutturmalarıydı.

On sekizinci yüzyılın sonlarında, kimyacılar farklı maddelerin bir araya gelerek karmaşık bileşikleri nasıl meydana getirdikleri anlamaya başlıyordu. Kısa süre sonra anlaşıldı ki, karbon gerçekten de başka şeylerle karmaşık kombinasyonlar meydana getirebilmekteydi ve canlı şeyler de çoğunlukla böyle karmaşık karbon bileşiklerinden oluşmaktaydı. Bu çeşit karbon bileşenlerinin kimyası organik kimya olarak adlandırılmaya başlanıp, su gibi "inorganik" şeylerden ayrı görüldü ve canlılık

fikriyle ilişkilendirildi. Organik bileşiklerin yalnızca canlı şeyler tarafından, yaşam gücü sayesinde üretilebileceği düşünüldü.

Fransız kimyacı Hilaire Rouelle, 1773'te insanlar da dahil olmak üzere çeşitli hayvanlardan alınan idrardan daha önceden bilinmeyen bir maddeyi ayırttırdı. Bu madde üre olarak adlandırıldı ve o zamanlarda bir çeşit bilmeceydi, çünkü o zamanlar için bile görece basit bir bileşikti (Günümüzdeki formülü $H_2N-CO-NH_2$ 'dir). Üretiminde bir yaşam gücünün etkisine ihtiyaç duyacak kadar karmaşık görünmedi. Anlaşıldığı gibi, değildi de.

Alman kimyacı Friedrich Wöhler 1828'de siyanik asidi amonyumla tepkimeye sokarak amonyum siyanat elde etmeye çalışıyordu. Ancak deneyde elde ettiği amonyum siyanat değildi. Titiz bir analiz onun, idrardan çıkartılan şeyle aynı şey, yani üre olduğunu ortaya koydu. Keşfi aktardığı 1828 tarihli makalesinde şaşkınlığını gizlememişti:

Çalışma beklenmedik bir sonuçla siyanidin amonyumla karışımından üre ortaya çıkardı. Bundaki oldukça sıradışı bir gerçeklik şu ki, bu "animalischem Stoff" [hayvan maddesi] denilen organik bir bileşiğin, inorganik bileşiklerden yapay (in vitro [laboratuvar ortamında]) olarak üretimini gösterir.

O yıl çalışma arkadaşlardan biri olan Jacob Berzelius'a haber vermek için yazdığı bir mektupta çok daha az ciddiymi, öyle ki o [Wöhler]:

insandan ya da köpekten, hiçbir hayvana ya da böbreğe ihtiyaç duymadan üre elde edebilirdi. Amonyum siyanat ürenin ta kendisidir. Kendi başıma ürettiğim amonyum siyanat, idrardan elde edilen üreden hiçbir biçimde farklı değildir.

Bu, yaşam gücü fikrinin kökünü kurutan bir şey olabiliirdi. Ancak beklediğimiz etkiyi hemen yapamamasının bir nedeni kısaca üstteki alıntıdan anlaşılabilir. Wöhler'in deneyleri, kimyasal olarak konuşursak üre ve amonyum siyanatın aynı şey olduğunu gösterdi. Bir amonyum siyanat molekülü gerçekten de üreyle aynı atomları içerir ancak farklı geometrik dizilimdedir. Böyle aynı olmayan ikiz moleküller bugün izomerler olarak bilinirler ve Wöhler izomer keşfinin peşinden gitmekle canlılık tartışmasına girmekten daha çok ilgiliydi. Bununla birlikte, üre görece basit bir maddedir ve özel bir yaşam kimyasının destekçileri onun pek de organik bir molekül olarak sayılamayabileceğini savunabilirlerdi (savundular da). Daha karmaşık olan çok daha fazla organik molekül vardı ve onlar sentezlenemiyordu.

Canlılığı sona erdirmenin tek yolu, "tam sentez" olarak bilinen bir süreçle, basit inorganik moleküllerden başlayarak benzer daha çok ve karmaşık organik molekül sentezlemektir. Wöhler'in keşfi, şanslı bir an ve güzel bir tesadüftü. Ancak 1945'te başka bir Alman, Adolph Kolbe bilinçli bir şekilde inorganik maddelerden organik bileşikler elde etmeye başladı. Kendisini oluşturan bileşenlerden kolaylıkla elde edilebilen karbondisülfürü, sirke olarak da bilinen ve fermantasyon yoluyla doğal olarak elde edilebilen bir bileşik olan asetik aside dönüştürmeyi kendine görev edindi. Kolbe'nin başarısı biyolojik herhangi bir süreç için içine dahil olmadan tamamen inorganik bileşenlerden organik bir bileşik sentezlemenin ikinci örneğiydi. Ancak bu iki örnek bile geriye araştırılacak çok daha fazla organik molekül bıraktı.

Canlılığa neredeyse şiddetle karşı çıkan Parisli Marcellin Berthelot, 1850'lerde o zamanlarda bilinen her organik molekülü tam sentezi kullanarak üretme işine giriş-

ti. Berthelot tüm kimyasal süreçlerin, mekanik süreçlere dahil olan kuvvetler gibi araştırılıp ölçülebilen fiziksel kuvvetlerin etkilerine bağlı olduğuna ikna olmuştu. Her organik molekülün tam sentezi çalışmaları bu inançtan ortaya çıkan mantığı takip etti; onunkisi gerçekleşmeyecek bir hayaldi, ama haklı olduğunu gösterecek kadarını başardı.



Marcellin Berthelot
Bilim Fotoğrafları Arşivi

Berthelot adım adım bir yaklaşım tasarladı. Karbon ve hidrojen içeren basit bileşiklerden (örneğin metan gibi hidrokarbonlar) başlayıp, onları alkollere dönüştürdü (OH grubu içeren, özünde bir hidrojeni eksik su molekülüdür, dolayısıyla başka şeylere bağlanabilir), sonra da esterlere çevirdi (burada OH grubu daha karmaşık olan "alkoksi" grubuyla yer değiştirir), onları da organik asitlere dönüştürdü (ki bunlar daha da karmaşık grupları içerir), gibi. Berthelot oldukça başarılı oldu. Bahsettiğim adım adım yaklaşımla formik asit (karıncaların ısırırken kullandığı kimyasal), bir hidrojen atmosferindeki karbon elektrotlar arasında elektrik arkı yoluyla (adını kendi koyduğu) asetileni ve asetileni cam bir tüpte ısıtarak benzen elde edebildi.

Benzen önemli bir adımdı. Benzenin her bir molekülü altı karbon atomunun bir halkaya dizilmesi üzerine kuruludur. Benzen, canlı organizmaların kalıntıları olan ham petrolde bulunur ve pek çok farklı bileşiğin önemli parçası bu halka moleküller yaşamın kimyası için özellikle önemlidir. Bu çeşit halka moleküllerin tepkimelerini konu edinen kimya dalı bugün aromatik olarak bilinmektedir.

Berthelot'nun sıradışı tam sentez çalışması tek bir kişinin tamamlaması için fazla iddialıydı ama o bugün bilimin dayanaklarından olan bir şeyi ortaya çıkardı. Canlılarda bulunan dört element olan karbon, hidrojen, oksijen ve azottan organik maddeler üretmenin olanaklı olduğunu gösterdi. Bunlar öyle önemli ki, sıklıkla (her zaman!) organik bir malzemede bir arada bulunurlar ve topluca CHON* olarak adlandırılırlar. Berthelot'nun organik kimyasalların sentezlenmesi üzerine çalışmaları *Chimie organique fondée sur la synthèse* [Sentezleme Te-

* İngilizcede Karbon (Carbon), Hidrojen (Hydrogen), Oksijen (Oxygen) ve Azot (Nitrogen) elementlerinin baş harfleriyle oluşturulmuş kısaltma -çn.

melli Organik Kimya] 1860 yılında yayımlandı. Bu canlıcılığa son darbeyi vurmalıydı. Ancak kendimiz de dahil canlı şeylerin mekanik süreçlerdeki kuvvetler gibi fiziksel kuvvetlerin etkisiyle çalışan karbon bileşenlerinin toplamı olması düşüncesini kabul etmesi öylesine zordu ve “sağduyuya” öylesine aykırıydı ki, on dokuzuncu yüzyılın sonunda bile yaşamın kimyasıyla ilgili özel bir şey olduğu ve canlılık süreçlerine bir “yaşam gücünün” dahil olduğu düşüncesi hâlâ bir tatışma konusuydu. Louis Pasteur gibi saygıdeğer bir bilim insanı bile onu savundu. Bu fikrin çürütülmesi 1897’de Alman Eduard Buchner’in çalışmasıyla geldi.

Canlıcılara güç veren bilmecelerden biri fermantasyondu [mayalanma]. Fermantasyon şeker gibi yiyecekleri, alkol ve karbondioksit gibi daha basit bileşiklere çevirip, canlı hücrelere güç veren enerjiyi salar. Peki canlı hücreler her zaman sürece dahil midir? Buchner bir soruya yanıt vermek için canlı bir organizma olan mayanın sürece dahil olduğu alkol üretimini ele aldı. Maya bu süreç için vazgeçilmezdir, ama Buchner bunun maya hücreleri canlı olduğu için mi yoksa maya hücreleri bir çeşit kimyasal (bir katalizör) içerip, inorganik tepkimeler yoluyla şekerin alkol ve karbondioksite dönüşümünü teşvik ettiği için mi olduğunu test etmek istedi.

Buchner canlı bir maya hücresiyle işe başladı, sonra onları çeşitli işlemler uygulayarak öldürüp kendilerini oluşturan kimyasal bileşenlerine ayırdı. Kuru maya hücrelerini kuvars kumu ve yumuşak, ufalanan kaya ile karıştırıp, bir harçla havanda öğüttü. Maya hücreleri patlayıp içindekileri saldıgında karışım rutubetlendi. Rutubet karışımını daha sonra sıkarak, deneylerde kullanılan “sıkma maya suyunu” elde etti.

Şeker çözeltisi taze sıkılmış maya suyuna eklendiğinde, en sonunda sıvıyı köpükle kaplayan gaz kabarcıkları ortaya çıktı. Kimyasal deneyler, canlı mayayla yapılan fermentasyonla aynı oranda karbondioksit ve alkol üretildiğini gösterdi. Ancak özütte hiç canlı maya hücresi yoktu.

Bu çalışmanın devamında, Buchner anahtar maddenin enzim olduğunu gördü ve ona zimas [zymase] adını verdi. Zimas maya hücrelerinin içinde üretilir, dolayısıyla bu durumda yaşam fermentasyon sürecine dahil olur, ancak buradaki asıl nokta zimasın kendisinin cansız bir kimyasal madde olması ve fermentasyonun maya canlı da olsa ölü de olsa gerçekleşmesidir. Enzimler pek çok biyolojik sürecin olmazsa olmaz aktörlerindendir, ancak onları kimyasal olarak sentezlemek artık biyoloji işin içine dahil olmadan da olanaklıydı. Buchner'in sonraları söylediği gibi:

Enzimler ve mikroorganizmalar arasındaki fark, ikincisinin, karmaşık ancak cansız kimyasal maddeler olarak kabul etmek zorunda olduğumuz birincisinin üreticisi olarak gösterilmesiyle açıkça ortaya konmuştur.

Zimas bugün gerçekten de biyoloji işin içine dahil olmadan sentezleme yapabileceğiniz bir enzimdir. Ancak tekrar edilmesi gereken önemli nokta şu ki, maya canlı da ölü de olsa kimyanın işine devam etmesidir. Buchner 1897'de anahtar bilimsel makalesi olan *Alkoholische Gährung ohne Hefezellen'i* (Maya hücresiz alkol fermentasyonu), *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* dergisine gönderdi.

Buchner 1907'de "biyokimya konusundaki çalışmaları ve hücresiz fermentasyonu keşfi" nedeniyle Nobel Kimya Ödülüne layık görüldü. Canlılığın sonu için seçebileceğimiz en iyi tarih budur. Ancak geriye başka bir soru kaldı. Eğer yaşam gücü yoksa, yaşam nasıl başladı?

Bu bilmece hakkında Charles Darwin çok düşündü ve yaşamın dünyadaki “küçük sıcak bir gölette” doğru kimyasal bileşenlerin bir araya gelmesiyle ortaya çıktığını ortaya attı. Ancak böyle bir şeyin bugün gerçekleşmeyeceğini fark etti. Joseph Hooker’a 1871’de yazdığı gibi:

Sıklıkla canlı organizmaları oluşturan ilk koşulların bugün de her zaman olduğu gibi var olduğu söyleniyor. Ancak eğer (hem de nasıl bir eğer) bir protein bileşiğinin kimyasal olarak oluştuğu ve karmaşık değişiklikler geçirdiği, içinde amonyak ve fosforik tuzlar, ışık, ısı gibi şeyler olan sıcak bir göletimiz olsaydı bile, böyle bir madde bir anda silip süpürülür ya da soğurur; canlı şeyler ortaya çıkmadan önce böyle bir şey olmazdı.

Darwin bu sözcükleri yazdıktan yarım yüzyıl sonra, 1894’te Rus bir biyokimyacı olan Alexander Oparin dünyaya geldi, Rus Devriminin olduğu 1917’de Moskova Devlet Üniversitesinden mezun oldu ve bu çeşit iddiaları bilimsel bir temele oturttu. Aslında *The Origin of Life* [Yaşamın Kökeni] ismiyle kitap hâlinde 1924’te yayımladığı fikirlerini ilk olarak 1922’deki Rus Botanik Derneğinin bir toplantısında dile getirdi. Düşüncesini etkileyen şey, Jüpiter’in ve güneş sisteminin diğer büyük gezegenlerinin atmosferlerinde yakın zamanda yüksek oranda bulunduğu keşfedilen (bu da spektroskopi sayesindeydi, bilimin dayanaklarının hiçbiri tek başına ayakta kalamaz!), Darwin’in (diğerleriyle birlikte) yaşamın ham maddesi olarak gördüğü, metan gibi gazlardı. Bugün dünyanın atmosferi oldukça tepkin [reaktif] olan oksijence zengindir. Oksijen yaşam yoluyla üretilir, ancak sürekli olarak yenilenmezse, orman yangınları, kayaların bozunması ve diğer süreçlerle kullanılıp bitirilir. Oparin, yaşamın sıcak bir gölette başlayabilmesi için, dünyanın erken dönemle-

rindeki atmosferinin büyük gezegenlerinki gibi olması gerektiğini ortaya attı. Böylesine “indirgeyici” bir atmosfer metan, amonyak, su buharı ve hidrojen içermiş ve Berthelot’un deneylerindeki gibi organik molekülleri adım adım ortaya çıkarmış olabilirdi. Ancak yaşamın öncülleriyle tepkimeye girip onları yok edecek oksijeni olmazdı.

Oparin’in savları birkaç maddede şöyle özetlenebilir:

- Cansız maddeyle canlı şeyler arasında temel bir farklılık yoktur. Yaşamın karmaşıklığı maddenin evrimi sürecinde gelişmiştir.
- Erken dönem dünya, yaşamın evriminin ham maddeleri olan metan, amonyak, hidrojen ve su buharı içeren oldukça indirgeyici bir atmosfere sahipti.
- Moleküller daha büyük ve karmaşık hâle geldikçe, davranışları da moleküllerin şekline ve birbirlerine nasıl uyduklarına bağlı olarak daha karmaşık hâle geldi.
- Bu erken dönemde bile, yeni yapıların gelişimi yarışmaya bağımlıydı, karmaşık yapılar olarak varolma çabası daha basit moleküllerden ve Darwinci doğal seçilimden “güç aldı.”
- Canlı organizmalar, dışarıdan enerji ve ham maddeyi alan açık sistemlerdir, dolayısıyla termodinamiğin ikinci yasasına kısıtlanmazlar.

Sıklıkla gözardı edilen son madde önemli. Termodinamiğin ikinci yasası, şeylerin yıprandığını ve dünyadaki (entropi denilen bir nicelikle ölçülen) düzensizliğin sürekli arttığını söyleyen ünlü bir doğa yasasıdır. Bunun sürekli olarak verilen bir örneği masadan düşüp paramparça olan bir su bardağıdır. Kırılmış bardak ilk hâlimden daha düzensizdir, yani entropi artmaktadır. Kırılmış bardağın parçalarının birdenbire bir araya gelip yeniden bardağa dönüştüğünü görmezsiniz, bu negatif entropidir. Ancak

yaşam bu yasadan bir şekilde etkilenmiyor gibidir. Yaşam bir şekilde kaostan düzen yaratıp entropinin akışını tersine çevirir. Ancak bunu yalnızca yerel bazda yapabilir. Su bardağını bir araya getirmek için nasıl enerji gerekirse, yaşamı ortaya çıkarıp onu sürdürmek için de enerji eklemek gerekir. Bizim gibi hayvanlar için bu yiyeceklerden gelir, aslında bitkilerden, çünkü et yesek bile, et de ot yiyen hayvanlardan gelir. Bitkiler için enerji temelde güneşten gelir. Canlı dünya, güneşten gelen enerjiden beslenen, ters entropi akışının olduğu yalıtılmış bir sistem gibidir. Bu da güneşi parlamaya devam ettiren süreçlerde artan muazzam miktardaki entropiyle fazlasıyla telafi edilir.

