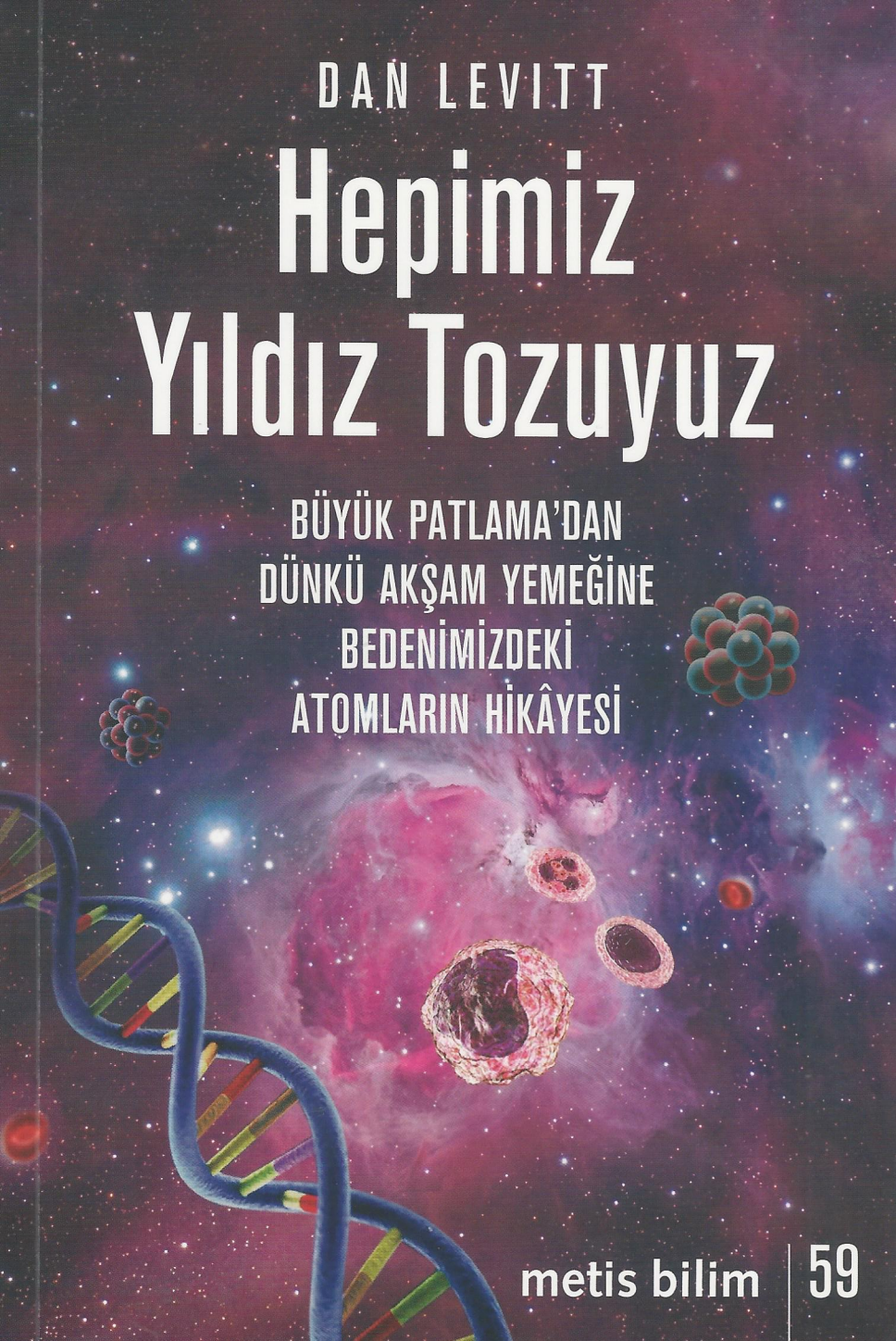
DAN LEVITT

Hepimiz Yıldız Tozuyuz

BÜYÜK PATLAMA'DAN DÜNKÜ AKŞAM YEMEĞİNE BEDENİMİZDEKİ ATOMLARIN HİKÂYESİ



metis bilim | 59

DAN LEVITT

Hepimiz Yıldız Tozuyuz

ABD'li bilim yazarı ve belgeselci Dan Levitt 1958 yılında Philadelphia'da doğdu. Swathmore College'da bilişsel psikoloji okuyan Levitt yirmi beş yılı aşkın bir süre National Geographic, Discovery, Science, History, PBS gibi televizyon kanalları ve Howard Hughes Tıp Enstitüsü gibi kuruluşlar için ödüllü bilim ve tarih belgesellerinin metin yazarlığını, yapımcılığını ve yönetmenliğini yaptı. Film konuları arasında Galileo, Newton, Einstein ve Hawking'in en büyük keşiflerini nasıl yaptıkları; dinozor evrimi üzerine yeni bir kuram; dünyadışı yaşam konusundaki bilimsel araştırmalar; biliminsanlarının Malezya'nın ölümcül Nipah virüsünün kökenini bulmaya yönelik çalışmaları sayılabilir. Levitt eşi ve iki çocuğuyla birlikte Cambridge'de yaşıyor.

Metis Yayınları
İpek Sokak 5, 34433 Beyoğlu, İstanbul
e-posta: info@metiskitap.com
www.metiskitap.com
Yayınevi Sertifika No: 43544

Hepimiz Yıldız Tozuyuz
Büyük Patlama'dan
Dünkü Akşam Yemeğine
Bedenimizdeki Atomların Hikâyesi
Dan Levitt

İngilizce Basımı:
What's Gotten Into You
The Story of Your Body's Atoms,
from the Big Bang Through Last Night's Dinner
Dan Levitt
Harper Collins, 2023

© Dan Levitt, 2023
© Metis Yayınları, 2024
Çeviri Eser © Sevkan Uzel, 2024

İlk Basım: Ocak 2025

Yayıma Hazırlayan: Özde Duygu Gürkan

Kapak Tasarımı: Emine Bora

Dizgi ve Baskı Öncesi Hazırlık: Metis Yayıncılık Ltd.
Baskı ve Cilt: Yaylacık Matbaacılık Ltd.
Fatih Sanayi Sitesi No. 12/197 Topkapı, İstanbul
Matbaa Sertifika No: 44865

ISBN-13: 978-605-316-406-7

Eserin bütünüyle ya da kısmen fotokopisinin çekilmesi, mekanik ya da elektronik araçlarla çoğaltılması, kopyalanarak internette ya da herhangi bir veri saklama cihazında bulundurulması, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'nun hükümlerine aykırıdır ve hak sahiplerinin maddi ve manevi haklarının çiğnenmesi anlamına geldiği için suç oluşturmaktadır.

DAN LEVITT

Hepimiz Yıldız Tozuyuz

BÜYÜK PATLAMA'DAN DÜNKÜ AKŞAM YEMEĞİNE BEDENİMİZDEKİ ATOMLARIN HİKÂYESİ

Çeviren: Sevkan Uzel

metis

Ariadne, Zoe ve Eli'ye
ve annem Lore ile babam Dave'e

Bizler, on beş milyar yıllık kozmik evrim süresi
verildiğinde hidrojen atomlarının
neler yapabileceğinin bir örneğiyiz.*

Carl Sagan

* Aktaran J. Cott.