Oparin'in özel olarak ortaya koyduğu fikir, güneş ışığından ya da zihninde canlandırdığı gibi indirgeyici bir atmosferde bulunabilecek yıldırım gibi başka bir dış kaynaktan gelen enerji yardımıyla, entropinin "geriye sarılarak" karbon içeren karmaşık organik molekülleri meydana getirebileceğidir. Böyle şeyler, hücreler hâlinde gelişebilecek, katmanlar, küçük damlacıklar ve küçük içi boş baloncuklar hâlinde bile büyüyebilirler. Oparin'in çalışmaları o zamanlarda kendi anavatanı dışında çok fark edilmedi, ancak tam da zamanı gelmiş gibi, İngiliz araştırmacı J.B.S. Haldane özünde aynı fikri 1929 yılında Oparin'den bağımsız olarak ortaya attı. Tüm o şeylerin gerçekleştiği varsayımsal "sıcak gölete," ilksel çorba gibi akılda kalıcı bir ismi koyan da Haldane'in ta kendisidir (daha önce de gördüğümüz gibi, kendisi akılda kalıcı bilimsel espriler konusunda yetenekliydi). Sonraki adım, ilksel çorbadaki koşulları laboratuvarı yaratmak ya da yeniden yaratmaktır. Ancak o deneyler belirli bir noktaya kadar başarılı olsa da, yeni sorular ortaya çıkardılar ve daha sonra kendisi bilimin dayanaklarından biri olacak başka bir sürpriz onları geride bıraktı.

4.

Dayanak

SAMANYOLU YAŞAMIN HAM MADDELERİYLE DOPDOLU BİR DEPODUR

Oparin, yaşamın dünyanın erken dönemlerindeki indirgeyici bir atmosferin etkisinde başlamış olabileceğini ortaya attıktan yirmi yıl sonra, Chicago Üniversitesinde bir kimya profesörü olan Harold Urey öğrencilerine "Oparin-Haldane hipotezi" olarak adlandırdığı bir konu hakkında ders verdi. O öğrencilerden biri olan Stanley Miller konuyla yeterince ilgilenmiş olacak ki, doktora araştırmasını bu fikri test edebileceği bir deneyi, yani içinde Oparin ve Haldane'in ortaya attığı bir madde karışımı olan "sıcak göletin" cam bir tank içindeki minyatürünü gerçekleştirmek üzerine yapıp yapamayacağını sordu.

Urey çalışmaya danışmanlık etmeyi kabul etti ve deneyin sonuçları Miller-Urey deneyi olarak ün kazandı.

Deneyin merkezinde, içinde metan, amonyak, su buharı ve hidrojen karışımı olan 5 litrelik cam bir kap vardı. Su buharı, ana kaba tüplerle bağlı, içinde kaynayan su olan yarım litrelik ikinci bir cam kaptan sürekli olarak sağlanmaktaydı; su buharı ana kaptan geçip, daha sonra büyük kaptaki sıcak gazlarla birlikte soğutma haznesine

devam ederek yoğunlaştırulup çevrimi tamamlamak üzere U şeklindeki borudan tekrar kaynayan kaba gitmekteydi. U şekli, içinde sıvının yakalanıp bir çeşmeden boşaltılabileceği bir kapan görevi görmekteydi. Yıldırım etkisi yoluyla enerji sağlamak içinse, ana kaptaki karışıma elektrik kıvılcımları çakılmaktaydı.



Stanley Miller
Bilim Fotoğrafları Arşivi

Deneyin ilk biçiminde, sıvı U borusundan akıtılarak haftada bir analiz edildi. Ancak deneyin doktora derecesini fazlasıyla hak eden üst düzey başarıyı elde etmesi tek bir haftadan fazla bile sürmedi. Bir günden daha kısa bir süre içinde, U borusundaki sıvı pembeye döndü. İlk haftada oluşan sıvı akıtılıp analiz edildiğinde, Miller 5 litrelik kapta kapalı duran karbonun yüzde 10'undan fazlasının organik bileşiklere dönüştürüldüğünü gözlemledi. En önemli olanları aminoasitlerdi, yani yaşamın yapı taşları olan proteinlerin bileşenleri olan karmaşık moleküller. Miller-Urey deneyi onların 13'ünü bir hafta içinde ortaya çıkardı. Deneyin sonuçları *Science* dergisinde 1953 yılında yayımlandı. Sonuçlar, yaşamın kendisini ortaya çıkarmaya bir adım kaldığı şeklinde algılandı ve Miller bütün bilimsel kariyerini (2007'deki ölümüne dek) bu deneyi gittikçe daha uzun hâle getirip geliştirerek o son kalan adımı atma umuduyla geçirdi. Yerbilimciler dünyanın muhtemelen indirgeyici bir atmosferle başlamadığını söylediğinde bile kararlıydı. Elindeki en iyi kanıt, gezegenimizin erken dönem atmosferinin bugün volkanlardan fışkıran, aralarında karbondioksit, azot ve kükürt dioksidin çoğunlukta olduğu aynı gaz karışımından oluşmasıydı. Miller yalnızca deney setini bu karışımları içerecek şekilde değiştirip deneyleri yineleyerek yine basit ham maddelerden çok çeşitli karmaşık organik moleküller elde etti. Hiçbir şey değilse bile, bir enerji girişi olduğunda, karmaşık moleküller olan aminoasitlerin basit bileşiklerden ortaya çıkabilmesinin yalnızca kolay değil, aynı zamanda kaçınılmaz olduğunu da gösterdi. Ancak ironiye bakın ki, böyle moleküllerin dünyaya nasıl geldiğini açıklamasına gerek bile yoktu. Yirminci yüzyılın sonu ve yirmi birinci yüzyılın başında yapılp, dünyada yaşamın nasıl oluştuğuna ilişkin algımızı değiştiren göz-

lemlerdeki büyük sürpriz, erken dönem dünyadaki sıcak göletlerin kimyasının aminoasit gibi bileşiklerle *başlamış* olabileceğiydi.

On dokuzuncu yüzyıl kimyacılarının öncü çalışmalarının çok daha ötesine geçtik. Eğer onların mirasçıları bugün yaşamın temel molekülleri olan proteini ve meşhur nükleik asitler DNA ve RNA'yı üretmek isterlerse, indirgeyici atmosferde bulunan gaz karışımlarıyla ya da volkanlardan tüten gaz karışımlarıyla işe başlamakla bile uğraşmaz.¹ Formaldehit ya da metanol gibi çok daha karmaşık ve ilginç ham maddeler kimyasal ürün sağlayıcılarından bulunabilir ve fena olmayan bir biyokimya laboratuvarının raflarında muhtemelen bulunur. Elbette, hazır olarak bulunabilmesinin nedeni birilerinin onları sanayi ölçeğinde tam sentez yoluyla üretme zahmetine girmiş olmasıdır. Sürpriz şu ki, evren de aynı şeyi muazzam ölçekte ve çok fazla sayıda yaşam öncülü için yapmaktadır.

Hikâye 1930'larda, karbon ve hidrojen (CH) ile karbon ve azotun (CN) en basit moleküler bileşiklerinin spektroskopisi yoluyla uzaydaki gaz ve bulutlarında (nebulalar) bulunduğu başladı. Ama hikâye ancak 1960'larda, yeni teknolojiler bu şekilde araştırılabilecek dalga boylarının çeşitliliğini artırdığında ilginç hâle geldi. İlk ikisi gibi uzayda tespit edilebilen küçük moleküller spektrumun görünür tarafında çizgiler oluşturur. Ancak daha büyük moleküller, spektrumdaki eşdeğer çizgileri daha geniş dalga boylarında, spektrumun kızılötesi ya da radyo tarafında ortaya çıkarır. Bu yüzden onların uygun şekilde tespit edilebilmesi için, uygun teknolojilerin kızılötesi ve

¹ İşe bakın ki, ben bu bölümü yazdıktan sonra, Almanya'nın Ludwig Maximilian Münih Üniversitesinden araştırmacılar, karmaşık moleküllerin su ve azottan meydana geldiği bir yeni bir deneyin sonuçlarını 2019 sonbaharında yayımladı. Bazıları gerçekten zoru seviyor.

radio teleskoplar şeklinde gelişmesini beklemek gerekti. Bu gerçekleştiğinde bile, kimse uzayda karmaşık molekülleri bulmayı beklemediğinden, gökbilimcilerin ne gördüklerinin farkına varmaları zaman aldı. Sonra bir anda bir aydınlanma oldu ve bilim insanları için, en çok atomun birbirine bağlı olduğu daha büyük ve daha karmaşık molekülleri bulma işi bir yarışma hâline gelip aktif olarak uzayda molekül aramaya başladılar.

Uzayda bulunan üçüncü molekül 1963'te tespit edilen hidroksit kökü denilen OH 'di. Ancak insanları oturup düşünmeye başlatan 1968'de yapılan bir sonraki keşifti. Dört atomlu NH_3 yani amonyak molekülüydü bu. İşte bu ikiden fazla atomun yıldızlararası uzay koşullarında bir araya gelerek moleküller meydana getirebileceğinin ilk işaretiydi. Su (H_2O), tespit edilebilen ilk üç atomlu moleküllerden biriydi ama uzayda bulunan ilk organik molekül, formaldehitin (H_2CO) keşfi çok daha fazla heyecan uyandırdı. Bugünlerde üre² ve etil alkolü de içeren birkaç yüz yıldızlararası molekül tespit edilmiş durumda. Etil alkolün keşfi özellikle ilginçti; yalnızca popüler gazetelerdeki manşet yazarlarının bulutlardan "uzaydaki vodka" olarak bahsetmelerine fırsat tanımakla kalmadı, aynı zamanda her bir molekül, yani $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, dokuz atomdan oluşmaktaydı. On ya da daha fazla atomdan oluşan birkaç molekül kesinlikle tespit edildi, ancak onlardan özellikle ilgi çekici olanlarından biri $\text{H}_2\text{NH}_2\text{CCOOH}$, yani glisindir. Glisin proteinlerin yapı taşlarından biri olan bir aminoasittir. Miller'ın laboratuvarında 5 litrelik şişede yapabildiklerini evren uzaydaki uçsuz bucaksız gaz bulutlarında yapar.

² 2014'te tespit edildi ve şüpheye yer bırakmaksızın insan ya da köpek böbreği kullanmadan yıldızlararası bulutlarda üretildi.

Başka önemli bir keşifse 2014'te tespit edilen ve 12 atomlu bir molekül olan $(\text{CH}_3)_2\text{CHCN}$, yani izopropil siyaniti. Bu önemli, çünkü $(\text{CH}_3)_2$ gösterimi iki ayrı CH_3 molekülünün aynı karbon atomundan dallandığı anlamına gelir; bu ise dünyadaki yaşamda bulunan ve bazı aminoasitlerin de dahil olduğu pek çok karmaşık molekülün yapısına benzerdir. İki yıl sonra 2016'da, gökbilimciler Sagittarius B2 adlı bir gaz ve toz bulutunda on atomlu propilen oksit, $\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$, molekülünü buldular. Bu molekülün özellikle ilginç olan bir niteliği, özünde elli olma hâli denebilecek, kiralite denilen bir özelliktir. Doğada hem sol hem de sağ elli çeşitleri bulunur ancak 2016'da yalnızca bir çeşidi bulundu. Sarmallar kiraliteye sahiptir, sağa ya da sola bükülebilirler. Dünyadaki yaşam eşit biçimde iki kiraliteye ayrılmıştır. Aminoasitlerin neredeyse tamamen sol elliye, RNA ve DNA gibi sarmallar sağ ellidir. Sagittarius B2 gibi bulutlarda görülen propilen oksidin kiralitesi yıldızlardan gelen ışık tarafından³ belirlenip, belirli bir gaz ve toz bulutu içinde yalnızca bir çeşit elliliğin moleküllere işlenmesine izin verir, ancak gözlemler bu durumda hangi elliliğin baskın olduğunu karar verecek kadar detaylı değil. Yıldızlar ve gezegenler bu çeşit bulutlardan oluştuklarından, bunun anlamı elliliğin yaşamın bileşenlerinde bir gezegenin yüzeyine ulaşmadan önce bile işlenmiş olduğudur. Aynı buluttan meydana gelen tüm gezegen sistemleri aynı elliliğe sahip olmalıdır. Ancak bu moleküller uzayda tam olarak nasıl oluşur ve bir gezegenin yüzeyine nasıl ulaşır?

Yıldızlararası bulutlardaki "tozdan" bahsetmem zihninizde tam olarak doğru resmi oluşturamamış olabilir. Bu

³ Daha teknik düşünenler için, çembersel polarılmış ışık [circularly polarized light].

bulutlardan gelen, geniş bir aralıktaki dalga boylarında bulunan elektromanyetik radyasyon üzerine araştırmalar, tozun sigara dumanındaki gibi minik parçacıklardan meydana geldiğini gösterir. Parçacıklarsa karbon ve silikon oksitler gibi şeylerden meydana gelmiş olup, donmuş amonyak, metan ve bildiğimiz sudan oluşan buzla kaplıdır. Eğer iki atom, iki küçük molekül ya da bir küçük ve bir büyük molekül uzayda çarpışırsa muhtemelen çarpışmanın etkisiyle parçalanıp saçılacaklardır. Ancak toz taneceklerinin buzlu yüzeyleri atomların ve moleküllerin birbirine yapışmalarına olanak tanır. Basit maddeler buza yapıştığında, belki de taneciklerin kendileri çarpışmalara karıştığında ya da yıldız etkinlikleri yoluyla koparılmış, hızlı hareket eden kozmik ışınların çarpması sonucunda birleşerek daha sonra buzdan ayrılabilirler daha karmaşık molekülleri oluşturma fırsatına sahip olur. Bu fikirler, uzayda varolanlar gibi buzul parçacıkların uzayın soğukluğuna uygun olarak -263 °C'ye soğutulup, yıldızlar tarafından sunulan enerjiyi taklit etmek için morötesi ışınlarla bulandığı laboratuvarlarda test edilmektedir. Taneciklerin yüzeylerinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler tam da betimlediğim gibi yaşanır.

Bu pek de çabuk bir süreç değildir. Glisin ya da izopropil siyanit kadar karmaşık molekülleri meydana getirmesi uzun zaman alır. Ancak fazlasıyla zaman var. Evren 13,8 milyar yaşında ve bizim Samanyolu galaksimiz ondan yalnızca biraz daha genç. Güneş sistemi ve dünyanın kendisi bile yaklaşık 4,5 milyar yaşında. Fosil kalıntılarının gösterdiğine göre dünyada tek hücreli yaşam formları en az 3,8 milyar yıl önce vardı ancak karbondioksit, su ve sülfür gibi şeylerin böyle yaşam formlarını bu kadar kısa bir zamanda sıfırdan nasıl meydana getirdiği bir bilmedir. Ancak böyle ham maddelerin, metan ve amonyakla

birlikte, glisin ve izopropil siyanit gibi molekülleri, dünyanın yaşının iki katından fazla olan on ya da daha fazla milyar yıl içinde nasıl üretebildiği daha az kafa karıştırıcıdır.

Uzayda ne kadar organik molekül vardır? Samanyolu galaksimiz güneş gibi birkaç yüz milyon yıldız içerir ve çeşitli gökbilimsel gözlemlerin gösterdiğine göre yıldızların arasında bulunan gaz ve tozun toplam kütlesi, tüm yıldızların toplam kütlesinin yüzde onu kadardır. Bu da güneşin kütlesinin en az on milyon katı demektir. Bizse o gaz ve toz bulutu yeni yıldızlar ve gezegenler meydana getirmek üzere kütleçekimiyle birbirine çekildiğinde neler olduğunu görebiliriz.

Çok büyük, tozdan oluşan bir madde diskinin genç bir yıldızın etrafını sardığı IRS 46 adlı bir sistem var. Bu sistem, dünyanın ve diğer gezegenlerin erken dönem güneşin etrafında olduğu düşünülen madde bulutuna benzerdir ve bize yalnızca 375 ışık yılı gibi bir uzaklıkta, görece yakın sayılabilir, dolayısıyla detaylıca incelenebilir. Bu disk, yüksek yoğunlukta hidrojen siyanür ve asetilen içerir. Bu iki bileşik suyu da onlara ekleyerek uzay ortamına benzetilen koşullarda laboratuvarında kullanıldığında, aminoasit üretecek şekilde tepkimeye girer. NASA'da çalışan bilim insanları, 2019 yılında Cassini uzay aracından elde edilen verilerin analizinin, Satürn'ün aylarından biri olan Enceladus'un buzla kaplı okyanuslarından dışarıya su püskürten bacalarında benzer yaşam yapı taşlarının varlığını gösterdiğini duyurdu. Onlar enerjilerini buzun altında, derinlerde bulunan hidrotermal kaynaklardan alırlar. Güçlü hidrotermal bacalar Enceladus'un çekirdeğinden malzemeyi dışarı atar; bu ise, büyük kaynaklar [gayzerler] yoluyla buzların arasından su buharı ve buz tanecikleri olarak uzaya salınmadan

önce, Enceladus'un buzla kaplı dev okyanuslarından gelen suyla karışır. Moleküller, Cassini'deki dedektörlerin, genç yıldızlar etrafındaki toz disklerinde görülenlere benzer azot ve oksijen içeren bileşenler olduğunu gösterdiği, buz taneciklerine yoğunlaşır. Stanley Miller'ın uzun kariyeri boyunca gösterdiği gibi, bir enerji girdisi olduğu sürece, aminoasitler kadar karmaşık moleküllerin basit bileşiklerden meydana gelmesi yalnızca kolay değil aynı zamanda kaçınılmazdır da.

Proteinlerin yapı taşları olarak aminoasitler yaşamın hikâyesinin yarısıdır. Diğer yarısı nükleik asitler olan DNA ve RNA ile ilgilidir. Bunlar uzayda henüz tespit edilmedi. Ama tekrar edelim, onların yapı taşları edildi.

İki nükleik asidin de ana bileşeni riboz denilen bir şekerdir. Riboz molekülleri, beş atomlu bir halka etrafında, halkanın dışındaki başka şeylere bağlanabilen dört karbon atomu ve bir oksijen atomundan oluşur. Ribozdaki üç karbon atomunun her biri, halkanın dışında bir hidrojen atomu ve bir de OH grubuna bağlıdır. Ancak deoksiribozdaysa, üç karbon atomundan biri yalnızca iki hidrojen atomuna bağlıdır, bu yüzden molekülün toplamda bir oksijen atomu eksiktir. Deoksiriboz bir oksijeni eksik ribozdur, ismi de oradan gelir.⁴

Sagittarius B2, deposundaki kimyasal bileşenler içinde nükleik asitlerin yapı taşlarını da bulundurulur. Glikoaldehit ($\text{HOCH}_2\text{-CHO}$) şekerinin molekülleri bu bulutta bulunan bileşikler arasındadır ve onlar başka karbon atomlarıyla isteklice tepkimeye girerek riboz oluşturmalarıyla bilinir. DNA ve RNA'nın yapı taşlarını uzayda bulduğumuzu söylemek belki biraz abartılı olur, ancak

⁴ DNA ve RNA'nın yapısına ilişkin daha fazla detaya 6. Dayanak'ta gireceğim.

onların yapı taşlarının yapı taşlarını kesinlikle bulduk; 2019'da duyurulan önemli bir gelişmede, Yasuhiro Oba tarafından liderlik edilen bir grup, yıldızlararası bulutlarda varolan koşulları benzetmek için tasarlanan bir laboratuvar deneyinde DNA'nın bileşenlerini ürettiklerini duyurdu. Gaia kuramını başlatan Jim Lovelock'un dediği gibi: "Öyle görünüyor ki galaksimiz yaşam için gerekli olan yedek parçaların bulunduğu bir depoydu." Ancak yaşam için gerekli olan yedek parçalar uzayda, özellikle de IRS 46 gibi yıldızların etrafındaki toz halkalarında bolca bulunsa bile, bu yapı taşları da nasıl oldu dünya gençken gezegenimize düştü?

Uzayda toz taneciklerinin üzerini kaplayan buzun, organik moleküllerin büyümesine olanak sağlayan bir yer sunması dünya gibi gezegenlerin gelişebilmeleri için de anahtar rolündedir. Kütleçekim maddeleri çekerek bir araya getirirken dev gaz ve toz bulutlarının çökmesi yoluyla bir yıldız meydana geldiğinde, IRS 46'nın etrafındaki gibi geriye halka hâlinde biraz toz bırakır. Böyle bir çökme asla tamamen simetrik değildir, çünkü her şey ya bir yönde ya da öteki yönde döner, bu yüzden de toz ebeveyn yıldızın etrafında bir halkaya yerleşir. Yalnızca toz olsaydı muhtemelen öylece kalırdı. Ancak buzla kaplı olduklarından, tanecikler yapışkandır ve çarpıştıklarında yapışma eğilimi gösterirler, giderek daha büyük yumrular hâline gelip yeterince büyüyerek kendi kütleçekimleriyle başka tanecikleri kendilerine çekene kadar. Daha sonra yumrular bir araya gelerek kaya parçaları meydana getirir, onlar çarpışıp bileşirler, daha da büyük parçalar hâline gelerek gezegen olmak üzere büyürler. Bu sürecin son aşamaları fena hâlde şiddetlidir; belki Mars kadar büyük gezegenimsiler birbirlerine çarparak erimiş kaya topları hâlinde olgun gezegenleri meydana getirirler. O zamana

kadar gezegeni, diyelim ki dünyayı, oluşturan başlangıç taneciklerindeki organik maddeni tamamı ısıyla yok edilmiş olur. Ancak dünya oluştuktan sonra bile, etrafta hâlâ çoğu buzun şu ya da bu çeşidini yüksek oranda içinde barındıran, büyük kayamsı madde parçaları ve tozumsu maddeler genç güneşin etrafında bulunur.

Buzul maddeler kuyruklu yıldızlara dönüştüler ve hem kuyruklu yıldızlar hem de ya çok az ya da hiç buz içermeyen diğer kayamsı parçalar, Jüpiter'in kütleçekimiyle eliptik yörüngelere savrularak, temiz ve atmosfersiz olarak katılaştı ve soğuyan genç dünyanın bulunduğu güneş sisteminin içlerine savruldu. Sonuçsa dünyanın yüzeyinde muazzam miktarda çarpmaydı, öyle fazla sayıda ki gökbilimciler ondan Geç Dönem Ağır Bombardıman* [Late Heavy Bombardment] ya da GDAB [LHB] olarak bahseder. Başka şeylerle birlikte, GDAB o sıralarda çoktan dünyanın etrafında yörüngede olan ayın girintili çıkıntılı yüzeyinden sorumludur. Aydaki krater örüntüleri ve ay taşlarının tarihlenmesi, birkaç yüz milyon yıl boyunca güneş sisteminin iç kısmındaki gezegenlerin oluşumundan geri kalan bütün malzemenin neredeyse tamamı kullanılına kadar süren GDAB'ye ilişkin bilgileri açığa çıkarır. Sona ermesi dört milyar yıldan biraz daha öncedir. Sonraki 200 milyon yıldan daha kısa bir süre içinde protein ve nükleik asit temelli yaşam, GDAB sonrasında devam eden daha sakin bir madde yağmuru sayesinde dünyada ortaya çıkmıştır.

Kuyruklu yıldızlar dünyaya hem su hem de yaşamı, en azından yaşamın öncüllerini getirdi. Bu olayların bilgisayar benzetimleri bize, bugün dünyadaki okyanuslardaki-

* Türkçe kaynaklarda ay tufanı olarak da bilinir. (İng.) Lunar cataclysm –çn.

nin on katı kadar suyun ve atmosferdekinin bin katı kadar gazın kuyruklu yıldız bombardımanlarında salındığını gösterir. Bu gezegeni soğutmaya yararken, su, karbon ve metan gibi uçucu maddeler uzaya atıldı. Ancak dünyanın yüzeyi, görsel olarak "çarpma sürmesi" denilebilecek çarpışmalarla çalkalanırken, maddenin birazı yeryüzeyinde hâlihazırda bulunan maddeyle karışarak, bugün genellikle dünyanın kabuğunda bulunan uçucu maddeler bakımından zengin kayaları meydana getirdi. Atmosfer ve okyanuslar var olduğu anda, dünya yaşam için hazır. Yaşamın içeriği de zaman kaybetmeden filizlendi.

Erken dönemlerdeki dünyaya şiddetle çarpan kuyruklu yıldızlar kadar güneş sisteminin içlerinden geçip güneşin ısıısıyla buharlaşan çok daha fazla cisim vardı. Bu süreç, bugün kuyruklu yıldızlara kendilerine has kuyruklarını veren şeydir, ancak dünya ve güneş sistemi gençken çok daha fazla, hem de çok daha etkileyici kuyrukları olan kuyruklu yıldızlar vardı. Dört milyar yıl sonra, güneş sisteminin içlerindeki kuyruklu yıldızların çoğu çoktan buharlaşıp yok oldular. Ama işte o yüzden buradayız. Bir kuyruklu yıldızın kuyruğu, kuyruklu yıldız buharlaştıkça buzul çekirdekten kaçan gaz ve toz akışıdır. O toz kuyruklu yıldızın yörüngesi etrafında bir iz bırakır ve bugün bile dünya sıklıkla böylesi bir kuyruklu yıldız toz akıntısından geçerken, yaklaşık kum tanesi boyutlarında ve atmosferde yanarak yok olan minik parçacıklardan meydana gelen meteor yağmurlarına neden olur. Ancak, daha açık yapılı kar tanesine benzeyen başka parçacıklar da vardır; onlar dünyanın atmosferinde kalıp yüzeye ulaşır. Onlar kuyruklu yıldızların kuyruklarında (spektroskopi yoluyla) görülen ve gezegen sistemlerinin kendisinden oluştuğu dev bulutları besleyen organik madde karışımının aynısını taşır. Bu maddenin örnekleri

yüksek irtifa uçakları ve stratosferik balonlarla toplanır. Toplanan miktarın gösterdiğine göre, bu süreç bugün bile karbon içeren çok atomlu 300 ton kadar organik maddeyi her yıl dünyanın yüzeyine iletir.

Darwin'in işaret ettiği gibi, bugün bu maddenin yaşama dönüşme şansı yok. En başta, onların çoğu atmosferde oksijenle tepkimeye girerek yok edilir, kalanıysa başka canlıların besin zincirine katılır. Ancak dünya henüz soğumuş ve okyanusla atmosferini yeni kazanmışken ortada ne oksijen ne de canlılar vardı. Öyleyse, kuyruklu yıldızdan gelen bu beklenmedik kaynaktan yaşamın ortaya çıkışını başlatmak için ne kadar bulunmaktaydı?

Gökbilimciler aydaki kraterlerden, kuyruklu yıldızların bugünkü yörüngelerinin analizinden ve güneş sistemin erken dönemlerinin bilgisayar benzetimleri gibi şeylerden kabaca bir fikir elde etmekte. Onların kestirimlerine göre, Geç Dönem Ağır Bombardımanın sonundan başlayarak 300.000 yıllık bir zaman aralığında dünyaya, bugün dünyada canlı olan her şey kadar organik madde düştü. GDAB'nin sonundan başlayarak dünyada yaşamın olduğunu kesin olarak bildiğimiz zaman olan 200 milyon kadar yıl içinde, düşen tüm madde korunabilip gezegenin yüzeyine eşit olarak yayılabilseydi eğer, yüzeyin her bir santimetre karesinde içinde 20 grama kadar organik madde ve olasılıkla aminoasit ve riboz da bulunan bir katman oluşturunurdu. Bu, dünyanın her bir 3,5 x 3,5 santimetre karelik yüzeyinde 250 gram tereyağının içeriğine eşdeğerdir. Yaşamın bu kadar hızlı başlamasına şaşmamalı; bir defa başladı mı da ilk bin yılda etrafta büyüyüp gelişeceği bolca şey vardı.

İşte bu bugün bilimin dayanaklarından biri. Erken dönem dünya Lovelock tarafından bahsedilen kozmik depodan gelen yaşamın yapı taşı maddeleriyle beslen-

mişti. Ancak Haldane'in sınıflamasında bugün belki (i) ve (ii) arasında bulunan daha spekülâtif bir fikir de var. Yıldızlararası bulutlarda aminoasitlerin ve (muhtemelen) ribozun var olduğuna ilişkin şüphe yok. Peki işler bir aşama daha ileri gidip de kuyruklu yıldızların içinde protein ve nükleik asit üretilebilir mi? Düşüncenin kendisini sandığınız kadar çılgınca değil, çünkü bir gaz ve toz bulutunun yıldızları ve gezegenleri oluşturmak üzere çökmesini tetikleyen şey çoğunlukla bir süpernovadır, yani bir yıldızın patlaması. Bu olay radyoaktif elementler ortaya çıkarır ve radyoaktif elementlerle karışmış bulutun içindeki donmuş madde, radyoaktif yarılanmayla orta çıkan ısı yoluyla merkezlerindeki suyu eritecek kadar ısınabilir. Darwin'in sıcak göletleri, bu buz parçaları içinde dünya oluşmadan önce bile var olmuş olabilir mi? Bunun (i) işe yaramaz bir saçmalık mı yoksa (ii) ilginç, ama güncel anlayışla uyuşmayan bir bakış açısı mı olduğuna kendiniz karar verebilirsiniz. Ancak eğer doğruysa, bu diğer gezegenlerdeki yaşamın, en azından bize en yakın kozmik bölgedekilerin, bizi oluşturan nükleik asit ve proteinlerle aynı temele dayanacağı anlamına gelir.

Ancak o kadar ileri gitmeden önce bile, dünya benzeri herhangi bir gezegenin yıldızlararası uzayda var olduğunu bildiğimiz benzer yaşam yapı taşlarıyla beslendiğine emin olabiliriz. O koşullarda yaşamın başlayamayacağını düşünmek zor; cansızlıktan canlılığa geçişteki adımın nasıl atıldığını tam olarak bilmiyoruz, ancak dünyada bu kadar çabuk gerçekleşmesi, zor olmadığına işaret eder. Giordano Bruno'nun haklı olduğuna ilişkin güçlü bir kanıttır bu; her biri bizi oluşturan maddeden meydana gelmiş yaşam formlarınca dolu, bizimki gibi bir gezegen bolluğu olabilir.

Bu başka bir soruyu da beraberinde getirir. Nasıl oldu da organik molekülleri oluşturan atomlar, yani karbon, azot, oksijen ve hidrojen gibi şeyler, uzaydaki gaz ve toz bulutunun içine girdi? İşte o süpernova patlamaları cevabın bir kısmını sunabilir. Ancak onlar kendi rollerini oynamadan önce, yıldızların içinde karmaşık çekirdek [nükleer] tepkimeleri gerçekleşmek zorundadır ve o tepkimeler bilimin başka bir dayanağına bağlıdır, hem de öyle şaşkınlığa uğratan bir rastlantıdır ki bu, inanması neredeyse olanaksızdır.

5.

Dayanak

KARBON RASTLANTISI

Spektroskopi ve yıldızlarının içindeki fizikle ilgili kavrayışımız, bize güneş gibi bir yıldızın neredeyse tamamen hidrojen ve helyumla birlikte çok az miktarda ağır elementten oluştuğunu söyler (2. Dayanak). Bir yıldızın kalbinde bu elementler bugün dünyada olduğu gibi gaz hâlinde bulunmazlar. Elektronlar, bildiğimiz atomik maddeyi meydana getiren boşluklardan (1. Dayanak) yoksun, muazzam yoğunlukla sıkıştırılmış çekirdeklerinden koparılmıştır. Uzaydaki gaz bulutlarının gözlemleri onların benzer bileşime sahip olduğunu söyler, ancak orada elementler alışkın olduğumuz atomik yapıdayken yaşam için çok önemli olduğunu düşündüğümüz toz, Samanyolu galaksimiz gibi bir galaksinin içindeki madde miktarına göre yok denecek kadar azdır. Kara madde ve kara enerji denilen başka şeyler evrenin toplam kütesine katkı yapıyor olabilir, ancak onlar bu kitabın kapsamının dışında. Burada önemli olan bizi meydana getiren maddedir; fizikçilerce baryonik madde denilen, okulda öğrendiğimiz kimyasal elementler. Peki onlar nereden gelir?

Bildiğimiz evrenin 13,8 milyar yıl önce Büyük Patlama olarak bilinen çok sıcak ve yoğun bir hâlden ortaya

çıktığına ilişkin çok sayıda kanıt var. Kanıtların bir kısmı bugün genişleyen evrenin gözlemlenmesinden gelirken, diğer kısımları (Kozmik Mikrodalga Ardalanı denilen) öncül alev topundan geriye kalan radyo sinyallerinin incelenmesinden ve fizik yasalarına ilişkin kavrayışımızdan gelir. Temel fizik bize, Einstein'ın meşhur denklemine uygun olarak, Büyük Patlamada üretilen ilk baryonik maddenin, en basit ve hafif element olan hidrojen olacağını söyler. Aynı denklemler aynı zamanda bize, evren genişleyip soğurken, o hidrojenin yüzde 25'inin evrenin hâlâ sıcak olduğu erken dönemde çekirdek tepkimelerinde helyuma dönüştürüleceğini de söyler. Ancak, içinde evrenin meydana geldiği alev topu üç dakika sonra hiçbir çekirdek tepkimesinin gerçekleşmesine izin vermeyecek şekilde, geriye ilk yıldızların ham maddesi olan, genişleyen evrende birbirinden ayrılan hidrojen ve helyum karışımı dev bulutlar bırakarak soğudu. Diğer elementlerin daha sonra yıldızların içinde üretildiğini fark etmek için bilgin olmaya gerek yok. Ama nasıl?