İÇİNDEKİLER

Giriş: Hesabınızda 1942,29 Dolar Var 13

I. MACERA BAŞLIYOR

1 Doğum Gününüz Kutlu Olsun:
Zamanın Başlangıcını Keşfeden Papaz 19

2 "Ne Tuhaf": Gözün Asla Göremeyeceği Şeyler 31

3 Harvard'ın En Başarılı Adamı:
Yıldızları Görme Şeklimizi Değiştiren Kadın 53

4 Şükredilecek Felaketler:
Kütleçekim ve Tozdan Bir Dünya Yaratmak 70

II. YAŞAM BAŞLASIN!

5 Tozlu Kartopları ve Uzay Kayaları:
Tüm Zamanların En Büyük Tufanı 91

6 En Meşhur Deney: Yaşamsal Moleküllerin
Kökeninin Peşinde 112

7 En Büyük Gizem: İlk Hücrelerin Muammalı Kökeni 137

III. GÜNEŞ IŞIĞINDAN TABAKLARIMIZA

8 Işıkla Gelen Güç: Fotosentezin Keşfi 163

9 Şans Yaver Gidince: Okyanus Köpüğünden
Yeşil Gezegene 189

10 Tohumlar Ekiliyor: Bitkiler ve Yoldaşları
Varoluşumuzu Nasıl Mümkün Kıldı 218

IV. ATOMLARDAN BİZE

11 Her Şey Onlara Bağlı: Yaşamak İçin Ne Yemek Lazım? 245

12 Göz Önünde Saklı: Genetik Tasarımımızın Keşfi 275

13 Elementler ve Diğer Şeyler: İçimizde Gerçekten Ne Var? 307

Sonuç: Ne Kadar da Uzun ve Acayip Bir Yolculuk Oldu 332

Teşekkür 343

Notlar 345

Kaynakça 367

Dizin 389

Giriş

Hesabınızda 1942,29 Dolar Var

BENİ BU KİTABI YAZMAYA İTEN, seneler önce bana verilen bir öğüttü. Ergenlik çağındaki kızım vejetaryen olmaya karar verdiğinde, büyükbabamın yaptığı bir uyarı aklıma geldi. Eskiden ufak bir avcı kulübesi olan ve doksan yaşında hâlâ avlanma merakı süren büyükbabam, et yememenin sağlıksız olduğunu söylemişti bana. Sonra Henry David Thoreau'nun da bir keresinde bir çiftçiden benzer bir nasihat işitmiş olduğunu anımsadım: "Sırf sebze yiyerek yaşayamazsın, vücudun sebzeyle kemik yapamaz." Thoreau'nun hafif alaycı bir tonla belirttiği üzere, çiftçi bunu söylerken, "her türlü engeli aşarak onu ve koskoca sabanını ... sebzeden yapılma kemikleriyle çeken" güçlü kuvvetli öküzlerin arkasında durmaktaymış.

Dolayısıyla kızım niyetinden söz ettiğinde anlayışla karşıladım. Vejetaryen olursa vücudunun büyük bir tehlike altında olmayacağını biliyordum. Fakat şunu merak etmeye başladım: Biz tam olarak *nelerden* oluşuyoruz? Üniversitede bilim alanında eğitim görmüştüm ve yıllarca bilim belgeselleri çekmiştim. Epey bir şey bildiğimi düşünürdüm. Ama fark ettim ki, *kendimi* oluşturan şeyler konusundaki bilgim, bilgisayarımın veya arabamın içindekiler hakkında bildiklerimden çok daha az. Böylece sorular sormaya başladım. İçimizde *ne* var? Bu sorunun cevabı kolay görünüyor: kaslar, kemikler, organlar. Bunlar nelerden oluşur? Hücreler, moleküller, atomlar. Devam edelim... *Onlar* nelerden oluşur? Hmm. Bunu söylemek zor. Peki nereden geldiler? Emin değilim. Bildiklerimizi nasıl biliyoruz? Hiçbir fikrim yok.

Aklımdaki bu soruların tetiklemesiyle başlayan internet aramaları, okumalar ve son derece sabırlı biliminsanlarıyla yaptığım söyleşiler eşliğinde, çok geçmeden kendimi destansı bir öykünün büyüsüne kapılmış buldum. Şunu keşfettim: Atomlarımız öyle çok şey görmüş geçirmişti ki, konuşmaya bir başlasalar herhalde hiç susmazlardı. Onların tarihi, zamanın başladığı noktada başlıyordu. Milyarlarca yıldır süren maceralı yolculukları şaşırtıcı, hatta şok edici keşifler sayesinde gözler önüne serilmişti.

Yaptığım araştırmalar zamanla daha da derinleşti. Bazı temalar ve bağlantılar belirdi. Geçmişin derinliklerine bakmanın, önceden hiç farkında olmadığım bir şekilde varoluşumuzun görkemini gün yüzüne çıkardığını anladım. Carl Sagan'ın dediği gibi, bizler yıldızların malzemesinden yapıldık.

Şimdi size bunun kulağa inanılmaz gelen hikâyesini anlatacağım.

Hikâyemiz, var olan tüm maddenin –çevremizdeki ve içimizdeki her şeyin– nihai bir doğum günü olduğu yönündeki çok acayip keşifle başlıyor: evrenin doğduğu gün. Sonra atomlarımızın bize varan uzun ve ilginç yolculukları sırasında nasıl yıldıza dönüştüklerini, gezegenimizin biçimlenmesini nasıl sağladıklarını, ardından yeni doğmuş Dünya hayal bile edilemeyecek felaketlere göğüs gererken kendilerine nasıl sığınak bulduklarını göreceğiz. Ortalık biraz yatıştıktan sonra, bu cansız atomlar hayret verici şekillerde birleşerek canlılığı yarattı, gezegeni yaşanabilir kıldı ve bitkileri meydana getirdi. Bu sayede, nihayet bizim de ortaya çıkmamız mümkün oldu.

Son olarak, bedenlerimizin soframızdaki yiyecekleri nasıl bize dönüştürdüğünü göreceğiz. Tabii şunu unutmamak lazım: Bizim kendi içimiz o kadar engin ki, gerçekte ne kadar karmaşık olduğumuzu kavramak kolay değil. Her birimiz otuz trilyon hücrelik bir koloniyiz;[1] hücrelerimizin her biri de, itiş kakış titreşerek dans eden yüz trilyonun üzerinde atomdan oluşuyor.[2] Bu açıdan, aslında durmaksızın değişen birer mozaik gibiyiz. Her birimiz yeryüzündeki çöllerin tümünde bulunan kum tanelerinin sayısından bir milyar kat fazla atom içeriyoruz.[3] Eğer 70 kg iseniz, 10 kg kömür oluşturacak kadar karbon, bir tuzluğu dolduracak miktarda tuz, birkaç yüzme havuzunu

dezenfekte edecek ölçüde klor ve 7,5 santimlik bir çivi üretmeye yetecek kadar demir taşıyorsunuz demektir. Tüm elementlerinizi listelerseniz, periyodik tablodakilerin altmışa yakınının sizde mevcut olduğunu görürsünüz. Şayet onları satacak olsaydınız, elinize 1942,29 dolar gibi bir para geçerdi (miktara ve piyasa fiyatına bağlı olarak bu meblağ değişebilir).[4]

Bu ilginç hikâyenin izini sürerken anladım ki, atomlarımızın milyarlarca yıllık geçmişini ortaya koyabilmemiz, birkaç damlacık yağmur kalıntısından bir tayfunun geçmişini çıkarabilmek kadar olağanüstü. Ama her yanımız ipuçlarıyla dolu; sadece uzun süredir saklı kalmışlar. Bu ipuçları pek çok yerde bulundu: mesela uzaydan üzerimize yağan görünmez parçacıkların çabucak kaybolan izlerinde, her elementin kendine özgü bir dalga boyu dizisinde ışık yaydığı gerçeğinde, kuyrukluyıldızların yeryüzüne dönüşlerinin beklenmedik takvimlerinde, okyanusların karanlık ve yüksek basınçlı derinliklerinde birçok canlının yaşadığı keşfinde.

Bu sayfalarda yer alan biliminsanlarının hikâyeleri de ortaya koydukları keşifler kadar ilginç. Beklenmedik bulgularının ardında kıran kırana rekabetler, takıntılar, hayal kırıklıkları, ani aydınlanmalar ve safi tesadüfler yatıyor. Yanlış olduğunu herkesin "bildiği" fikirleri savunmaya gönüllü biri çıkana kadar, ipuçları tekrar tekrar gözden kaçırılmış.

Konuyu araştırmaya başladığımda, beynimizin, düşünme biçimimizi bulandırabilen bilinçdışı işleyiş yolları konusunda da bilgi edineceğimi hiç bilmiyordum. Hepimiz dünyayı nasıl gördüğümüzü etkileyen bilinçdışı varsayımlara yenik düşüyoruz; bunlara bilişsel önyargılar/yanlılıklar (*cognitive biases*) ya da düşünce tuzakları adı veriliyor. Örneğin olumsuzluk önyargısı, hoş olmayan olaylara daha fazla dikkat etmemize yol açıyor ve medyanın neden kötü haberlere odaklandığını açıklıyor. İlerleyen sayfalarda, bilim camiasının önüne çok güçlü kanıtlar geldiğinde bile çığır açıcı gelişmelerin farkına varılmasını engelleyen belli başlı birkaç düşünce tuzağı olduğunu göreceğiz. Bu önyargılardan altı tanesine isim taktım çünkü en çok onlarla karşılaşacağız:

- "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısı
- "Mevcut Araçlarımız Saptamadı, Demek ki Yok" önyargısı
- "Bir Uzman Olarak, Hâlâ Bilinmeyen Ne Kadar Çok Şey Olduğunu Gözden Kaçırıyorum" önyargısı
- "Mevcut Kuramımıza Uyan Kanıtları Arama ve Görme" önyargısı
- "Dünyanın En Büyük Uzmanı Haklı Olmalı" önyargısı
- "En Olası Seçenek Gibi Göründüğüne Göre Doğru Olmalı" önyargısı

Önyargılarla dolup taşan bir dünyada, cesurca davranarak alışılmışın dışına çıkan biliminsanları çığır açtı. Bazıları çok ünlü kişiler ama çoğu bilinmiyor. Örneğin atomaltı parçacıkları aramak için ortaklık kuran, biri Yahudi bir fizikçi diğeriyse Nazi olan iki kadın; Avusturya imparatoriçesinin, fotosentezi keşfeden şahsi hekimi; DNA'yı, Watson ile Crick yapısını çözmeden seksen küsur yıl önce keşfeden işitme kayıplı kimyacı; ve sahtekâr bir felaket tellalı olarak görülüp alaya alınan ama nihayetinde hücrelerimize ilişkin kavrayışımızda devrim yaratan muhalif biyokimyacı gibi. Görünüşe bakılırsa, bilimdeki ilerlemeler sık sık karanlık köşelerden, hiç beklenmedik yerlerden ortaya çıkıyor.

Öyleyse gelin, bedenlerimizin bu ilginç tarihinin hikâyesine hep siyah giyen bir adamla başlayalım.

I. KISIM

MACERA BAŞLIYOR

Büyük Patlama'dan Kayalık Yuvamıza Uzanan Süreç

Bu kısımda hayret verici bir gerçeği, içimizdeki tüm parçacıkların tek bir anda doğduğunu öğreneceğiz. Bu parçacıkların hayranlık uyandıran yapılarını keşfedeceğiz, ardından bizi oluşturan elementler haline gelmelerini sağlayan acayip süreçlere bakacağız. Sonra da bir zamanlar devasa bir toz bulutunun içine saçılmış durumda olan atomlarımızın nasıl –beklenmedik bir şekilde– yaşam barındırabilecek bir gezegen yarattığını göreceğiz.

1

Doğum Gününüz Kutlu Olsun

Zamanın Başlangıcını Keşfeden Papaz

Bütün büyük hakikatler, ilk başta
kutsala saygısızlık olarak görülür.[1]

George Bernard Shaw

1931 YILININ soğuk ve Londra için alışılmadık biçimde yağmursuz bir eylül gününde, kısa boylu tıknaz bir adam, geriye taranmış saçları, delici bakışları ve muazzam özgüveniyle Storey's Gate Caddesi'nde yürüyordu. Georges Lemaître adlı otuz yedi yaşındaki bu Belçikalı fizik profesörü, Westminster Abbey yakınlarındaki büyük bir konferans binası olan Central Hall Westminster'a girdi.[2] Binadaki büyük salonun yüksek kubbesi, Britanya Bilimi İlerletme Topluluğu'nun yüzüncü yıldönümü kutlamaları kapsamında verilmekte olan konferanslara ihtişam katıyordu. Lemaître'in o sırada endişeden tamamen azade olduğunu düşünmek zor; ne de olsa, az sonra iki bin kişilik dinleyici kitlesinin karşısına çıkacak ve aralarında dünyanın en saygın fizikçilerinin de olduğu bu kişilere delilik sınırlarında gezen bir kuram sunacaktı.

Lemaître, fizikçi ve matematikçi olmasının yanı sıra bir Katolik papazıydı. Fizikçilerin yeni yeni uğraşmaya başladığı bir konu olan evrenin evrimi hakkındaki bir oturumda konuşma yapacaktı. Üzerindeki beyaz yakalı siyah papaz cüppesiyle, günah çıkarma itiraflarını dinlemeye hazır gibi görünüyordu; ama kürsüye çıktı ve teolojiye tehlikeli ölçüde yaklaşan bir fikir sundu. İddiasına göre, bütün evrenin

minik bir "ilksel atom"dan patlayarak ortaya çıktığı bir an olduğunu keşfetmişti.[3]

Heyecan verici fikirler sunan başka konuşmacılar da olmuştu. Mesela ünlü astronom James Jeans, evrenin sayılı günü kaldığını öne sürmüştü. Matematikçi Ernest Barnes (o da Anglikan piskoposuydu) evrenin muazzam bir genişlikte olduğunu, bu yüzden yaşam barındıran bir sürü başka dünya bulunması ve bazılarında "bizim zihinsel düzeyimizi fazlasıyla aşan" varlıkların yaşıyor olması gerektiğini söylemişti.[4] Ama Lemaître'in kuramı hepsinden daha acayipti. Fiziğin neredeyse tam olarak yaratılış ânını irdeleyebileceği iddiasındaydı.