Konuştüğümüz şeyleri bağlamına yerleştirip, ne kadar çok (ya da az!) şeyden bahsettiğimizi anlamak için, diğer yıldızların etrafındaki gezegen sistemlerinde bulmayı bekleyebileceklerimizin bir örneği olarak, güneş sisteminin bileşimine bakabiliriz. Daha önce de gördüğümüz gibi, güneş kütle olarak yüzde 71 oranında hidrojen, yüzde 27 oranında helyumdan ve yüzde ikiden daha az da geri kalan her şeyden meydana gelir. Atom sayıları açınsındansa, hidrojen güneşin yüzde 91,2'sini meydana getirirken, helyum yüzde 8,7'sini, geri kalan her şeyse yalnızca yüzde 0,1'ini oluşturur. Güneş henüz gençken, hafif şeylerin çoğu, bu genç yıldızın sıcağının etkisiyle içinde gezegenlerin olduğu toz diskinden kaçtı. Gezegenler ve biz, geriye kalan ne varsa ondan

meydana geldik. Güneş sisteminin tamamını ele alırsak, hafif şeylerin çoğu yok olduğu için, kütle olarak hidrojen yüzde 70,13 oranında bulunurken, helyum yüzde 27,87 ve kütle olarak en yaygın bulunan üçüncü element olan oksijense yüzde 0,91 oranında bulunur. Hidrojen yaşamın kimyasında önemli olsa da (CHON'u hatırlayalım), onun kökeni konusunda herhangi bir gizem bulunmaz, dolayısıyla onu bir kenara koyarak güneş sisteminin yüzde ikilik bileşimini oluşturan ağır elementlere bakabiliriz; onların miktarı öyle azdır ki kütleden çok atom sayısı ile konuşmak daha yerinde olur.

Hidrojen ve helyum (ilk iki element) miktarına ilişkin gerçek sayıları vermeden yalnızca ilk on elementi ele alırsak, her 70 oksijen atomu başına 40 karbon, 9 azot, 5 silikon, 4'er magnezyum ve neon, 3 demir ve 2 sülfür atomu düşer. Geriye sülfür miktarının yüzde 10'u ile yüzde 50'si arasında değişen yalnızca beş element (alüminyum, argon, kalsiyum, nikel-demir alaşımı ve sodyum) daha vardır. Daha ağır elementler daha da seyrek bulunur. Her 10 milyon sülfür atomu başına yalnızca 3 altın atomu bulunur ki bu altının değerli olmasının nedenlerinden biri olmakla birlikte, bize evrenle ilgili, birazdan değineceğim çok önemli bir şey söyler.

Elementlerin yıldızlar içinde nasıl üretildiğine ilişkin ilk ipucu işte o ilk on elementten gelir, ya da en azından, helyumdan daha ağır olan ilk on elementten. Bir helyum atomunun (tam söylemek gerekirse bir helyum-4 atomunun) çekirdeği bir alfa parçacığıdır, iki proton ve iki nötrondan meydana gelir. Bir karbon atomu altı proton ve altı nötrondan meydana gelir, yani üç alfa parçacığı birleşip ona karbon-12 adını verir. Ona başka bir alfa parçacığı eklemekse size oksijeni verir. Azot, silikon, magnezyum, neon ve demir hep çeşitli sayılarda alfa

parçacığı içerir. Eğer alfa parçacıkları yıldızların içindeki çekirdeklere eklenebilirse tam olarak bu sırayla bu elementleri meydana getirir. Daha nadir elementler, çekirdeklerle en yaygın olarak etkileşen elektron, nötron ve proton gibi başboş parçacıkların çekirdek tepkimelelerine ara sıra katılmasıyla oluşur. Bu ağır elementler oluşur çünkü enerji dengesi ağır (daha büyük) çekirdekleri hafif olanlara tercih eder, hidrojenin helyuma dönüşümünden demire kadar. Örneğin bir karbon-12 çekirdeği, üç alfa parçacığının birleşiminden çok az daha büyüktür ve eğer üç alfa parçacığı (herhangi bir yolla) birleşip bir karbon-12 çekirdeği meydana getirirse, o "kayıp" kütle enerji olarak salınır. Benzer şekilde, ortalama enerji anlamında bir oksijen çekirdeği ayrıca bir alfa parçacığıyla bir karbon çekirdeğine daha verimli bir dizilimdedir ve bu böyle demire kadar gider. Daha ağır elementler başka bir bilmedir, çünkü onların çekirdekleri kütle-enerji anlamında daha az verimli paketlerdir, dolayısıyla çekirdekleri birleştirip altın gibi elementleri ortaya çıkarmak için enerji girdisi gerekir. Ama önce başladığımız işi bitirelim. Öncü astrofizikçi Fred Hoyle 1940'lerde bugün çekirdek sentezi olarak bilinen problemle uğraştığında, ilk olarak demire kadar olan kısımdaki her şeyin üretilmesiyle işe başladı.

Çekirdek bölünmesi, hafif çekirdekler bir araya gelip demire kadar olan ağır elementleri oluştururken enerji salar. Ancak her çekirdeğin bir pozitif elektrik yükü olup, elektriksel kuvvetlerle birbirlerini iter. Pozitif elektrik yükleri ancak birbirlerine bastırılırsa, öyle ki çekirdek kuvvetleri, atom çekirdeklerini birbirinden ayrı tutan elektriksel kuvvetleri yenebilirse birleşebilir. Bu da çarpıştıklarında çok hızlı olmaları gerektiği anlamına gelir, hızlarıysa sıcaklığa bağlıdır. Fizikçiler, 1940'ların ortala-

rına gelindiğinde farklı bölünme tepkimelerindeki bunun gerçekleşmesi için gereken sıcaklıklar hakkında iyi bir kavrayışa sahipti, ancak alfa parçacığı eklenmesi yoluyla çekirdek oluşturma sürecinin ilk adımlarından biriyle ilgili büyük bir problem vardı.

İki alfa parçacığından oluşan herhangi bir çekirdekten bahsetmediğimi fark etmiş olabilirsiniz. Buna karşılık gelen element berilyum-8'dir, ancak doğada asla bulunmaz. Berilyum-8 çekirdeği kararsızdır ve eğer ki yapay olarak üretilirse neredeyse anında parçalanır. Birkaç gökbilimci, helyum-4 ile karbon-12 arasındaki boşluğu kapatmanın yolu olarak arada berilyum-8 oluşmadan üç alfa parçacığının aynı anda bir araya gelmesini ortaya attı. Ancak böylesi üçlü bir çarpışma öyle çok kinetik enerji içerir ki, alfa parçacıklarının sorunsuzca bir araya gelmesinden çok bir tufanı andırır. O hâlde böyle bir süreç nasıl sorunsuzca işleyebilir?

Hoyle'un kavrayışı üç alfa parçacığının tam olarak aynı anda çarpışmasına gerek olmadığını fark etmesiyle başladı. Berilyum-8'in ömrü, her bir çekirdeğin yalnızca 10^{-19} saniye kadar dayanabildiği ölçüde az olsa da, bir yıldızın merkezindeki koşullar altında öyle çok alfa parçacığı vardır ki, orada çarpışmalar süreki bir üretim yapar. Oralarda her zaman, lavabo deliğinden akıp gittikçe açık bir musluktan beslenen su gibi biraz alfa parçacığı bulunur. Merkezindeki sıcaklığı 100 milyon santigrat derece olan bir yıldızda, her 10 milyar çekirdekten biri berilyum-8 olacaktır. Dolayısıyla her zaman alfa parçacıklarına "hedef" olabilecek bir berilyum grubu vardır. Ancak bu bile umut verici görünmedi, çünkü eğer başka bir etken iş başında değilse, bu süreç de evrende bulunan karbon miktarını açıklayacak kadar karbon üretemez.



Fred Hoyle

A. Barrington Brown, Gonville & Caius College
[Cambridge Üniversitesi]/Bilim Fotoğrafları Arşivi

Hoyle 1953 yılında diğer etkenin ne olduğunu buldu. Her çekirdek, rezonans denilen farklı enerji durumlarında var olur. Bunun bilinen benzetmesi parmaklarla gitar çalmaktır. Her telin temel bir notası olmakla birlikte, aynı notanın başka harmonileri de çalınabilir. Çekirdeğin temel bir enerji seviyesi vardır (temel hâl), ama fazladan

enerji verilirse, bir merdivende bir üst basamağa çıkarılmış top gibi “uyarılmış” bir duruma atlayabilir. Topun merdivenden aşağı sekerek düşmesi gibi, böyle bir çekirdek de kısa bir süre sonra biraz (belki gama ışınları şeklinde) enerji atıp geri temel durumuna döner.

Hoyle’un hesaplamalarına göre, bir yıldızın içindeki koşullar altında başka her şey eşitken kısa ömürlü bir berilyum parçacığının bir alfa parçacığıyla çarpışması onu, en basit hâliyle söylenirse, patlatır. Ancak Hoyle’un akıl yürütmesine göre, eğer gelen parçacığın enerjisi tam olarak gerektiği gibiyse, tam da bir topun sakince merdivenin bir üst basamağına konulup, oradan enerji yayarak karbon-12’nin temel durumuna düştüğü gibi, bir araya gelmiş çekirdeği hafifçe karbon-12’nin uyarılmış durumuna geçirir. Buradaki engelse, bu numaranın ancak karbon-12’nin temel durumunun, fizikçilerce kullanılan birimlerde, tam olarak 7,65 milyon elektron Volt üzerindeki bir enerji seviyesinde işe yaramasıdır. Eğer enerji seviyesi yüzde 5 bile daha fazla olsa bu numara işe yaramaz. Ancak kimse henüz karbon-12’nin böyle bir uyarılmış durumu olup olmadığını bile bilmiyordu.

Kimse Hoyle’un fikrini ciddiye almadı. Ancak onun kanıtları sugötürmez gibiydi. Evrende karbon vardır. Hatta biz de kısmen karbondan meydana geldik. Bir yerde olmalı, ancak yıldızların içinde değilse başka nerede meydana gelebilir? Hoyle normalde Birleşik Krallık’taki Cambridge’te bulunsa da, o zamanlarda Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünü [Caltech] ziyaret ediyordu ve fırsatı değerlendirip deneysel fizikçi William Fowler’a, kestimde bulunduğu karbon-12 rezonansını aramak üzere bir deney yapıp yapamayacağını sordu. Hatta bir ricadan daha da ileriye gitti. Fowler ikna olana dek başının etini yedi. Fowler bana Hoyle’un çıldırmış olduğunu düşün-

düğünü söyledi, ancak sonunda onu susturmak için bir ekip toplayıp deneyi yapmayı kabul etmişti. Nedeni ne olursa olsun, deney bir şekilde gerçekleşti. Üç ay sürdü ve Hoyle'un doğruluğunu kanıtladı. Gerçekten de, "üçlü alfa" sürecinin nasıl gerçekleştiğini açıklayan doğru noktada bir karbon rezonansı vardı. Hoyle hariç herkes şaşkınlık içindeydi.

Bu keşif bilimin en büyük zaferlerinden biridir, belki de kuramın öngöründe bulunup deneyle kanıtlandığı en önemli örnektir. Nobel Ödülünü sonuna kadar hak etmesine rağmen Hoyle onu hiç alamadı, onun yerine Fowler, bu keşiften yola çıkarak ikisinin birlikte başka iki araştırmacıyla geliştirdikleri bir çalışmayla ödülü aldı.

Caltech'e ikinci ziyaretinde Hoyle, Kaliforniya'da kısa süreli bulunan (daha sonraysa kalıcı olarak yerleşen) ve spektroskopi yoluyla yıldızlarda keşfedilen çeşitli elementlerin tam miktarlarının önemini anlamaya çalışan İngiliz karı-koca Geoffrey ve Margaret Burbidge ile tanıştı. Fowler, yıldızların içindeki düzenli nötron tedarikinin, alfa süreciyle üretilen çekirdekleri, gerçekte gözlemlenen oranlarda bulunan diğer elementlere nasıl dönüştürdüğünü hesaplayan ekibiyle birlikte bu işe de bulaştı. Hoyle başlangıçta bu çalışmayla uzaktan ilgilendi, ancak dördü birden 1956'da Kaliforniya'da bir aradayken, her şeyi uzun bir bilimsel makalede bir araya getirerek *Reviews of Modern Physics* dergisinin Ekim 1957 tarihli sayısında yayımladılar. Bu şaheserin yazarlarının isimleri alfabetik olarak Burbidge, Burbidge, Fowler ve Hoyle olarak yazılmıştı, o günden bugüne de basitçe B^2FH^1 olarak adlandırılır. Herkes bu çalışmaya rehber olan ilhamın Hoyle'un çalışmasından geldiğini biliyordu, ancak anlaşılan o ki Nobel

¹ "B-kare F H" olarak telaffuz edilir.

Vakfı hariç herkes, onlar da sonunda bu ıgır açan buluş için 1983 yılında dl tek başına Fowler'a verdi. Fowler utansa da dl kabul etti. Fowler ldğnde, Geoffrey Burbidge eski dostu için ardından kaleme aldıgı yazıda bu karara atıfta bulunup, dl "B²FH arasında bir gerginliğ sebep oldu, çünkü hepimiz onun bir ekip çalışması olduğnunun farkındaydık ve orijinal alışma Fred Hoyle tarafından yapılmıştı," dedi. Ancak alışma, dl kim alırsa alsın bilimin dayanaklarından biridir. Karbon rezonansı ve bir yıldıza hızlıca hareket eden alfa parçacıklarıyla taşınan enerji miktarı arasında böylesine bir rastlantı olmasaydı, ne karbon, ne ağır elementler, ne yıldırları oluşturan gaz bulutlarındaki karmaşık moleküller, ne dünya gibi gezegenler ne de evrende bizim gibi yaşam formları olurdu.

Bu alışma özünde yıldırların içinde tüm elementlerin, demir-56 ve nikel-56'ya kadar (demir-56 her bir çekirdekte 26 proton ve 30 nötron içerir; nikel-56 ise 28 proton ve 28 nötron içerir, yani 14 alfa parçacığının birleşimidir) nasıl üretildiğini açıkladı. Daha ağır elementlerin üretimi, yıldırlar süpernova olarak patladıklarında evrende görülen en şiddetli etkinliklerinden bazılarını içerir. Fowler ve Hoyle (alfabetik olarak) yıldış çekirdek sentezinin bu tarafını anlama konusuyla da ilgilendi. Ancak o anlayış o günden bu yana çok daha şiddetli etkinlikleri bünyesine katarak genişledi.

Süpernova konuyla bağlantısı gneşimizden çok daha büyük yıldırlarla ilgilidir. Kütleleri güneşinkinin bir ila dört katı olan yıldırlarda, çekirdeğindeki hidrojenin helyuma dönüşümü sonrası yıldış biraz küçülüp merkezi ısınır ve helyumu "yakarak" karbon ve oksijen karışımı meydana getirir. Yapabildiği en fazla budur. Ömrünün daha sonraki aşamalarındaysa, yıldış karbon ve oksijen de dâhil pek çok malzemeyi uzaya püskürtüp beyaz cüce

hâline gelir; kütlesi güneşin bugünkü kütlesine yakın ancak dünyadan büyük olmayan soğumakta bir köz. Daha büyük yıldızlarınsa daha ilginç ve gösterişli yaşamları vardır. Fazladan kütle önemlidir, çünkü içe doğru basınç, yıldız içinde birbirini takip eden çekirdek yanmalarının gerçekleşmesini sağlayacak sıcaklık için gereklidir. Karbon, B²FH tarafından araştırılan süreçlere göre yaklaşık 400 milyon santigrat derece sıcaklıkta neon, sodyum ve magnezyuma dönüştürülür; oksijen yanması yaklaşık 1 milyar santigrat derecede silikon, sülfür ve diğer elementleri üretir. Bu şekilde üretilen (özünde yedi alfa parçacığının bir arada olduğu) silikon-28 en sonunda demir ve nikel dönüştürülür. Ancak sürecin her bir aşamasında geriye bir şey bırakılır, öyle ki büyük yıldız ömrünün sonunda hidrojen içeren bir çekirdek, onu saran helyumdan bir kabuk ve bir soğanın katmanları gibi birbirini takip eden elementlerden kabuklarla sarılıdır.

Bütün nükleer enerji kaynakları bittiğinde, yıldız çöker. Ancak bu olay kütleçekim enerjisi yayar, o da öyle çok ısı ortaya çıkarır ki yıldız süpernova olarak patlar. Patlamanın birazı içeri doğru girerek yıldızın çekirdeğini sıkıştırıp onu bir (güneş kadar bir kütlenin 20 kilometre çapında bir topa sıkıştırıldığı) nötron yıldızına, hatta bir kara deliğe dönüştürür. Ancak patlamanın çoğu dışarı doğru gider. Patlama yıldızların dış kısımlarında demirden daha ağır elementleri meydana getiren enerjiyi sağlayıp aynı zamanda o elementleri ve yıldızın ömrü boyunca üretilmiş diğer elementleri, yeni yıldızları ve gezegenleri, en azından o gezegenlerden birinde de, insanları uzayda meydana getirmek üzere uzaya yayar.

Pek çok detay takip eden yıllarda anlaşılrsa da, bu kadarı 1960'ların sonunda açıktı. Ancak kafaları meşgul eden bir problem vardı. Evrende gözlemlenen altın gibi

çok ağır elementlerin ayak izleri küçük olsa da, sürekli gelişen hesaplamalar ve bilgisayar benzetimleri, bir süpernova patlamasının bu elementleri gözlemleri açıklamaya yetecek kadar üretemediğini ortaya çıkardı. Bilim insanları, süpernova patlamalarının gözlemlenen oranının evrendeki altın, platinyum ve uranyum gibi şeylerin miktarıyla eşleştirilmesinden, böyle ağır elementlerin yalnızca yarısının bu yolla açıklanabileceğini buldu. Gerisi için başka bir şey gerekiyordu ve bunun ne olduğunu bilmeden de gökbilimciler ona bir isim verdi: Kilonova. Elementlerin kökeni hikayesini sonuçlandıran ve Hubble'un kavrayışına kadar götürülebilecek tüm o hesaplamaların hassasiyetini doğrulayan kilonova patlamaları sonunda 2017 yılında tespit edildi ancak (başlangıçta) yaydıkları ışıktan değil.