Dinleyici kitlesinin ileri gelenlerinden çok azı onun sözlerini ciddiye aldı. Bazıları hayrete düşmenin ötesinde, ona büyük bir kuşkuyla baktı. Oradaki fizikçilerin ve astronomların neredeyse tamamı, evrenin hep var olmuş olduğuna inanıyordu. Lemaître'in aksi yöndeki iddiası çok absürd görünüyordu.

O gün farkında değillerdi ama Lemaître'in bu sezgisi bilimdeki gelmiş geçmiş en büyük başarılardan birine kapı aralayacaktı. Kendimiz de dahil olmak üzere her maddeyi oluşturan en temel parçacıkların varlık kazandığı tek bir an olduğu şeklindeki akıllara durgunluk verici keşfe giden ilk adım atılmıştı.

Lemaître'in hakikat arayışı seneler önce, Birinci Dünya Savaşı'nın kana bulanmış siperleri ardında başlamıştı. Savaştan önce Leuven Katolik Üniversitesi'nde öğrenciydi ve maden mühendisi olarak düzgün bir kariyer yapmak niyetindeydi. Fakat 4 Ağustos 1914 sabahı Alman birlikleri Belçika sınırına akın ederek Avrupa'yı savaşa sürükledi. Lemaître ve kardeşinin bisiklet gezisine çıkma planları vardı[5] ama hemen gönüllü askerliğe yazılıp dört gün boyunca yürüyerek ulaştıkları bir cephedeki birliğe katıldılar. İki hafta sonra, eski model tek dolumlu tüfeklerle çatışmaya başladılar.[6]

Lemaître piyade eri olarak, savaşın ilk başarılı zehirli gaz saldırısına tanık olma talihsizliğini de yaşadı. Kimyacı Fritz Haber'in (onunla ilerleyen sayfalarda yine karşılaşacağız) parlak fikri üzerine harekete geçen Kaiser'in ordusu, cepheye klor gazı saldı. Gaz, hiçbir şeyden haberi olmayan askerlerin ciğerlerini eritmeye başladı ve onları savaş meydanından feryatlar içinde çekilmeye zorladı. Lemaître'in

çalışma arkadaşlarından birinin dediği gibi, "olayın dehşeti, belleğinden hiçbir zaman silinmeyecekti".[7] Daha sonra topçu sınıfındayken de o korkunç patlayıcı mermi atışmalarının ortasında kaldı. Aile içinde anlatılanlara bakılırsa, bilimsel eğilimi Lemaître'in terfi etmesine engel teşkil etmişti çünkü amirinin balistik hesaplamalarını düzeltmeden duramıyordu. Bir subaydan beklenenden farklı bir tutum sergiliyordu anlaşılan.[8]

Lemaître savaşa giderken fizik kitaplarını da yanına almıştı. Siper çatışmasının durduğu zamanlarda, top mermilerinin uçmasını beklerken, her nasılsa Fransız fizikçi Henri Poincaré'nin eserlerini okumayı ve gerçekliğin nihai doğası üzerine düşünmeyi başardı.[9] Toz toprak içindeki cephenin sefaletinde, onun kafasında büyük bir soru vardı: Evren en temelde nelerden oluşuyor?[10] Çok dindar bir aileden gelen bu genç adam için savaş ortamında sadece iki avuntu vardı: fizik ve dua.

Lemaître cepheden madalyalı bir gazi olarak döndü; kardeşi de subay olmuştu. Ama savaş, ruhunu dağlamıştı. Dört yıl sonra barış geldiğinde, mühendis olarak çalışacağı bir kariyerde ilerlemek artık ona önemsiz gelmeye başlamıştı. Fakat çok sevdiği iki konu arasında kalmıştı: din ve bilim. Belçika'daki üniversiteye döndüğünde, matematik ve fizik alanında yüksek lisans yaptı. O dönem oldukça heyecan verici bir zamandı. Berlin Üniversitesi'nde Albert Einstein adında cüretkâr bir fizikçi, bir nesnenin kütlesinin aslında etrafındaki uzayı ve zamanı büktüğü şeklinde sıradışı ve oldukça rahatsız edici bir kuramla meslektaşlarının kafasını karıştırmıştı; Lemaître ise büyülenmişti. Ama mezuniyetin ardından birdenbire yön değiştirdi ve gidip ilahiyat okuluna kaydoldu. Sonradan şöyle diyecekti: "Hakikate ermenin iki yolu vardı; ben de ikisini birden izlemeye karar verdim."[11] Lemaître papaz unvanı alır almaz yoksulluk yemini etti. Les Amis de Jésus (İsa'nın Dostları) adındaki, dindarlığın sürekli gelişimini vurgulayan küçük bir dini topluluğa katıldı.[12] Ardından vakit kaybetmeden fiziğe döndü. Okuldaki ileri görüşlü profesörlerin bir kısmı, Aquinolu Tommaso'nun öğretisini takip ederek, kutsal kitabın bilim için hakiki bir rehber olamayacağını öğretiyordu; tıpkı bilimin de dine rehberlik sunamayacak olması gibi.

Lemaître, kardinalinin de desteğiyle, Arthur Eddington'la çalışmak üzere İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'ne gitti. Eddington, dört yıl önceki güneş tutulması yaklaşırken Batı Afrika ve Brezilya kıyılarından yapılacak gözlemleri organize etmiş ve Einstein'ın haklı olduğunu kanıtlayan fotoğraflarla dönmüştü. Başta pek olası görünmese de, ışık Güneş'in yakınından geçerken sahiden de bükülmüştü. Büyük ses getiren bu keşfi dolayısıyla, Eddington kısa süre sonra Sir unvanı alacaktı. Eddington'ın gözlemleri, Einstein'ın öngördüğü gibi kütlenin uzayı ve zamanı büktüğünü kanıtlamış ve iki biliminsanı üne kavuşmuştu. Lemaître görelilik üzerine çalışma yapmak için çıkagelDiğinde, Eddington bu yeni öğrencinin "müthiş zeki ve sezgili" biri olduğunu gördü.[13] Öğrenci o kadar etkileyiciydi ki, İngiltere'de geçirdiği yılın ardından, Eddington ona Harvard Üniversitesi'ndeki arkadaşı Harlow Shapley ile çalışma önerisini sundu. Shapley, galaksimizin büyüklük ölçümünü yapan ilk astronomdu.

Lemaître 1924 yılında, tam da astronomi yeni gözlemlerle çalkalanırken, ABD'nin Massachusetts eyaletindeki Cambridge'e gitti. İki yıl öncesine kadar, çoğu biliminsanı tüm evrenin Samanyolu ile birkaç başka galaksiden ibaret olduğunu düşünüyordu. Hepsi bu kadar olmalıydı çünkü tüm görebildikleri bu kadardı. Ama 1922'de, Kaliforniya'daki Wilson Dağı Gözlemevi'nden Edwin Hubble onları şok etmişti. Gözlemlerini dünyanın o zamanki en güçlü teleskobuyla yapmakta olan Hubble, evrenin çok ama çok daha büyük olduğunu keşfetmişti. Akla hayale sığmayacak kadar fazla sayıda galaksi vardı evrende; *New York Times* gazetesi, her birinin bizimkine benzeyen bir "ada evren" olduğunu duyurdu.[14] Evrenin ufacık bir köşesinde yaşadığımızı fark etmek insanı alçakgönüllülüğe sevk eden bir deneyimdi; evren hakkında öğrenilecek daha bir sürü şey olduğunu bilmekse heyecan vericiydi. Sanki astronomlara bankadan şöyle bir haber gelmişti: "Kusura bakmayın, bir hata olmuş. Hesabınızda 500 dolar değil, 500 trilyon dolar varmış."

Lemaître, bu uçsuz bucaksız yeni evreni anlamlandırmaya çalışan astronomların hararetli tartışmalarına daldı. Bazı astronomların yaptığı son ölçümler, tuhaf bir şekilde, yeni keşfedilen galaksilerin sabit durmadığını gösteriyor gibiydi.[15] Uzaklaşıyorlardı. Daha da kafa ka-

rıştırıcı olanı, en uzağımızdaki galaksilerin en yakınımızdakilerden daha hızlı uzaklaşmasıydı.

Lemaître'in merakı uyanmıştı. Eski üniversitesinde ders vermeye başlamak için Belçika'ya döndü ve orada, bu garip duruma dair bir tahminde bulunup bulunmadığını görmek amacıyla Einstein'ın denklemlerini derinlemesine incelemeye koyuldu. Sonunda huzursuz edici bir çözüme ulaştı. Çözüm, galaksilerin uzaklaşmasının ötesinde, evrenin kendisinin büyümekte olduğuna işaret ediyordu. Bu en hafif tabirle acayipti; belki de bilimde ortaya atılmış fikirlerin en tuhaflarından biriydi. Üstelik Lemaître'in dediğine göre, galaksiler aslında uzayda birbirlerinden uzaklaşmıyordu. Onun yerine galaksilerin arasındaki uzay genişliyor ve böylece onları birbirlerinden uzaklaştırmış oluyordu; pişerken şişen bir üzümlü kekteki üzümlerin birbirlerinden uzaklaşması gibi.[16]

Zafere ulaştığını hisseden bu adı sanı duyulmamış fizik profesörü, elde ettiği bulguyu vakit kaybetmeden pek bilinmeyen bir Belçika dergisinde Fransızca yayımladı.[17] Bu pek akıllıca bir hareket sayılmazdı; makale kimsenin dikkatini çekmedi. Lemaître eski öğretmeni Eddington'a bir nüsha gönderdi ama yanıt gelmedi. Einstein'a ve ünlü evrenbilimci Willem de Sitter'e yolladığı birer kopya için de cevap alamadı.

Sonunda 1927 yılında, hayal kırıklığı içindeki Lemaître, Einstein'a sesini doğrudan duyurma şansını yakaladı. Dünyanın en büyük fizikçilerini buluşturan ünlü Solvay Konferansı'nın yapıldığı günlerde Brüksel'deki Leopold Parkı'nın patikalarında gezinirken, Auguste Piccard onu Einstein'la tanıştırdı (Piccard, *Tenten* çizgi romanındaki Profesör Turnusol karakterine esin kaynağı olan kişidir).[18] Lemaître için dünyanın yaşayan en büyük biliminsanıyla tanışma fırsatıydı bu. Einstein'ın genel görelilik kuramı (uzay, zaman ve kütleçekim etkileşimini yalın bir şekilde tanımlayan on denklemlik küme) evreni kavrayışımızı yeni baştan şekillendiriyordu. Hiçbir şey Lemaître'i Einstein'ın onayı kadar memnun edemezdi. Ancak kendisinden yaşça büyük olan Einstein'ın gözünde Lemaître, yayımladığı makale kimse tarafından dikkate alınmamış olan ne idüğü belirsiz bir Belçikalı papazdı, o kadar.

Einstein'ın kurama tepkisi netti: Ondan nefret etmişti.[19]

Einstein evrenin durağan olması gerektiğine gönülden inanıyordu. Geçmişte ona son derece iyi rehberlik etmiş olan güçlü sezgileri, maddi dünyanın düzensizliğinin altında yatan basit bir düzen olması gerektiğini söylüyordu. Evrenin genişlediğine inanamazdı. Bu ona doğru görünmüyordu ve aksi yöndeki fikirler de pek ilgisini çekmiyordu. Evrenin genişlemesi, gerçek olamayacak kadar tuhaf bir düşünceydi. Parkta yürüdükleri sırada Lemaître'e, "Hesaplamalarınız doğru ama fizik sezginiz berbat," dedi.[20] Sonra biraz kibarlaşarak, birkaç yıl önce Rus matematikçi Alexander Friedmann'ın yaptığı benzer bir hesaplamaya da karşı çıktığını ekledi. İşin aslı, Einstein bu fikirden o kadar nefret ediyordu ki evrenini durağan tutmak için denklemlerine "kozmolojik sabit" adını verdiği uydurma bir çarpan katmıştı. Einstein ve Piccard taksiye binip gidecek olduklarında, Lemaître de peşlerine takıldı. Einstein'a galaksilerin akıl almaz bir hızla uzaklaştığını gösteren yeni gözlemleri anlatmaya uğraşıyordu; ama görünüşe göre bunlardan habersiz olan Einstein onu duymazdan gelip Piccard'la Almanca konuşmaya başladı.[21]

İki yıl sonra, Edwin Hubble'ın Wilson Dağı'ndan yaptığı yeni gözlemlerin sonuçları yayımlandı. Hubble başka teleskopların ayna çapından en az 60 cm daha geniş olan 2,5 metre çaplı teleskop aynasının emsalsiz ışık toplama gücünden yararlanmayı sürdürüyordu. Elde ettiği veriler, en uzağımızdaki galaksilerin yakınımızdakilerden daha hızlı uzaklaştığını kuşkuya yer bırakmayacak biçimde doğruladı. Bunun üzerine bizzat Eddington, Einstein'ın denklemlerini yeni baştan inceledi ve her ne kadar Einstein inanmasa da, denklemlerin evrenin *genişlemekte olduğuna* işaret ettiğini buldu. Lemaître'in kendisine iki yıl önce gönderdiği (ama okuduktan sonra unuttuğu) makalede de aynı sonuca varıldığını hatırlayınca mahcup oldu.[22] Eddington derhal Lemaître'in makalesinin İngilizce olarak *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* dergisinde yayımlanmasını sağladı. Artık Einstein Lemaître'in kuramını dikkate almak mecburiyetindeydi. Çoğu ders kitabında evrenin genişlediğini öne süren kişinin Hubble olduğu yazar ama keşfi ilk yapan Lemaître'dir.*

Büyük adamın kendisini terslemiş olmasına aldırmayan Lemaître,

o arada Einstein'ın denklemlerinin iyice derinlerine inerek daha da cüretkâr bir adım atmıştı. Kafasında zamanı geri sarmış ve şu çıkarımı yapmıştı: Eğer evren şu anda genişliyorsa, bir zamanlar daha küçük olmuş olması gerekir; o zamanın öncesinde de daha küçük olmuş olmalıdır. Bu akıl yürütmeyi ilerletince varılan nokta, bugün var olan bütün galaksilerin –yani tüm maddelerin içindeki bütün temel parçacıkların– ilk başta çok küçük ve tıkız tek bir "ilksel atom"un içine sıkışmış durumda olduğu şeklindeki absürd görünen sonuçtu.