Gökbilimciler, 14 Eylül 2015'te evrende yeni bir pencere açtılar. Tarihte ilk defa, evrenin uzak noktalarından birinde yaşanan şiddetli bir olaydan, uzaydaki kırıksıklıklar olan kütleçekim dalgalarını tespit ettiler. O olay iki kara deliğin birleşmesiydi. Einstein'ın genel görelilik kuramının bir öngörüsü olan kütleçekim dalgaları uzun zamandır aranmaktaydı ve keşfi de uzun zamandır bekleniyordu. Ancak onlar dünyaya ulaştığında inanılmaz derecede zayıftır ve gözlemlenmesi oldukça zordur. Gözlemleri yapan "teleskoplar," 4 kilometre uzunluğunda vakumlanmış tüplerdir, içlerinde bulunan ve lazerden gelen ışığı oradan oraya tüneller boyunca yansıtan aynalar öyle hassasça dengelenmiş ve öyle duyarlı biçimde izlenir ki, aynalar bir atomdan daha kısa bir uzaklıkta hareket ettiğinde sallantılar ölçülebilir.² Einstein'ın kuramı iki kara

² Detaylar için, bkz. <https://www.amazon.co.uk/Discovering-Gravitational-Waves-Kindle-Single-ebook/dp/B071FFJT74>

deliğin birleşmesi gibi şeylerden gelen dalgalar yoluyla tam olarak ne çeşit bir sallantı ortaya çıkacağını öngörür ve 2015 Eylül'ünde tespit edilen de tam olarak öyle bir sallantıydı. O zamandan bu yana, dünyanın çeşitli yerlerindeki dedektörler (şu an Amerika Birleşik Devletleri'nde iki, Avrupa'da ve Hindistan'da da birer adet var) başka pek çok, gökbilimcilerin adlandırdığı gibi, kütleçekim dalgası "etkinliği," gözlemledi ve onlardan özellikle biri benim hikâyem için önemli.

Dedektörler, 17 Ağustos 2017'de yaklaşık 100 saniye sürüp iki nötron yıldızının çarpışmasındaki öngörüyle eşleşen, biraz farklı bir kırıksıklık örüntüsü yakaladı. Bu özellikle ilginçti, çünkü iki kara deliğin birleşmesindeki aksine, iki nötron yıldızının çarpışmasından bir ışık patlaması ve gama ışınları gibi başka radyasyonlar da yayması beklenir. Nötron yıldızları gerçekten de, varsayımsal kilonova patlamalarının olası adayları olup, içlerinde çok ağır elementler meydana gelebilir ve gökbilimciler, bizimki gibi bir galaksideki yıldız sayısından hareketle, böyle olayların ne sıklıkla gerçekleştiğini hesaplamıştır.³ Kütleçekim dalgalarının yönü daha önce gözlemlerden yaklaşık olarak belirlendi ve tespit edilmesini takip eden saatler içinde gökbilimciler teleskoplarını o yöne çevirdi. Bizden 130 milyon ışık yılı uzaklıkta, NGC 4993 denilen bir galaksinin yakınlarında kısa ömürlü parlak bir cisim buldular. Bir kilonovaydı. Spektroskopinin gösterdiğine göre kilonova gerçekten de, uranyum, altın ve platinyum gibi ağır elementlerden çok fazla üretmişti. Bu kilonova, altın cinsinden dünyanın kütlesinin 200 katı kadar, plan-

³ Nötron yıldızları çok yoğun olduklarından bu çarpışmalar çok ağır elementleri meydana getirmek konusunda çok verimlidir, ancak onlar yalnızca bir süpernovanın yalnızca yüzde onu kadar ışık üretirler, dolayısıyla bulunmaları zordur.

tinyum cinsinden 500 katını içeriyordu. Bu patlamada görülen miktarın, hesaplanan nötron yıldızlarının birleşme sıklığıyla çarpıldığında, sonuç böylesi patlamaların gerçekten de ağır elementlerin “kayıp” yarısını üretebileceği idi. Bu şu anlama gelir, diğer şeylerle birlikte, eğer bir evlilik yüzüğünüz, altın ya da plantinyumdan yapılmış başka bir şeyiniz varsa, emin olabilirsiniz ki o şeydeki atomların çoğu, iki nötron yıldızının çarpışması sırasında üretilip muazzam bir patlamayla uzaya saçılarak güneşi ve dünyayı meydana getiren bulutu beslemiştir.

Öyleyse artık elementlerin yıldızlarda nasıl yapıldığını, o elementlerin uzayda birleşerek karmaşık organik moleküller meydana getirdiklerini ve bu karmaşık moleküllerin de meydana geldikten hemen sonra dünya yüzeyine sakince getirilip yaşamın anahtar bileşenleri olduklarını biliyoruz. Ancak bu bileşenler nasıl bir araya gelip bizim gibi şeyleri oluşturur? Cevap, bilimin şaşırtıcı başka bir dayanağında yatar.

6.

Dayanak

YAŞAMIN KİTABI ÜÇ HARFLİ SÖZCÜKLERLE YAZILMIŞTIR

Yaşamın karmaşıklığı, proteinlerin ve nükleik asitlerin oluşturduğu iki molekül ailesinde meydana getirilir. Bu moleküllerin kendileriye görece az çeşitlilikteki bileşiklerden meydana gelir. Dünyada doğal olarak bulunan 97 molekül varken, bunların yalnızca 27'si canlılar için önemlidir ve 27'sinin tamamı bile canlılarda bulunmaz.

Proteinlerin oynadığı iki rol vardır. Bir biçimi vücudun, saç, kas, tüy, tırnaklar ve kabuklar gibi yapılarını oluşturur. X ışınları analizi, kimya ve atomları bir arada tutarak molekülleri oluşturan kuantum mekanik süreçlerin anlaşılmasının bir birleşiminden, bu moleküllerin uzun aminoasit zincirlerinden sarmal bir yapı oluşturarak meydana geldiklerini gösterdi. Böyle bir molekülün saç gibi uzun ve ince şeyleri meydana getirmesi çok şaşırtıcı değildir, aynı zamanda farklı kimyasal bağlarla yan yana bağlandığında tırnaklar gibi sert yüzeyleri de meydana getirebilir. Bunların hepsi, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünden Linus Pauling ve çalışma arkadaşları tarafından proteinlerin yapısı üzerine 1951 yılında *Proceedings of the National Academy of Sciences* dergisinde yayımladıkları yedi çığır açan ma-

kalede ortaya konuldu. Proteinin diğer biçimiye vücudun işçilerini sağlar. Hemoglobın gibi kanınızda oksijen taşıyan şeyler ve enzimler gibi belirli kimyasal tepkimeleri teşvik eden (ya da bazen engelleyen) maddeler yaşam için önemlidir. Onların yapısını ortaya çıkarmaksa sanıldığından daha çetin bir cevizdi.

Bu tip bir proteinin parçalarına ayrılmasının zor olmasıyla ilgili bir ipucu, globüler protein adı verilen şeylerden gelir. Daha sonradan anlaşıldığı gibi onlar da uzun aminoasit zincirlerinden oluşur, ancak bu durumda zincirler küçük toplar şeklinde kıvrılmıştır ve her bir globüler proteinin kendine has üç boyutlu bir şekli vardır. İşte globüler proteinin bu şekli, kimyasal bileşimi kadar yaşamın kimyasal süreçlerindeki rolünü de belirler. Örneğin, hemoglobın bir oksijen molekülünün tam olarak sığacağı büyüklükte ve şekilde bir girintiye sahiptir. Şimdi bir de her biri iki başka ve daha küçük molekülün sığabileceği, iki girintisi olan globüler proteini düşünelim. Bu girintilere yerleştiklerinde öyle hizalanırlar ki aralarında bir bağ oluşup tekil, daha büyük bir molekül olarak ayrılırlar. Bu, dünya oluşmadan önce uzayın derinliklerinde buz taneciklerinin yüzeylerinde küçük moleküllerin bir araya gelişine benzer. Bir enzim, örneğin, düşünmeden ve dur durak bilmeden, bir başka protein molekülü meydana getirecek sürekli büyüyen bir zincire bir halka daha yapmak için, belirli aminoasit çiftlerine katılır.

Hemoglobinin yapısı 1959 yılında Birleşik Krallık Tıbbi Araştırmalar Kurumu [UK Medical Research Council] laboratuvarlarında çözüldü. Yüzeyinde oksijen moleküllerinin yerleşebileceği dört girintisi ve her biri benzer aminoasitlerden oluşan, dört zincirden oluşur. Aynı görevi gören, neredeyse aynı zincirler atlar ve balinalar gibi canlıların kanında da bulundu. Evrim oldukça tutarlıdır;

belirli bir görevi iyi yapan bir molekül buldu mu onu değiştirmek yerine olduğu gibi bırakır. Ama evrim bu molekülleri yapmayı nereden bilir? İşte burası nükleik asitlerin hikâyeye dahil olduğu yer, DNA ve RNA'nın rolünün anlaşılması uzun zaman alsa da.

Nükleik asitlerin canlı hücrelerin ana bileşenleri olduğu belirlendiğinde, kendisine daha karmaşık ve (o zamanki düşünüşe göre) daha ilginç protein moleküllerinin eklendiği iskele gibi bir yapı malzemesi olduğu düşünüldü. Yapılması kolay bir hataydı, çünkü DNA ve RNA molekülleri görünüşte basittir. Her biri baz denilen dört alt birimden meydana gelir. Onların üçü RNA ve DNA'da aynıdır; dördüncü bazsa farklıdır, dolayısıyla toplamda beş baz içerilir. Bunlar urasil (U), timin (T), sitozin (S), adenin (A) ve guanindir (G). RNA molekülleri G, A, C ve U içerirken DNA molekülleri G, A, C ve T içerir. U, T ve C altı kenarlı karbon ve azot atomları halkasının etrafında bulunurken, A ve G böyle iki halkanın yan yana geldiği 8 gibi bir şekildedir. Bu bazlar, bir zincirde birbirine bağlı gerekli şekerleri (riboz ya da deoksiriboz) içeren, bazların iki ucundan dışarı çıktığı bir omurgaya bağlıdır. Bunun detayları, Rosalind Franklin ve Raymond Gosling'in, DNA'nın "çift sarmallı" yapısının belirlemek için Londra'daki King's College'da elde ettiği X ışını verisinin, onların bilgisi dışında ve izni olmadan James Watson'a verilip, onun ve Francis Crick'in Cambridge'de bu veriyi kullandığı 1950'lerin başına kadar bilinmiyordu. Başlangıçtaki fikir, bazların iskelenin parçaları boyunca düzenlendiği idi; DNA'da GACTGACTGACT... gibi ve RNA'da GACUGACUGACUGACU... gibi. Bu pek de bilgi taşımayan bir "mesajdır."

Bilinenlerin tamamı, 1940'ların ortalarında hemen hemen bu kadardı. Yaşamın taslağı ya da tarifindeki genetik malzemenin kalp hücrelerinde bulunan kromozom

denilen büyük yapılarda bulunduğu ve onların kopyalanarak tarifi sonraki nesillere aktarıldığı biliniyordu. Ancak kromozomların hem DNA hem de proteinleri taşıdığı biliniyordu dolayısıyla da proteinlerin bilgi taşımak için önemli bileşen olduğu düşünüldü. Hücrelerin kendileri için gerekli proteinleri nasıl meydana getireceğini “bilmesinin” bir yolu şu olabilir; örneğin, eğer her bir proteinin bir örneği DNA’nın iskelesine gerektiğinde kopyalanmak üzere tutunursa. Bu akla uygun geldi, ama yanlıştı.¹ Yanlış olsa bile kromozomların yaşamın tarifini bir çeşit “şifre” şeklinde taşıdıkları açıktı.

Bilim insanlarını yaşamın şifresi yoluna sevk eden kişi, bugün en yaygın olarak kuantum mekaniğinin meşhur “kedi paradoksuyla”² bilinen fizikçi Erwin Schrödinger’dir. Schrödinger, 1943 yılında Nazilerin Avusturya’yı ele geçirmesinden göçmen olarak taşındığı Dublin’deki İleri Araştırmalar Enstitüsünde bulunuyordu. O yıl Trinity College’da “Yaşam Nedir?” temalı dersler verdi. Sonraki yıl bu dersler aynı adla bir kitap hâlinde yayımlandı. Bu kitap, Crick ve Watson da dahil olmak üzere, İkinci Dünya Savaşı sonrasında yaşamın şifresini çözmeye kendini adanmış sonraki nesil bilim insanları üzerinde büyük etki yaratacaktı.

Schrödinger’in ortaya atıp o araştırmacılara aktardığı anahtar düşünce, “canlı hücrenin en önemli kısmının, yani kromozom iplikçığının, *aperiyodik kristal*³ olarak isimlendirilebileceğiydi.” Bir kromozomun en önemli bileşeninin protein olduğunu düşünmüştü, ancak bu çok da önemli değil, çünkü onun kavrayışı DNA’dan yapılmış iplikçikler için

¹ Hem de neredeyse gerçeğin tam tersi; birazdan anlatacağım gibi, kromozomlarda protein yapısal malzemeyken, DNA bilgiyi taşır.

² Bkz. kitabım *Six Impossible Things* [Altı Olanaksız Şey]

³ Schrödinger’in kendi vurgusu.

de aynı şekilde işe yarar. Onun kullandığı şekliyle periyodik kristal, sofraya tuzu ya da sodyum klorür gibi, sodyum (Na) ve klorinin (Cl) kendini tekrar eden üç boyutlu NaCl-NaClNaClNaCl... dizisini oluşturduğu ama pek bilgi vermeyen yapıda bir şeydir. Bu, proteinlerin tutunabildiği DNA iskeletine çok benzer bir düşüncedir. Schrödinger'in aperiyodik kristalle ne demek istediği dokumacılıktan örneklerle anlaşılabilir. Eğer birkaç farklı renkli telden oluşan bir ipliğiniz varsa, onlar yan yana düzenlenip sıra sıra örneğin kırmızı, sarı, mavi ve yeşil renklerde çizgili bir battaniye örülebilir. İşte periyodik kristalin karşılığı budur. Aynı teller daha karmaşık şekilde, bir çiçek ortaya çıkarmak üzere de örülebilir. Bu da aperiyodik kristalin karşılığı olur. Schrödinger'in gösterdiğine göre, bu yolla yalnızca birkaç renkten yapılmış olsa da, "Rafael'in" dokumasında sıradan tekrarlar değil, detaylı, ahenkli ve anlamlı bir tasarıma" içeren bir yapı vardır.

Schrödinger, kromozom iplikçiklerindeki aperiyodik kristalde taşınan ve kendisinin "kod" dediği şeylerin, kromozomlarda her bir proteinin kopyasına gerek duymaksızın proteinleri yapacak bilginin tamamını içerebileceğine de işaret etti. Yaşam için gerekli olan proteinleri yapmak için yalnızca 20 aminoasit gereklidir, eğer bu aminoasitleri protein molekülü boyunca dizilmiş bir cümleyi (ya da kitabı!) meydana getiren bir "sözcük" olarak düşünürseniz, bu kitabı yazdığım İngilizcenin 26 harfinin bilgi aktarmak için sahip olduğu kadar kapsama sahip olursunuz, bu da harflerin A'dan Z'ye kadar sıkıcı bir tekrardan daha fazla bilgi içerir (umarım siz de aynı fikirdesinizdir). Ancak yaşamın kitabını yazmak için 20 harfli bir alfabeyle gerçekten ihtiyacınız var mıdır?

* İtalyan ressam (1483-1520) —çn.



Raymond Gosling

King's College Londra Arşivleri/Bilim Fotoğrafları Arşivi

Schrödinger, aminoasit kadar karmaşık şeyler için buna gerek olmadığını fark etti. Tekil atomlar bile eğer uygun şekilde ayarlanırsa iş görebilir: "Böyle [aperiyodik kristal] yapıda [farklı] atomların sayısının, neredeyse sınırsız sayıda olanaklı düzenleme yaratmak için çok yüksek olmasına gerek yoktur." Bunun için, yalnızca nokta ve çizginin olduğu Mors kodu örneğini verdi; onlar dörtlü semboller olarak bir araya getirilip 30 farklı düzenleme yapılabilir,

bu da İngilizcedeki harfler ve birkaç noktalama işareti için yeterlidir. Üçüncü bir işaret, on veya daha az sembollü gruplarda kullanıldığında, “88.572 farklı ‘harf’ yaratabilirsiniz; beş işaret ve en fazla 25 sembolün olduğu gruplarda kullanılırsa sayı 372.529.029.846.191.405 olur.” Schrödinger burada fizik eğitiminin de etkisiyle biraz konudan uzaklaştı, çünkü aslında böylesine abartılı sayıda sözcüğe gerek yoktur. Ancak bu yalnızca DNA’nın yapısı belirlendikten sonra anlaşıldı.