1931'de Britanya Bilimi İlerletme Topluluğu'nun toplantısında Lemaître bu parlak fikrini açıkladı. İddiasına göre tüm evrenin ortaya çıkışının kökeninde, sözünü ettiği minik atomun parçalanması vardı.[23] Muhtemelen olayı izah etmenin en şiirsel yolu değildi bu, ama Lemaître hitabeti iyi biliyordu. Sonradan şöyle yazacaktı: "Evrenin evrilişi, bir havai fişek gösterisine benziyor: Gösteri henüz bitmiş ve ardında belli belirsiz izlerle, biraz kül biraz da duman kalmış. Soğuyan bir parça köz üzerindeki bizler, yıldızların sönüşünü görüyoruz ve dünyaların doğuşunun yitik parıltısını gözümüzde canlandırmaya çalışıyoruz."[24]

Lemaître bu tür bir kurama epeydir kafa yoruyordu. Arkadaşı Bart Jan Bok, Lemaître'in Harvard'dayken şöyle dediğini hatırlıyordu: "Bart, aklıma komik bir fikir geldi. Belki de tüm evren en başta tek bir atomdu ve bütün her şey bu atomun patlamasıyla ortaya çıkmıştı, ha ha ha."[25]

Popüler basın Lemaître'in kuramına bayıldı. *Modern Mechanix* dergisi, "Patlayan tek bir atomdan, evrendeki bütün yıldızlar ve gezegenler ortaya çıktı," diyerek bu hayret verici kuramı duyurdu.[26] Fizikçiler içinse ağza alınmayacak bir fikirdi bu: Tek kelimeyle absürddü. Kanadalı John Plaskett, bunu "çığrından çıkan ve en ufak bir kanıtla desteklenmeyen bir spekülasyon örneği" olarak niteledi.[27] Lemaître'in eski akıl hocası Eddington ise bunun son derece "nahoş" bir fikir olduğunu söyledi. Evrenin genişlediğini kabul etse de, bu fazla-

* Rus fizikçi Alexander Friedmann, Einstein'ın denklemlerinde genişleyen veya büzülen bir evren olasılığını görmüştü ama trajik bir şekilde 1925'te vefat etti. Lemaître aynı fikri kendi başına keşfetti ve astronomik gözlemlerin evrenin genişlediğini destekler nitelikte olduğunu ilk fark eden kişi oldu.

sıyla ileri giden bir çıkarımdı. Evrenin hep var olmuş olduğuna inanmayı yeğliyordu.

Einstein gibi Eddington da "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" adını taktığım düşünce tuzağına düşmüştü; buna "Doğa *Bunu* Asla Yapmaz" önyargısı da denebilir. Varsayımlarını iki kere kontrol etmediklerinde biliminsanları da diğer insanlar gibi hatalı düşüncelere takılıp kalır; fikrini hiçbir zaman değiştirmeyen Eddington'ın durumu bunun bir örneğiydi.

Einstein'a gelirsek, o da Lemaître'in Hıristiyan dogmasından etkilendiği kanısındaydı. Kuramı din kokuyordu. Kitabı Mukaddes'teki yaratılış ânına kuşku uyandıracak derecede benziyordu. Lemaître bunu kabul etmedi. Fakat aslında Einstein bir bakıma haklıydı. Bir balarısının çiçeğe yönelmesi gibi, aynı zamanda papaz olan bir evrenbilimci de hem bilimin hem de kutsal metinlerin işaret ettiği başlangıç hikâyesine yönelecektir ister istemez. Nitekim 1978'de tarihçiler, Lemaître'in lisansüstü öğrenciliği sırasında yazdığı ve evrenin ışıkla başladığını bilimsel olarak kanıtlamaya çalıştığı bir makaleyi ortaya çıkardılar.[28] Ama Lemaître bu gençlik çabasından vazgeçmişti. Hayatının geri kalanında, bilimin günün birinde Yaratılış'ı tanımlayabileceği iddiasına karşı çıktı. "Fiziğin perdesi yaratılışı gizliyor," diye yazdı.[29] *New York Times*'a verdiği bir röportajda ise şöyle dedi: "Bilimle din arasında karşıtlık yok."[30]

Aynı röportajda gazete muhabiri, "Eğer Kitabı Mukaddes bilim öğretmiyorsa ne öğretiyor?" diye sorduğunda, Lemaître'in cevabı şöyle oldu: "Selamete giden yolu. Kitabı Mukaddes'in bilim için bir ders kitabı olma iddiasında olmadığını anladığınız anda, dinle bilim arasındaki eski çekişme ortadan kalkar." Lemaître, din ve bilimi evreni anlamanın karşıt yolları olarak değil, farklı yolları olarak görüyordu. Yıllar sonra, Papa XII. Pius'tan kuramını kutsal metinlerdeki hakikatin kanıtı olarak kullanmamasını isteyecekti.

Einstein aslında Lemaître ile kanının son damlasına kadar mücadele ederdi ama zayıf bir noktası vardı. Kuramındaki evren genişlemesin diye denklemlerine eklediği kozmolojik sabitin uydurma bir çarpan olduğunu biliyordu. Sonradan bu çarpana "en büyük gafım" diyecekti.[31] 1933 yılında Kaliforniya eyaletindeki Pasadena şehrinde

Lemaître, hep olduğu gibi papaz cüppesiyle, Einstein'ın da katılımcılar arasında bulunduğu bir konferans verdi. Öncesinde Hubble'ı ziyaret etmiş, verileri görmüş ve başkalarının da görüşlerini almış olan Einstein için kaçacak yer kalmamıştı. Lemaître'in netliği galip geldi. "Bu şimdiye kadar duyduğum en güzel ve doyurucu yaratılış açıklaması!" dedi Einstein, Lemaître'in konuşmasının ardından.[32] Her ne kadar ironi yapmış olma olasılığı varsa da, çok geçmeden Lemaître ile hemfikir oldu. Hatta ikisi birlikte bir konferans turuna bile çıktılar. Lemaître'in ilk havai fişek gösterisi olarak betimlediği, astronom Henry Norris Russell'ın ise (onunla da daha sonra yine karşılaşacağız) "tüm diğer felaketleri başlatacak Felaket"[33] dediği şeyi, biz daha akılda kalıcı bir adla tanıyoruz: Büyük Patlama.

Einstein onay verdikten sonra bile kuram öyle kolayca kabul görmedi. Kuramın en ünlü muhalifi olan başına buyruk Britanyalı astrofizikçi Fred Hoyle, bu fikrin gülünç olduğunu düşünüyordu. "Evrenin tüm maddesinin, uzak geçmişteki belli bir anda gerçekleşmiş büyük bir patlamayla yaratıldığı hipotezi mantıklı değil," diyerek, Büyük Patlama terimini kullanıma sokan da oydu.[34] Hoyle, Lemaître'e ise "Büyük Patlamacı" lakabını takmıştı.[35] Ama kanıtlar artmaya devam ediyordu.