Hikâye detaylarına girmeye gerek duyulmayacak kadar iyi biliniyor, ancak onun önemli olan kısmı her bir DNA molekülünün meşhur çift sarmalda birbirinin etrafına dolanan iki iplikten meydana geliyor oluşu. Her bir DNA ipliğinin, fosfat gruplarıyla (fosfat grubu, dört oksijen atomuyla çevrelenmiş bir fosfat atomundan oluşur) birbirine bağlı şeker zincirinden bir omurgası vardır. Daha önce gördüğümüz gibi, bazlar (G, A, T ve C) şeker gruplarına bağlı olup omurganın uçlarından dışarı çıkarlar. Farklı baz çiftleri, şekilleri ve aralarındaki hidrojen bağı denilen zayıf elektrik kuvvetleri sayesinde birbirlerine çekim duyarlar. Timin [T] ve Adenin [A] bu şekilde doğal yollardan bağlanır, Sitozin [C] ve Guanin [G] de aynı şekilde. DNA’nın iki ipliğini bir arada tutan budur, ancak görece zayıf olarak. İpliğin birinde T bulunan her yerin karşısında A vardır; ipliğin birinde C bulunan her yerin karşındaysa G. Tam tersi ya da. Bu eşleşme Crick-Watson DNA modelinin temelindeydi, *Nature*’da 1953 yılında yayımlanan meşhur makalenin sonunda, hafif çekingen biçimde şöyle yazdılar:

Burada ortaya koyduğumuz belirli eşleşme biçimlerinin, genetik malzemenin olası kopyalama mekanizmasının varlığına işaret ettiği dikkatimizden kaçmadı.

Bu onların, eğer DNA'nın iki ipliği ayrılabilirse, her bir iplikçiğin hücre içindeki kimyasal çorbadan başka bileşenlerle eşleşerek yeni bir eş meydana getirebileceği fikrinde öncelik elde etmek için kullandıkları bir taktikti.⁴ Tekil iplikteki her A çorbadan T yakalar, her T de A; her G bir C yakalarken, her C de bir G yakalar. Sonuç, eskiden bir çift sarmal varken, artık birbirine eş iki çift sarmal. Böylece genetik malzeme kopyanır. Hücredeki mekanizmaların bunu tam olarak nasıl yaptıkları 1953 yılında anlaşılmaktan çok uzaktı, ancak önemli olan nokta, bunun açıkça kuramsal olarak olanaklı olduğuydu. Ortaya atılan büyük soru şuydu, kopyalanan nedir? DNA yaşamın kitabındaki bilgileri nasıl saklar?

İnsanları, özellikle de Francis Crick'i, yönlendiren kişi, Rusya doğumlu Amerikalı fizikçi George Gamow'du. Kaliforniya Üniversitesinin Berkeley kampüsünde misafir olarak bulunduğu 1953 yılını daha sonraları şöyle hatırlamıştı:

Radyasyon laboratuvarının olduğu koridorda yürürken Luis Alvarez'i elinde *Nature* dergisiyle geçerken gördüm ... bana, "Watson ile Crick'in yazdığı şu şahane makaleye bak," dedi. Makaleyi ilk kez o zaman gördüm. Sonra Washington'a dönüp üzerine düşünmeye başladım.⁵

Gamow, eğer DNA boyunca uzanan baz dizileri protein için gerekli aminoasitlerin kodunu DNA molekülü boyunca doğru sıralamada taşıyorsa, protein moleküllerinin doğrudan DNA ipliklerinin üzerinde meydana getirilebileceği fikrini ortaya attı. Bu Schrödinger'in fikrinin aynı-

⁴ Benim burada ona atıfta bulunmam taktiğinin işe yaradığının bir kanıtı.

⁵ George Gamow Koleksiyonu'ndaki röportaj, ABD Kongre Kütüphanesi, Washington, DC.

sıydı, ancak kendisi bunun farkında değildi. Gamow bu fikrini Watson ve Crick ile paylaştı ve 1954 yılında *Nature* dergisinde yayımlanan makalesinde onu şöyle ifade etti:

Herhangi bir organizmanın kalıtsal özellikleri dört basamaklı sistemde uzun bir sayıyla belirtilebilir. Öte yandan, [proteinler] yirmi farklı aminoasit çeşidinden oluşan uzun peptit zincirleridir ... sorun bu dört basamaklı sayıların [aminoasitlere] dönüştürülme yolunda ortaya çıkar.

Gamow'un düşüncesinin detayları yanlıştı, ancak yaşamın şifresinden bu şekilde bahsederek Crick ve diğerlerini böyle bir "dönüştürülmenin" nasıl yapılacağı konusunda düşünmeye sevk etti. Bunun anahtarı, diğer nükleik asit olan RNA'nın rolünü anlamaktaydı.

DNA'nın hücrenin işleyişinde nasıl aktif rol aldığını anlamaya ilişkin bilmecelerden biri, DNA'nın hücrenin merkezinde, yani çekirdekte saklı olmasındaydı. Proteinlerin üretimini de içeren tüm etkinlikler, sitoplazma denen hücrenin dış bölgesinde gerçekleşir. Orada çok az DNA bulunmakla birlikte pek çok RNA vardır. Belirli bir organizmanın her hücresindeki DNA'nın miktarı her zaman aynı olsa da, RNA miktarı hücreden hücreye ve farklı zamanlarda aynı hücre içinde bile önemli oranda farklılaşır. RNA'nın protein üretimine doğrudan dahil olduğu böylelikle anlaşıldı; DNA'dan kopyalanan genetik kod parçaları gerektiğinde yeni RNA ipliklerine kopyalanır, sonra da RNA sitoplazmaya salınarak kabaca Gamow'un önerdiği yolla protein üretmek için kullanılır, daha sonraysa RNA iplikçikleri parçalanıp parçalar tekrar kullanılır. DNA bir kütüphane, bir bilgi hazinesi gibidir, ondan teker teker kitaplar, belirli proteinlerin üretimi için kullanma kılavuzları gerektiğinde RNA'ya kopyalanır. Çekirdekteki DNA molekülünün bir parçası ayrıştırılıp,

Crick ve Watson'ın "dikkatinden kaçmayan" mekanizmayla RNA'ya kopyalandığında, her bir T'nin U'yla yer değiştirmesi dışında önemli bir farklılık yoktu. Dolayısıyla, kolaylık olması açısından, bundan böyle genetik koddan bahsederken RNA bazları olan U, C, G ve A'yı kullanarak açıklayacağım.

Kodu deşifre etmek için pek çok insan, bir hücrenin işleyişinin detaylarını adım adım ortaya çıkaran pek çok biyokimyasal araştırma yaptı. Ancak burası onun detaylarına girmenin yeri değil, onları Horace Judson'ın⁶ kitabında okuyabilirsiniz; ben burada deneylerin ardındaki düşünüş ve deneylerden çıkan sonuçlara odaklanacağım. En başlarda araştırmacılar, Gamow'un önerdiği dört basamaklı kod yerine üçlü koda odaklanmaya karar verdiler, çünkü tüm ihtiyaç duyduğunuz üç harftir. Eğer dört bazınız varsa ve onların her birini bir harf olarak ele alırsanız, her birini kullanarak yalnızca dört amino asidi kodlayabilirsiniz. Her defasında iki bazı ikili olarak kullanırsanız, on altı farklı düzenleme, yani on altı sözcük, elde edebilirsiniz, ama yaşam için gerekli olan 20 aminoasit için yeterli değildir. Ancak üç harfli sözcükler ya da üçlülerle, gerekli olan tüm aminoasitleri kodlamaya yetip, hatta geriye belirli bir "mesajın" başını ve sonun belirleyen işaretçiler de dahil, noktalama işaretleri görevini görecektir kadar kalacak 64 farklı kombinasyon elde edebilirsiniz. Dört harfli bir kodla tekil sözcüklerin sayısı 256 olur, ki bu gerekenden çok daha fazladır.

Biyokimyacılar, 1950'ler ve 1960'lar boyunca, ne tür proteinler ürettiklerini görmek için çeşitli bazları içeren RNA iplikleriyle deneyler yaptılar. Önemli bir dönüm noktası, UUUUU... (poli-U) gibi tekrarlayan baz zincirleri-

⁶ Bkz. Okuma Önerileri.

ni taşıyan sıkıcı RNA ipliklerinin, hücre içine benzetilen bir ortama koyulduğunda, tekrar eden sıkıcı aminoasit zinciri olan fe.fe.fe... [phe.phe.phe] (poli-fe), yani fenilalaninin [phenilalanin], keşfiyle yaşandı. Bu bir proteindir, ancak canlılar için önemi yoktur. Ancak bu keşif, ilk üçlü proteinin tespit edilmesi demektir. RNA'daki UUU aminoasit fe'ye karşılık gelir. Bu şekildeki birçok çalışma, kodun tamamen anlaşılmasını sağladı. U, C, G ve A bazlarından elde edilebilen her bir üçlü, belirli bir aminoasit ya da noktalama işaretiyle ilişkilidir. Bazı aminoasitler birkaç üçlüyle kodlanmıştır, örneğin valin GUU, GUC, GUA ya da GUG olarak gösterilebilir, ancak bu fazlalık yaşamın kitabının okunma yolunu etkilemez. Yine de yaşamın hikâyesinin tamamının üç harfli sözcüklerle yazılması şaşırtıcı görülebilir. Ancak o hikâyeyi anlatmak için çok fazla sözcüğe ihtiyacınız olur.

Peki bu kitap ne kadar büyüktür? İnsan hücrelerinde, çekirdekteki kromozomlarda bulunan DNA, sarmallarla sarmalanmış ve onların kendisi de süper-sarmallarla sarmalanmıştır. Kabaca söylenirse, her bir hücrede 3 milyar baz çifti DNA iplikçiklerine bağlıdır, öyle sıkıca paketlenmişlerdir ki yalnızca 6 mikron (bir metrenin milyonda altısı) kadar yer tutarlar. Tüm bu DNA açılıp serilirse iki metre uzunluğunda olur. Eğer vücudunuzdaki tüm hücrelerdeki tüm DNA'lar bu şekilde serilip uç uca eklenseydi, 16 milyar kilometre boyunca uzanırdı, yani güneşle dünya arasındaki uzaklığın bin katından daha fazla.

DNA'nın gerektiğinde bu derli toplu durumdan tam olarak nasıl ayrılıp da RNA'ya kopyalandığı hâlâ tam olarak anlaşılmış değil. Ancak sürecin anahtar bir özelliğini anlamış olabilirsiniz. Bu yalnızca DNA iplikleri birbirine daha önce kabaca üstünden geçtiğim hidrojen bağlarıyla gevşekçe bağlı olduğu için olanaklıdır, dolayısıyla bir

fermuar gibi açılıp geri kapanabilirler. Hidrojen bağı bildiğimiz yaşamın varlığının anahtarıdır ve başka bir bilimsel sürpriz bağlamında daha iyi anlaşılabilir: Buzun inanılmaz hafifliği.

7.

Dayanak

BUZUN İNANILMAZ HAFİFLİĞİ

Buz suda batmaz. Bu öyle apaçıktır ki çoğumuz üzerine düşünmeyiz bile. Ancak bu gerçek, içinde bulunduğumuz ortamın temel bir özelliği olup basit bir ev deneyiyle fark edilecek kadar da gariptir. Eğer iki şeffaf kabı alıp, birini suyla diğerniyse zeytin yağıyla doldurup buzluğa atarsanız ikisi de katılaşıır. Su buza, zeytin yağı da tereyağına benzer bir katıya dönüşür. Şimdi bir de kapları buzluktan çıkarıp sıcak bir masa üzerinde çözölmeye bırakın. Kapların birinde buz erirken, su yüzeyinde en son buz kalana dek dibinde su oluşur. Diğernindeyse, kabın dibi katı kalırken, erimekte olan yağ yüzeye çıkıp katı kütle üzerinde sıvı bir yüzey oluşur. İkinci durum cisimlerin davranışının daha iyi bir temsilidir. Katıların çoğu, sıvı hâllerinden daha ağırdır (yoğun), bu yüzden batırlar. Peki buz neden farklıdır ve bu farklılık dünyada yaşamın evrimini nasıl etkilemiştir?

İnsanlar donma noktası civarında suyun “soğuyarak genleşmesi” de denilen bir şeyi fark etmiş olsalar da, bu olay üzerine düzenli bir bilimsel çalışma yapan ilk kişi, on dokuzuncu yüzyılın ilk yıllarında Kont Rumford Benjamin Thompson’dı. Rumford, üzerine kitap yazılacak ka-

dar renkli bir kişilikti; yaşamına 1753 yılında Ben Thompson olarak Amerikan sömürgelerinde başlamış, Amerikan Bağımsızlık Savaşında İngilizlerin tarafında savaşmış, savaştan sonra Bavyera'ya gitmiş (oradaki Dük'e hizmetleri kendisine Kont ünvanını kazandıracaktı), ısı üzerine öncü çalışmalar yapmış ve Londra'da Royal Institution'ı kurmuştu. Bu arada da, suyun donma noktasına gelirken neler olduğunu araştırmıştı.

İşten başını kaldırmayan Rumford için normal olarak, o araştırmalarının bir bölümünü, İsviçre Alplerinde sonradan evleneceği güzeller güzeli Marie Lavoisier (öncü kimyacı Antoine Lavoisier'nin dul eşi) ile tatildayken yaptığı gözlemler tetiklemişti. Rumford, Chamoix buzulundaki büyük buz kütlesinin yüzeyinde "tamamen silindir şeklinde, yaklaşık 18 santimetre çapında ve 1,2 metreden daha derin, suyla dolu bir kuyu" gördü. Rehberlerin kendisine böyle kuyuların çok yaygın olduğunu söylemesi üzerine, nasıl oluştuklarını açıklamaya çalıştı. Buzun üstünden esen ılık yaz rüzgârları yüzeydeki buzı eritip doğal sığ girintiler meydana getirebilirdi. Buradaki su birikintilerinin üst tabakasındaki su derinlerdekinden biraz daha sıcaktır, öyleyse daha yoğunudur, dolayısıyla batır ve ısınıp birikintinin dibindeki buza vererek onu eritir. Şimdi biraz daha soğuk olan suysa hafif olduğundan yüzeye çıkarken, tersine taşınma mükemmel bir örnek olarak aşağı inen daha sıcak suyla yer değiştirir, soğuk havalar geri gelene kadar da "bu yolla kuyunun derinliği sürekli olarak artar." Rumford bunların tamamını Royal Society'nin *Philosophical Transactions* dergisinde 1804 yılında yayımlarken, bu çalışmalarla ilgili şunun altını çizdi:

suyun yoğunluğunun en fazla olduğu sıcaklığı tam bir hassasiyetle bulmak için değil, onun yerine bu sıcaklığın

termometrik ölçekte buzun erime sıcaklığının yalnızca birkaç derece üstünde olduğunu kanıtlamak için uygun olduğu kabul edilmelidir.

Ancak yalnızca bir yıl sonra, suyun yoğunluğunun en fazla olduğu sıcaklığı oldukça hassas biçimde ortaya koyduğu derli toplu bir deneyi tarif eden bir makaleyi Fransız Ulusal Enstitüsüne sundu.



Kont Rumford

Abecasis Koleksiyonu/Bilim Fotoğrafları Arşivi

Rumford bir kabı erime noktasında buzla doldurdu, yani tam olarak suyun donma noktasında. Buz banyosunun içinde bir kap daha vardı, onun içinde de küçük, kap şeklinde termometreye bağlı bir alıcı vardı. Kabın tam üstünde, buz banyosunun üstündeki kısmen erimiş buza daldırılabilircek sıcak bir top da vardı. Rumford'ın öngördüğü gibi, ılık su buzlu sudan daha yoğun ve kabın dibine çöktü; suyun en yoğun olduğu sıcaklığın ölçüleceği kabı doldurdu. Kabı dolduran suyun sıcaklığını 41 Fahrenheit, yani yaklaşık 5 °C buldu (modern ölçümler suyun yoğunluğunun maksimum olduğu sıcaklığı 4 °C olarak verir, o yüzden Rumford sahip olduğu araç-gereçlerle son derece başarılı olmuştu).