Lemaître sayesinde artık vücudumuzdaki tüm parçacıklar da dahil olmak üzere, her şeyin doğuşu hakkında bir başlangıç hikâyemiz var. Şimdilerde fizikçiler başlangıçta atomların da, moleküllerin de, uzayın da, zamanın da olmadığını söylüyor. Bununla, evrenin başlangıcına ilişkin neredeyse tüm bilgimizin, uzay, zaman ve kütleçekimin nasıl iç içe geçmiş olduğunu gösteren Einstein'ın genel görelilik kuramındaki on denklemden çıktığını kastediyorlar. Fakat Einstein'ın kendi çalışmasında yer aldığı halde ciddiye almayı reddettiği olasılıkları gören kişi Lemaître oldu. Ne kadar çılgınca gelse de, bir avuç denklem bize tüm evrenimizin sıfır hacimli ama sonsuz yoğunluklu küçücük bir noktadan başladığını söylüyor. Fizikçilerin deyimiyle bu minik "tekillik" akıl almaz miktarda enerji içeriyordu. Büyük Patlama, yani bu sonsuz küçüklükteki noktanın genişlemesi zamanı, uzayı, maddeyi ve nihayetinde bizi yarattı.

İnsanın aklının almadığı bir fikir bu. Sezgi gücü fayda etmiyor. Kuramın akla getirdiği birkaç temel soru var: Bir noktanın yoğunluğu nasıl sonsuz olabilir? Nasıl zaman olmaz? Eğer uzay Büyük Patlama ile başladıysa, ondan önce her şey neredeydi? Tüm bu soruların yanıtı basit. Hiçbir fikrimiz yok.

Durumu anlamaya çalışırken, Harvard Üniversitesi'nden evrenbilimci Avi Loeb'e Büyük Patlama'dan önce ne olduğunu sordum. Loeb büyük sorularla uğraşmaktan çekinmiyor. Evrendeki ilk yıldızların oluşumunu araştırıyor ve yaşamın ilk olarak ne zaman evrilmiş olabileceğine ilişkin makaleler yazıyor. (Buna verdiği yanıt, Büyük Patlama'dan sadece 70 milyon yıl sonra olabileceği şeklinde.) Ama ona Büyük Patlama'dan önce nasıl olup da zaman diye bir şeyin olamayacağını sorduğumda, tahmin yürütmekten çekindi. Bunun "öldükten sonra ya da doğmadan önce ne olduğunu düşünememek gibi" olduğunu söyledi.[36]

Onu yine sıkıştırdım. Lemaître'in Büyük Patlama'nın daha önce olup bitmiş her şeyi gizlediği yönündeki inancını yankılarcasına şöyle dedi: "Hiçbir fikrim olmayan şeyler konusunda tahmin yürütmemeyi tercih ederim."

Asıl sorunun, en küçük ölçekte "Einstein'ın denklemlerinin çökmesi" olduğunu kabul etti Loeb. Bu denklemleri, son derece doğru bir başka kuram olan kuantum fiziğiyle uzlaştırabilen kimse yoktu. Kuantum fiziği, en küçük ölçekte yani fotonların ve elektronların düzeyinde maddenin davranışını öngörür. Lazerler, atom saatleri, bilgisayar çipleri ve GPS gibi teknolojiler kuantum kuramına dayanır. Fakat bu kuram, içerdiği paradokslar nedeniyle –mesela atomaltı parçacıkların tam konumlarını öngörmenin olanaksızlığı (Heisenberg belirsizlik ilkesi) yüzünden– Einstein'ın genel görelilik kuramıyla uyuşmaz. Biliminsanları bu iki kuramı uzlaştırana kadar (yani uzun zamandır hayal edilen "her şeyin kuramı" ortaya koyulana kadar), Büyük Patlama öncesi dönemin anlaşılabilir olma olanağı yok; sadece tahmin yürütülebilir.

Bu noktada söyleyebileceğimiz tek şey şu: Einstein'ın kuramını çürütmeye yönelik her girişim başarısız olurken, sayısız gözlem kuramın doğruluğunu kanıtladı. 1949'da George Gamow, Ralph Alpher

ve Robert Herman adlı fizikçiler, ilk elementlerin oluşması için gereken aşırı yüksek sıcaklığı hesapladılar. Sonra da, Büyük Patlama'dan artakalan ve bugün hâlâ mevcut olması gereken ışınım (radyasyon) kalıntısının enerjisine ilişkin bir öngörüde bulundular. Bu öngörü, o tarihten on altı yıl sonra 1965'te iki astronom tarafından şans eseri doğrulandı. Radyo teleskoplarındaki arka plan gürültüsünden neden bir türlü kurtulamadıklarını anlayamayan astronomlar, teleskoplarını hangi yöne çevirirlerse çevirsinler –ister yakınlardaki yıldızlar, ister uzak galaksiler, ister boş uzay olsun– düşük düzeyli elektromanyetik dalgalar algılıyorlardı. Bu gürültüyü yaratıyor olabileceğini düşündükleri –anten üzerindeki kuş pislikleri gibi– tüm şüphelileri ortadan kaldırdıktan sonra bile sinyal oradaydı. Kozmik arka plan ışınımı adı verilen bu elektromanyetik ışınım, göğün her yanında tam olarak Gamow ile çalışma arkadaşlarının öngördüğü frekansta keşfedildi. Bu da evrenin Büyük Patlama ile başladığının güçlü bir kanıtıydı.

Georges Lemaître bu keşif haberini duyduğu sırada Brüksel'deki bir hastane yatağında yatıyordu; geçirdiği kalp krizinin ardından toparlanmaya çalışıyordu. Kuramının bu şekilde doğrulanması onu çok sevindirdi. Keşif tam zamanında yetişmişti. Lemaître bir yıl geçmeden vefat etti.

Şimdilerde, Einstein'ın denklemlerini ve bu denklemlerden çıkarılabilecek sonuçlara ilişkin Lemaître'in yorumlarını destekleyen deneysel kanıtlar gelmeye devam ediyor; kütleçekim dalgalarının algılanması da bu kanıtlardan biri. Belki ileride Büyük Patlama'nın kütleçekimsel yankılarını algılamak da mümkün olur.* [37] Eski bir televizyonda kanal ararken Büyük Patlama'nın izine denk gelebilirsiniz aslında; ekrandaki karlı görüntünün yüzde 1 kadarı ondan artakalan ışınımdır. Evrenin genişlemesi, o elektromanyetik dalgaları televizyonunuzun alabileceği kadar esnetip uzattı.