Bunun ortaya çıkardığı soruysa şuydu, su neden böyle davranır? Cevap, 1920'lerde kuantum kuramının gelişmesiyle tam olarak anlaşılan hidrojen bağının doğasında yatar, ancak genel anlamda da bir fikre sahip olabilirsiniz. Bu, hidrojen atomunun en basit element olmasına ve bir anlamda tek bir negatif yüklü elektronun pozitif yüklü bir proton etrafında yörüngede dolanmasına bağlıdır.¹ Atomlar, birbirleriyle bağ kurmak için elektron paylaştıklarında molekül oluşturmak üzere bir araya gelebilirler ve bazı düzenlemeler kuantum yasalarınca tercih edilir. Örneğin, bir hidrojen atomu iki elektron sahibi olmak "isteyebilir," bu yüzden molekül yapmak için bir elektronu boşta olan başka bir atomla, aralarında iki elektronu paylaşarak isteklice birleşebilir. Bu, eşleşmeyi etkileyen kuantum kuralları gereğince yalnızca belirli eşler için olanaklıdır. Örneğin, karbon atomları dört, oksijen atomları iki, azotsa üç bağ kurabilir. Ancak hidrojen, elektronların protonla başka bir

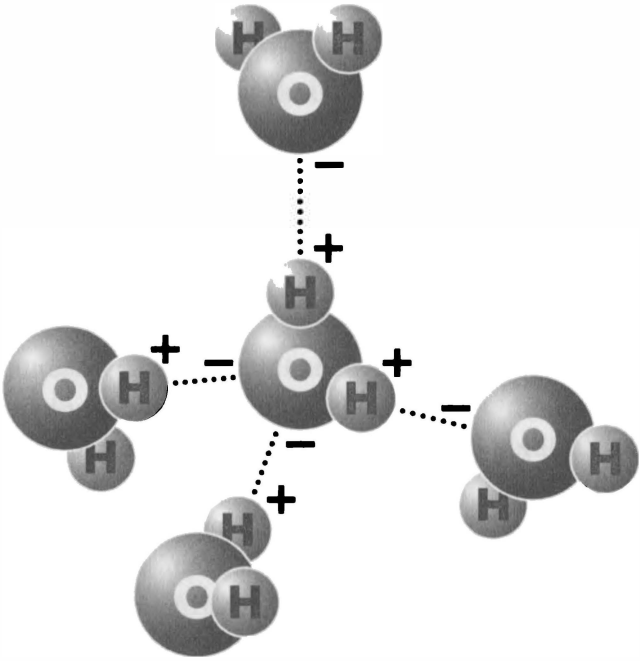
¹ Yalnızca bir anlamda çünkü kuantum fiziği bize elektronların yalnızca küçük parçacıklar olarak davranmadığını, aynı zamanda dalga benzeri özellikleri olduğunu da söyler.

atom arasında bir anlamda köprü kurduğu böyle bir bağ kurduğunda, her bir protonun diğer tarafı, dış tarafında elektrik yükü onu korumadığından açıkta kalır. Bu, kendisinde normal bağlarda kullanılanın dışında ve daha zayıf eşleşmelere uygun fazladan negatif yük bulunan atomlarla daha zayıf bağlantılar kurabilmesi anlamına gelir. Bu yalnızca hidrojen atomlarında olur, diğer atomların çekirdekleri normal kimyasal bağlara dahil olmayan fazladan elektronlarla korunur. Ancak işte tam da o fazlalık elektronlar hidrojen bağlarının bir ucunu oluşturmaya fırsat tanır.

Hidrojen bağları başka moleküller arasında oluşabilse de (özellikle DNA'da ve protein moleküllerine ilginç ve önemli şekillerini veren bağlantılarda), suyu ilgilendirenler bizim için özellikle güçlü ve önemlidir. Su molekülleri iki hidrojen ve bir oksijenden meydana gelir, yani H_2O . Her bir oksijen çekirdeği sekiz proton içerir, dolayısıyla etrafta altı boşta elektron bulunur. Bunlar, yakınlardaki su moleküllerine ait kısmen açıkta olan hidrojen çekirdeklerine elektriksel çekim sağlar.²

Su molekülündeki her bir oksijen atomu bu şekilde iki hidrojen bağı kurarken, su molekülünün öte yanında her bir hidrojen atomu başka bir moleküldeki oksijen atomuyla tek bir hidrojen bağı kurabilir. Bu, toplamda dört bağlanma olasılığı ortaya çıkararak, su moleküllerinin etrafında, katılarda açık kristal yapıyı (kar taneciklerini düşünelim) meydana getiren ve su moleküllerini sıvı hâlde hareket ederken birbirlerine tutunmasını sağlayan tetrahedron şeklinde düzenlenmiş hidrojen bağlarına yol açar. İşte bu yüzden su, dünya üzerinde bugün kendimizi rahat hissettiğimiz bütün sıcaklıklarda sıvı hâledir.

² Bu kitabın kapsamının dışında kalan kuantum-mekanik nedenlerle "normal" bağlar kuramazlar.



Su moleküllerinin hidrojen bağlarıyla bağlanması

Bir maddenin katı, sıvı ya da gaz oluşu diğer etmenler (özellikle de basınç) eşit olduğunda sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, maddeyi oluşturan parçacıklar da (atomlar ya da moleküller) o kadar enerjiye sahip olurlar, dolayısıyla daha hızlı hareket ederler. Yeterince yüksek sıcaklıklarda etrafta serbestçe dolaşır, birbirine ve içindeki bulundukları kabın duvarlarına çarpıp dururlar. Daha düşük sıcaklıklardaysa hareket bile edemezler, yalnızca oldukları yerde koşar gibi yaparak katıyı oluştururlar. Ağır moleküllerin hızlı hareket etmesi için daha çok enerjiye ihtiyaç vardır, o yüzden ağır moleküllerden oluşan maddeler genellikle, hafif moleküllerden oluşan maddelere göre daha yüksek sıcaklıklarda erir ve buharlaşır; bunun bir istisnası, örneğin katı karbonda olduğu

gibi atomların kristal ya da başka bir diziliş oluşturmak için bir araya gelmesidir. Suyun tuhaflığı, onun kendisiyle aynı, hatta daha ağır moleküllerden oluşan maddelerle karşılaştırılmasıyla görülebilir.

Bir hidrojen atomunun bir kütle birimi olduğu ölçekte oksijen 16 birimdir, öyleyse tek bir su molekülü (H_2O) 18 birim gelir. Yaygın başka bir molekül olan karbondioksit, iki oksijen molekülünün 12 birim kütle olan tek bir karbon atomuna katılmasıyla oluşur. Dolayısıyla toplamda 44 birim kütledir. Bu rağmen karbondioksit oda sıcaklığında gazken, su sıvı hâdedir. Nice başkalarıyla birlikte, hidrojen sülfür (44 birim kütle), metan (16 birim kütle) ve azot dioksit (46 birim kütle) oda sıcaklığında hep gazdır. Su, yalnızca dünya yüzeyinde varolan koşullarda sıvıdır, çünkü hidrojen bağları su moleküllerini yapışkan yapar. Moleküller gaz olarak hareket ederken ve oksijen molekülleri arasındaki çekim onları durdurmak için yeterince güçlü değilken bile, hidrojen bağı yine de etkilidir. Sıvı suda moleküller arası uzaklıklar yeterince fazla ve moleküllerin enerjisi oluşmaya çalışan hidrojen bağlarının uzayıp kırılacağı kadar yüksek olsa da, hidrojen bağları geçici olarak oluşur. Gazda, sıcaklık kaynama noktası olan 100 °C'ye yaklaşırken daha da güçlenir; sıvı suyun kendisinde moleküller, birbirlerine hidrojen bağı kurulumadığında olduğundan daha yakındır. Sıcaklık donma noktasına yaklaştığında, etki çarpıcıdır.

Sıcaklık 4 °C'ye yaklaşırken, işler kabaca beklediğiniz yürür, su soğudukça yoğunluk artar ve moleküller yavaşlar. Su 4 °C'deyken, kaynama noktasındaki suya göre yaklaşık yüzde 4 daha yoğundur. Ancak 4 °C'nin altına inildiğinde moleküller öyle yavaşlar ki buza has tetrahedron düzenine geçerler. Rumford'ın gözlemlediği gibi bu, kalıcı kristaller oluşturmada önce bile sıvının yoğunlu-

ğunu azaltır. Buz oluştuğundaysa, suyun yüzeyinde kalır. Geniş kristal latis yapıları meydana getiren ve donarken genişleyen başka maddeler de vardır, asetik asit, silikon, galyum ve (eğer risk alabilirsiniz) plütonyum bunlardan bazılarıdır. Ancak su dünyadaki yaşam için anahtardır, buzun inanılmaz hafifliği bizim neden varolduğumuzun asıl nedenlerinden biri olabilir.

Hidrojen bağının apaçık olmayan pek çok faydası vardır. Örneğin, bizim gibi hayvanların terleyerek soğumasını sağlar, çünkü su moleküllerindeki hidrojen bağlarını koparıp suyu buharlaştırmak için fazla miktarda ısıya (sıcak bir günde bizi soğutan teri buharlaştıran enerji) ihtiyaç vardır; hava sıcaklığı yüksekken ısıyı emen ve düşükken salan büyük bir su kitlesine yakınlık, sıcaklık değişimlerini azaltır, yazları görece serin kışlarıysa görece ılık tutar. Bugün su, kıyılarda yaşayanlar için bir rahatlıktan fazlasıdır. Sıcaklık donma noktasının altına düşse bile büyük su kitlelerinin sıvı hâlde kalmasını sağlayan hidrojen bağı etkisidir, çünkü suyun üstündeki buz tabakası battaniye görevi görerek buzun altındaki suyu sıvı hâlde tutar. Yerbilimsel kanıtlara bakınca, bu etki olmasaydı gezegenimiz yaşamsız, donmuş bir buz topu olabilirdi.

Eğer hidrojen bağı olmasaydı, dünyada elbette sıvı su olmazdı. Ancak kısa bir süreliğine sıvı hâldeki suyun hidrojen bağına ihtiyaç duymayacağı kadar soğuk bir gezegen düşünelim. Buzun oluşacağı kadar soğusaydı ne olurdu? Sıvı hâldeki sudan daha yoğun olan buz okyanusun dibine çökerdi. Bu da okyanusun üst kısımlarını soğuğa maruz bırakır, daha çok suyun donarak dibe çökmesine neden olurdu. Bir süre sonra tüm okyanus ya da göl buz tutardı. Gezegendeki bütün suya aynısı olurdu. Böyle bir gezegenin buzunu çözmek çok zor olurdu, çünkü buzun parlak beyaz yüzeyi gelen güneş ışınlarını geri yansıtırdı.

Böyle bir durumda bizimki gibi bir yaşam var olamazdı. Hidrojen bağının faydalarına rağmen, uzun tarihi boyunca dünya birden fazla “kartopu” evresinden geçti.

Kayalardaki izler ve okyanuslarda depolanmış tortulardan gelen yerbilimsel kanıtlar, dünyanın 2,5 milyar yıl önce tamamen donduğunu, 600 ila 700 milyon civarı yıl önce de tekrar donduğunu gösteriyor. Benzer başka olaylar da yaşanmış olabilir, ancak onların kanıtları bir kesinlik sunmuyor. Varsayımlar, dev volkan patlamalarından çıkan malzemenin atmosfere çıkarak güneş ışığının yüzeye ulaşmasını engellemesinden, uzayda asteroidlerin çarpışmalarından yayılan tozun güneş sisteminin içlerine gelerek bir güneş kalkanı meydana getirmesine kadar çeşitleniyor. Ancak burada önemli olan nokta şudur; böyle büyük bir donma olduğunda, gezegenin parlak yüzeyinin yansıtıcılığı yüzünden onun çözülmesi zorlaşır. Aslında parlak buz, kartopu dünyanın görünüşünün iyi bir resmi değildir. O öyle soğur ki, küçük buz kristalleri kuru atmosferde oluşup, elmas tozu gibi parladıkları yüzeye düşerler.

Böyle bir durumun sonu hiç kuşkusuz havada karbondioksit birikmesiyle gelir, gezegen sera etkisiyle ısınır. Dünyada şu an var olan koşullarda, sera gazları volkanlardan salınır, ancak karbondioksit suda çözünüp, kimyasal tepkimelerin karbondioksidi alıp kireç taşına çevirmek için kullandığı kayaların içlerine sızar. Bu aşınma süreci işleri dengede tutar. Eğer gezegen biraz ısınırsa, okyanuslar daha fazla buharlaşır, dolayısıyla daha çok yağmur ve aşınma olur, bu da havadan karbondioksit çekerken sera etkisini azaltıp dünyayı soğutur. Dünya biraz soğuduğunda tersi olur. İnsan eylemleri bu dengeyi bozmaktadır, ancak biz yokken bu denge dünyanın sıcaklığını milyonlarca yıl gibi görece dar bir aralıkta karar-

lı tutabildi, özellikle de suya sıradışı özelliklerini veren hidrojen bağı sayesinde.

Kartopu evresi boyunca, dünya ekvatorda bugün Antarktika'nın merkezi kadar soğukken, aslında hiç aşınma olmaz, o yüzden karbondioksit sıcaklıkların artıp çözülmenin başlamasına kadar birikebilir. Buz çekildikçe koyu yüzey belirir, güneşin sıcaklığını emer, sıcaklığı daha da artırır. Ancak yerbilimcilerin kestirimlerine göre, on milyonlarca yıl süren kartopu evresinden sonra, büyük çözülmenin tamamlanması birkaç milyon yıl sürer. Böyle çözümler varoluşumuzda önemli bir etmen olabilir.

Dünyanın 2,5 milyar önceki kartopu evresi, dünyadaki yaşamın tarihindeki çok önemli bir gelişmeyle çakışır, eğer bu sözcüğü kullanabilirsek. Dünya tam da ısınırken, karbonu yiyecek olarak kullanıp fotosentez yoluyla oksijen salabilmek üzere evrim geçirmiş, siyanobakteri denilen tek hücreli ilk canlılarca, havaya muazzam miktarda oksijen salındı. İki türlü bir evrimsel avantajdı bu. Önceki organizmalar için oksijen enerji harcayarak zararsız bileşikler olarak uzaklaştırılması gereken bir zehirdi. Yeni türler oksijenle yaşayabilip enerji harcamakla kalmadı, aynı zamanda oksijen salarak tüm rakiplerini de zehirledi. Bunun fiziksel ortam üzerindeki etkisi aynı derece de çarpıcıydı. Havadaki ve okyanustaki serbest oksijen demir bileşiklerle dünyanın her yerindeki kayalarda görülen ve "damarlı demir oluşumu olarak bilinen muazzam miktardaki demir oksit birikintilerini oluşturmak üzere tepkimeye girdi. Dünya kartopu durumundan çıkarken fotosentez yapan yaşam sayesinde paslandı da. Büyük bir evrimsel sıçramanın, dünya ısınırken kartopu dünyada sağ kalan ne varsa ondan yaşamın fişkırmasıyla gerçekleşmesi gerçekten bir tesadüf müdür? Muhtemelen değil, yine de bunu asla bilemeyebiliriz.

Yaşamın, en yakın zamanlı kartopu evresinin sonunda gezegenimizde nasıl bir anda çoğaldığına ve çözülmenin evrime hız verdiğine yönelik çok daha iyi bir kavrayışımız ve ikna edici kanıtlarımız var.

Çevresel gerilme, başarılı türleri öldürürken kalanların (geriye kalanlar olduğunu varsayarak) adapte olup onların yerini alması yoluyla evrimi hızlandırabilir. Bunun tipik örneği, dinazorların 65 milyon kadar yıl önce ölmesidir; geride ekolojik nişleri, memelilerin onları doldurup adapte olarak, sonunda bizi meydana getirmesi için bırakmıştır. Ancak dinazorların kendileri de zaten yaklaşık 600 milyon yıl önce olanlar nedeniyle orada bulunuyorlardı.

Yaşam sudan karaya çıkmadan önceydi bu, öyleyse kartopundan sağ çıkan türler seyrek bulunan sıcak yerlerde olmalı, belki de (Darwin'in sıcak göletini akla getiren) birikintilerde, sıvı suyun olduğu volkanik bölgelere yakın. Bu sağ kalanlar içinde bakteriler ve algler gibi daha büyük tek hücreli organizmalar da vardı. Tüm bunların olduğu zamanlarda, sünger benzeri ilk çok hücreli yaratıklar evrimleşti. İşte bu tam da etraftan soyutlanmış sıcak bir gölette, rakiplere yem olma riski pek fazla olmadan yeni "fikirlerin" denenmesini bekleyebileceğiniz bir gelişmedir. Ancak çözülmeden hemen sonra işler ilginç bir hâl aldı. Yaklaşık 570 milyon yıl önce, öyle çarpıcı bir çok hücreli yaşam artışı vardı ki, o dönem Kambriyen denilen yeni bir yerbilimsel dönemin başlangıcını belirtmek için kullanıldı. Sıklıkla "Kambriyen patlaması" da denir. Çok hücreli yaşamın evrimsel avantajı karmaşık yaşamın yayılmasına izin verdiğinden, bu dönemde okyanuslarda büyük çeşitlilikle evrim geçirdiler. Kambriyenden önceki her şey yerbilimcilerce Kambriyen-öncesinde toplandı, yani 3,5 milyar kadar yıllık, yaşamın yalnızca tek hücreli organizmalarca temsil edildiği bir dünya tarihi. Kambri-

yen patlamasından beri geçen birkaç milyon yüzyıl, sudan karaya çıkıp dinozorlara, meşe ağaçlarına, orkidelere ve bize kadar çeşitlilikte şeyler meydana getiren yaşamla birlikte, biz çok hücreli canlıların önemli saydığı hemen hemen her şeyi içerir. Onların hepsiye dünyanın en sonuncu kartopu durumundan çıkmasıyla başladı.

Tüm bunlardan anlaşılması gereken iki şey var. İlki, hidrojen bağının insan bakış açısından bakınca, bilimin en önemli dayanağı olmasıdır. Yaşamın moleküllerinden ve kelimenin tam anlamıyla yaşamın suyundan sorumludur. İkinci anlaşılması gerekense, yaşamın kartopu dönemleri gibi şeylerden önemli ölçüde etkilenmesidir. 600 ila 700 milyon yıl önceki kartopu evresi ve onu takip eden Kambriyen patlaması olmasaydı biz burada olamazdık. Ancak yaşamın dünya gibi bir gezegende nasıl oluştuğunun hikâyesinin tek düğüm noktası bu değil.

SONSÖZ

DÜĞÜM NOKTASI: BELKİ DE YALNIZIZ

Bilimin yedi dayanağı evrendeki yerimiz hakkında bize ne söyleyebilir? Dünyada yaşamın başlamasına yol açan adımlar açık; evrende yaşamın yaygın olduğunu gösterir. Ancak bizim gibi yaşam formlarının, yani teknolojik medeniyetleri olan zeki yaratıkların, durumu çok daha az açıktır. Teknolojik yeterlilik önemlidir. Pek çok kriter göz önüne alındığında, balinalar ve yunuslar da bizim kadar zekidir, ancak radyo teleskoplar ya da uzay gemileri yapmazlar; eğer evrendeki diğer zeki yaşamlarla iletişim kuracaksak, böyle bir teknolojiye sahip yaratıklarla olacak. Buradan başlayarak, yeterliliği olmayan zeki yaşama atıfta bulunduğumda öyle bir yaşamı kastedeceğim. O hâlde, neden “yalnızca” yunuslarla balinalar, kelebeklerle meşe ağaçları değil de, *biz* buradayız?

Elimizde böylesi bir zeki yaşama sahip tek bir gezegen varken genelleştirme yapmak akıllıca değildir. Ancak ben yine de yapacağım. Varoluşumuzun çarpıcı özelliklerinden biri ortaya çıkmamıza kadar geçen süredir, hem evrenin hem de dünyanın yaşı düşünüldüğünde. Güneş sistemimiz 4,5 milyar yıl kadar önce meydana geldi, evrenin Büyük Patlamadan ortaya çıkmasından yaklaşık 9 milyar yıl sonra. Güneşin ve onun komşusu yıldız ailele-

rinin bu kadar geç ortaya çıkmasının bir nedeni var. İlk yıldızlar yalnızca hidrojenden ve helyumdan oluşuyordu, onlarla ilişkili gezegenleri oluşturabilecek ağır elementler yoktu. Güneş sisteminde az bir kısmını bulduğumuz, içinde güneş sistemi ve gezegenlerin olduğu bulutta ağır elementlerin meydana gelmesinden önce bile, yıldız nesillerinin ömürlerini tüketip onları yıldızlararası uzaya yayması gerekti. Gökbilimciler, yıldızların evrim geçirme biçimlerine ilişkin kavrayışlarını ve uzayda bizim adımız olan Samanyolu'ndan gözlemlerini kullanıp hesaplamalar yaparak, bir "Yaşama Elverişli Gökada Alanı" ya da YEGA [Galactic Habitable Zone (GHZ)] tanımladılar.

Güneş, Samanyolu galaksisi denilen, disk biçimli bir yıldızlar topluluğunun parçasıdır olup yaklaşık 100.000 ışık yılı genişliğinde ve 100 ışık yılı kalınlığındadır. Samanyolu'nun merkezine doğru, görece birbirine yakın pek çok yıldız vardır, onların bazıları süpernova ya da kilonova olarak patlar. Böylelikle bolca ağır element üretilip, sonraki nesil yıldızların etrafında onlardan gezegenler meydana gelebilir, ancak bu patlamalarda ortaya çıkan radyasyon yaşam için son derece zararlıdır. Galaksinin merkezinden biraz daha ötede daha az yıldız ve ağır elementlerin oluşumu için daha az fırsat vardır. Ancak Samanyolu'nun merkezinden kabaca 26.000 ışık yılı açıkta, yaklaşık 5 milyar yıl önce, ağır elementler güneş sisteminde gördüğümüz yoğunluklarda üretildi ve güneş gibi yıldızlar meydana gelebildi. İşte biz bu YEGA'nın merkezine yakınız.

Daha önce de gördüğümüz gibi, dünya oluşur oluşmaz yaşam neredeyse saygısız bir acelelilikle işe koyuldu. Ancak 3 milyar yıldan uzun bir süre boyunca, bu yalnızca tek hücreli organizmaların suda yaşamasından ibaretti. Bundan çıkarılacak bir sonuç, dünya-benzeri gezegenler

kozmetik olarak yanıbaşımızda olsalar bile, bulunabilecek tek yaşam türü bu cinstendir. Çok hücreli yaşamın ortaya çıkışı ve kara parçalarının işgali kaçınılmaz mıydı? Yoksa böyle gelişmeleri tetikleyen özel bir olay, yani kartopu dünya evresi gibi bir şeye mi ihtiyaç duydu?

Yaşama Elverişli Gökada Alanı gibi, bir Yaşama Elverişli Yıldız Alanı ya da YEYA [Stellar Habitable Zone (SHZ)] da vardır, bir yıldızın etrafında yaşam formlarının var olabileceği alan olarak tanımlanır. En basit hâliyle, bu bölge gezegenin yüzey sıcaklığının 0 °C ila 100 °C arasında bir aralıkta olduğu, böylelikle hidrojen bağı sayesinde suyun sıvı olarak varolabileceği bölge olarak tanımlanır. Daha önce de vurguladığım gibi, dünyadan güneşe doğru gidildiğinde bir sonraki gezegen olan Venüs, dünya benzeri olmak için birincil aday olsa da, bunun için fazla sıcaktır. Güneşten öteye doğru giderken dünyadan bir sonraki gezegen Mars ise bugün çok soğuktur, bir zamanlar atmosferi yeterince kalın olup da sera etkisi yüzey sıcaklığını bu kritik aralığa getirebilmiş olma olasılığı olsa da. Kısmen kütleçekimi zayıf küçük bir gezegen olmasından dolayı, maalesef atmosferinin çoğunu kaybetti. Bu da gökbilimcileri o çok sevdikleri kısaltmalardan başka biri olan YEDA'yı, yani Yaşama Elverişli Devamlı Alan'ı [Continuously Habitable Zone (CHZ)] tanımlamaya sevk etti. Dünya, güneşin YEDA'sının neredeyse tam ortasında yer alır, ki o alanın sınırları güneşe bizim bulunduğumuz uzaklığın yalnızca yüzde 5'i kadar yakın ve yüzde 1'i kadar uzakta bulunur. Dünyada bizim gibi zeki yaşamın ortaya çıkışının ne kadar uzun sürdüğünü düşününce, burada öne çıkan nokta bir gezegenin teknolojik medeniyetler ortaya çıkarabilmesi gerçekten de devamlı olarak, en azından milyarlarca yıl boyunca, yaşama elverişli olmasıdır. Mars'ta herhangi bir yaşam var oluyorsa bile,

bizim gibi yaratıklar olarak evrimleşmeye zamanları olmadı. İşte bunlar, başka yıldızların etrafında yörüngede dolanan yeni keşfedilmiş gezegenlere ilişkin manşetten verilen haberlerin coşkusu karşısında insanı düşünmeye iten noktalar.

O gezegenlerin bulunduğu yörüngeler de güneş sisteminin sıradışı olduğunu düşündürür. "Bizim" gezegenler güneş etrafında kabaca çember şeklindeki yörüngelerde dolanır ve birbirlerinin üzerinde bir etkileri olmayacak kadar uzaktadırlar. Başka gezegen sistemlerinde yörüngeler daha eliptik olma eğilimindedir; bu kural güneş sistemimizin en büyük gezegeni olan Jüpiter gibi, [büyüklükleri dolayısıyla] araştırılması daha kolay olan gezegenler için özellikle daha iyi işler. Gezegenlerin böyle yörüngelere girmesini anlamak kolaydır, onlar için oluşturması doğal olan budur. Anlaşılması zor olan güneş sistemimizdeki gezegenlerin şu anki düzgün çember yörüngelerine nasıl girdikleridir, gökbilimciler bu konuda hâlâ bir sonuca varmış değiller. Ancak gerçek bu, gezegenler böyle düzenli yörüngelerde. Jüpiter'in, önemli ölçüde eliptik bir yörüngeye sahip olması durumunda yaşanacak kaosu tahmin edebilirsiniz, belki her bir yörüngede dünyanın güneşe şimdiki uzaklığı kadar yaklaşıp, Satürn'ün bugünkü uzaklığı kadar uzaklaşabilirdi. Bu durumda Jüpiter'in kütleçekimi tüm iç gezegenlerin yörüngelerini bozardı, elbette onlar da devamlı olarak yaşama elverişli kalamazdı. Öte yandan, şimdi bulunduğu yörüngede Jüpiter, güneş sistemini dengeleyen ve dünyayı yaşama elverişli hâlde tutan, iyiliksever bir etkiye görünüyor.

Dünyadan 300 kat daha ağır olan Jüpiter'in öylesine güçlü bir kütleçekimi vardır ki güneş sisteminin evriminde önemli rol oynamıştır. Başlangıçta, gezegenlerin oluşumundan geriye kalan kozmik molozun yörüngeleri-

ni bozarak, 4. Dayanak'ta sözünü ettiğim Geç Dönem Ağır Bombardıman ile sonuçlanan sürece dâhil olmuştur. Kalıntıların çoğu temizlendiğinde, geriye kalanlar Jüpiter tarafından, asteroid kuşağı denilen, Mars ile Jüpiter arasındaki çember sayılabilecek yörüngelere çekildi, çoğunlukla da hâlâ oradalar. Ancak, güneş sisteminin dış kısımlarında gezegenlerin yörüngelerinin ötesinde kalan, buzla kaplı kaya formunda başka kalıntılar da vardı. Bu bölge, büyük gezegenleri geçip güneş sisteminin içlerine girerek hızlıca güneşin etrafından geçen, o sırada güneşin ısısıyla buharlaşan buzul madde sayesinde parlak kuyruklar uzatan kuyruklu yıldızların kaynağıdır. Jüpiter aynı zamanda, dünyanın yakınından geçme, hatta gezegenimize çarpma olasılığı olan bu cisimlerin çoğunu da yakalar. Bunun bir örneği, güneş sisteminin içlerine doğru gelen Shoemaker-Levy 9 isimli bir kuyruklu yıldızın Jüpiter'in kütleçekimiyle parçalanıp, parçaların bu dev gezegenle çarpıştığı 1994 Temmuz'unda görkemli biçimde gösterildi.

Jüpiter kozmik molozun çoğunu süpürse bile, onların bazıları güneş sisteminin içlerine girmeyi başarır. Yerbilimsel kanıta göre, her yüz milyon yılda bir dünyaya en az 10 km genişliğinde bir cisim çarpmakta. Bu, gezegenimize 65 milyon önce çarpıp, dinazorların ölümü de dâhil olmak üzere dünyada muazzam bir soy tüketimine neden olmuş çarpmayla yaklaşık olarak aynı büyüklükte bir çarpmadır. O felaketten geriye kalan çetin savaşçıların teknolojik medeniyetimize evrimleşmesi için geçti onca zaman. Jüpiter bizi böyle olaylarda korumasaydı, böyle bir çarpma aşağı yukarı her 10.000 yılda bir yaşanırdı. Böylesine kısa bir zamanda zekânın gelişmesinin, karadaki karmaşık yaşam hayatta kalsa bile, hiçbir olanağı olmazdı.



Shoemaker-Levy 9 isimli kuyruklu yıldızın Jüpiter ile
çarpmasının temsili bir resmi.
201010 Ltd/Bilim Fotoğrafları Arşivi

Dünyadaki yaşama yönelen tehdit sadece dışarıdan değil, aynı zamanda gezegenimizin kendisindendir de. Yaklaşık 250 milyon yıl önce, dünya volkanik bir olay (olay demek büyüklüğünü anlatmaya yetmez!) yaşadı, kabaca bir milyon sürdü, fışkıran lavlar Sibirya Trapları olarak bilinen kayaları, adından da anlaşıldığı gibi Sibirya boyunca meydana getirdi. Bu olay ve onun atmosfere ve gezegenin iklimine olan etkisi o zamanlarda yaşayan türlerin yaklaşık yüzde 90'ının soyunun tükenmesine neden oldu, yerbilimsel zamandaki Permien Devrinin bitimine ve Trias Devrinin başlangıcına yol açtı.

Daha yakın bir yerbilimsel geçmişte, daha küçük ölçekli süpervolkanların kanıtları da var. Buna bir örnek 70.000 yıl önce Endonezya'daki Toba Gölünü meydana getiren bir patlamadır. Geçmiş 25 milyon içinde bilinen en büyük volkanik patlamadır bu. Hint altkıtasının tamamını 15 cm kalınlığında bir kül tabakasıyla kaplamıştır ve tüm o malzemeyle patlamada açığa çıkan gazların iklim üzerindeki etkisi de sarsıcı olmuş olmalı. Çevresel değişimlerin de elbette atalarımız üzerinde etkisi var. DNA kanıtlarına göre, Endonezya'daki patlamanın olduğu zamanlarda gezegendeki toplam insan nüfusu yaklaşık bin kişiye düştü. Bunu tekrar etmek gerek. Dünyadaki toplam insan nüfusu, belki yalnızca birkaç yüz çift, Doğu Afrika'nın yalıtılmış küçük bir bölgesinde bu felaketten sağ çıktı. Bu öylesine küçük bir sayı ki, böylesine kırılgan, yalıtılmış bir toplulukta varolan herhangi bir tür bugün resmi olarak soyu tükenme tehlikesi altında sayılırdı. Biz bundan güç kurtulduk.

Bunun son 25 milyon yıl içindeki en büyük volkanik patlama olması ve bundan sağ çıkmış olmamız bilgisiyle içinizi rahatlatıyor olabilirsiniz. Yakın zamanda bir başkası yaşanamaz ya? Tekrar düşünün. Amerika Birleşik

Devletleri'ndeki Yellowstone Milli Parkının altındaki tüm alanın patlamayı bekleyen, böyle bir süpervolkan olduğu biliniyor. Önünde sonunda patlayacak; yapabileceğimiz tek şey gelecekte yaşanmasını ummak.

Çıkarılması gereken ders açık. Dünya, kimi kendinden kimi dışarıdan kaynaklanan, sürekli tekrarlanan felaketlerle karşı karşıya, kaldı ki "sıradan" buz devri olaylarından henüz bahsetmedim bile. Gezegenimizde, felaketler arasında teknolojik bir medeniyetin gelişmesine tam olarak yetecek kadar bir zaman yaşandı, ancak yalnızca o kadar. Gezegenimizin bu konuda özellikle şanslı olduğuna ilişkin kanıtlar da var. Güneş sistemi, dünya gibi gezegenleri oluşturmak için doğru zamanda Samanyolu'nun doğru yerindeydi ve güneş sistemimizdeki gezegenlerin sıradışı düzenlenişi, özellikle de Jüpiter'in yararlı etkisi, felaketler arasındaki aralığı olağandışı biçimde uzattı. Peki bu, evrende yaşam yaygın olsa da, bizim gibi zeki yaşamın seyrek ve Bruno'nun haksız olduğu anlamına mı geliyor? Bunun kararını size bırakıyorum, ancak benim kişisel düşüncem şu: Muhtemelen yalnızız.

OKUMA ÖNERİLERİ

Herkes için

Richard Feynman, *Six Easy Pieces*, Basic Books, New York, gözden geçirilmiş baskı, 2011. [Richard Feynman, *Altı Kolay Parça* (çev. Zekeriya Aydın), Alfa Yayınları, 2. Baskı, 2019.]

Steven Weinberg, *The First Three Minutes*, Basic Books, New York, gözden geçirilmiş baskı, 2019. [Steven Weinberg, *İlk Üç Dakika* (çev. Zekeriya Aydın, Zeki Aslan), Kırmızı Kedi Yayınları, 1. Baskı, 2014.]

John Gribbin, *Stardust*, Penguin, Londra, 2009.

Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation*, Cape, Londra, 1979.

James Lovelock, *Gaia*, Oxford Üniversitesi Yayınları, yeni baskı, 2016. [James Lovelock, *Gaia* (çev. Ozan Karakaş), Alfa Yayınları, 1. Baskı, 2017.]

Biraz daha zor

Alexander Oparin, *The Origin of Life*, Dover, New York, gözden geçirilmiş baskı, 1953.

Linus Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, Oxford Üniversitesi Yayınları, gözden geçirilmiş baskı, 1960.

Erwin Schrödinger, *What is Life?*, Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1944 (tekrar basım, 1967) [Erwin Schrödinger, *Yaşam Nedir?* (çev. Mehmet Doğan), Pan Yayınları, 3. Baskı, 2020.]

Ön bilgi gerektiren

Selected Genetic Papers of J.B.S. Haldane, Routledge, Londra, 1990 baskısının tekrar basımı, 2015; Kindle versiyonu da mevcut.

Eğlenceli

Fred Hoyle, *The Black Cloud*, Penguin Classics edition, 2010.*

* Türkçede Kara Bulut adıyla 1957'de yayımlandığı bilgisine ulaşılsa da, yayıncı ve çeviri bilgileri bulunamadı –çn.