Bir zamanlar Einstein'ın hiç hoşuna gitmemiş olsa da, görelilik denklemleri zamanın Büyük Patlama ile başladığını söylüyor. O baş-

* Einstein'ın denklemlerine eklediği ve sonradan gaf olarak nitelediği "kozmolojik sabit" adlı uydurma çarpanın bile önemli olduğu ortaya çıkabilir. Karanlık enerjinin –fizikçilerin hiç anlamadıkları için karanlık dedikleri gizemli evrensel kuvvetin– özelliklerinin öngörülmesine yarayabilir.

langıç ânından bu yana ne kadar süre geçtiğini bulmak için (evrenin yoğunluk ölçümlerini ve genişleme hızını kullanarak) zamanı geri saran fizikçiler 13,8 milyar yıl sonucuna ulaştı. Bu bize kendi olağanüstü yolculuklarımız için bir başlangıç noktası veriyor. Büyük Patlama'nın hemen ardından uzay genişlemeye başladı. Saniyenin trilyonda birinin trilyonda biri kadar süre sonra madde ve antimadde parçacıkları (aynı kütleye fakat zıt yüklere sahip parçacıklar) yeni yaratılan uzay boşluğunda ortaya çıktı. Birbirini yok etme eğiliminde olan bu parçacıklar ânında yok oldular.* Ama belli ki hikâyemiz burada bitmiyor. Biliminsanlarının henüz bilmediği bir nedenden dolayı, ortaya çıkan madde ve antimadde miktarında hafif bir dengesizlik söz konusuydu. Her bir milyar antimadde parçacığına karşılık, bir milyar bir madde parçacığı vardı. Kısacası biz, artıklarız. Yok olmayan milyarda birlik o madde görünür evreni yarattı; içimizdeki tüm atomlar dahil.

Lemaître, takvimlerle belirtilemeyecek kadar eski bir tarihte, nihai doğum gününüzde kozmik mumların yandığının ortaya çıkarılmasına katkıda bulundu. 13,8 milyar yıl önce, içinizdeki en temel madde kırıntıları varlık kazandı.

Bu keşifle birlikte, tarihimizin ne zaman başladığını artık öğrenmiş olduk. Peki sonrasında olan olayların ne kadarının izini zamanın sislerinin ardından sürebilirdik acaba? Biliminsanlarının Büyük Patlama'dan doğan ilk parçacıkların yapısını ortaya çıkarmakla işe başlaması gerekecekti. En sonunda Güneş Sistemi'ni, gezegenimizi, canlılığı ve bizi oluşturacak olan minik yapıtaşları nelerdi? Garip bir şekilde, onları bulma arayışı da bir başka Katolik papazıyla başlayacaktı; bu kez Eyfel Kulesi'nin tepesinde.

* Kulağa ne kadar garip gelse de antimadde gerçektir. Bugün antimaddeyi algılayabiliyoruz; hatta laboratuvarda ufak miktarda üretebiliyoruz. NASA araştırmacıları, uzay araçlarına güç sağlamaya yetecek kadar antimadde üretmeyi hayal ediyor.

2

"Ne Tuhaf"

Gözün Asla Göremeyeceği Şeyler

Bilimde çoğu keşfin habercisi olan
en heyecan verici söz "eureka" değildir;
"Ne tuhaf" sözüdür.

Isaac Asimov'a atfedilir

ELEKTRİKLİ TROLEYBÜSLERİN ve at arabalarının döneminde yaşarken, içimizdeki en temel –Büyük Patlama'yla oluştuğunu artık bildiğimiz– parçacıkları keşfetmeyi umut etmiş olan zavallı biliminsanına acımamak mümkün değil. Çıplak gözle, hatta en güçlü mikroskopla bile muhtemelen göremeyeceğiniz bir şeyi nasıl bulursunuz ki? Uzun süre fizikçilerin kafasını kurcalayan bir pürüzdü bu. Lemaître ve Einstein'ın evrenin kökeniyle uğraşmaya başlamasından önce, evreni oluşturan en küçük madde kırıntılarının kimliğini arayan başkaları vardı. Ancak kuşku, girişimi hep gölgeledi. Acaba gün gelip de onları bulabilecekler miydi? Antik Yunanlar, insanlar da dahil her şeyin minik bölünemez birimlerden oluştuğunu tahmin etmişti; "minik ve bölünemez" anlamına gelen *atomos* adını takmışlardı bunlara. 20. yüzyıla gelindiğinde, birçok kimyacı onlarla hemfikirdi ve atom sözcüğünü kullanıyordu. Fakat fizikçilerin çoğu kuşkuluydu.[1] "Atomlar ve moleküller ... tam da kendi tabiatlarından ötürü asla duyularla algılanamazlar," demişti saygın fizikçi Ernst Mach.[2] Kimyacıların deneyleri atomların kuramsal olarak var olduklarına işaret ediyordu, ama hiçbir deney bir atomu doğrudan açığa çıkarmamıştı. Bir atom gören,

atoma dokunan ya da atomu ölçen hiç kimse yoktu.

Sonra iki sarsıcı keşif, kuşkucuları inançlılara dönüştürdü. 1897 yılında, Britanya fiziğinin merkez üssü olan Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda, heybetli J. J. Thomson bir muammayı araştırıyordu. Havası boşaltılmış (vakumlanmış) bir cam tüpteki iki elektroda gerilim uygulandığında oluşan gizemli katot ışınlarının yapısı nasıldı? Merak içinde ışınları manyetik alana tutan Thomson, ışınların izlediği yolun sapma yaptığını görünce irkildi. Sürpriz bir şekilde, eksi yük taşıyan görünmez parçacıklar keşfetmişti; artık onların atomun bir parçası olduklarını biliyoruz. İngiltere Kralı V. George'un tahta çıktığı ve Hiram Bingham'ın Machu Picchu'ya keşif gezisi yaptığı sene olan 1911'de, Thomson'ın eski parlak öğrencilerinden Ernest Rutherford da aynı önemde bir keşif yaptı. Artı yüklü radyoaktif parçacıkları ince bir altın yaprağına doğru ateşlediğinde, çoğu parçacığın beklediği gibi yaprağın içinden geçip gittiğini fakat bir kısmının geri sektiğini gördü. Rutherford hayretler içerisinde kalmıştı. "Bir peçeteye 380 milimetrelik bir top mermisi atmışsınız da, sekip size geri gelmişçesine inanılmaz bir şeydi," diye anlatacaktı daha sonra. Bu durumda altın yaprağın içinde, gelen parçacıkları iten yoğun artı yüklü bölgeler olmalıydı. Böylelikle Rutherford atomların artı yüklü çekirdekler de içerdiğini keşfetti.

Zamanla herkes Rutherford'ın başarılı çıkarımıyla hemfikir oldu: Artık en temel parçacıkların yapısı biliniyordu. Evrendeki her şey atomlardan oluşuyordu. Ama atomlar en küçük parçacıklar değildi. Atomun merkezinde, proton adlı artı yüklü parçacıklardan oluşan bir çekirdek vardı. Çekirdek, bulunduğu atomdan binlerce kat daha küçük olabiliyordu. Thomson'ın bulduğu eksi yüklü elektronlar, bu protonların çevresinde, Güneş'in etrafındaki gezegenler gibi yörüngedeydi.* Ayrıca atom ağırlıkları, Rutherford'ın çekirdekte bir parçacık daha bulunduğundan kuşkulanmasına neden olmuştu: artık nötron adıyla bildiğimiz yüksüz parçacık.

* Çok geçmeden kuantum fizikçileri elektronların yörüngelerinin çok daha öngörülemez olduğunu anladı. Artık elektron yörüngelerini, elektronların bulunma olasılığı olan yerlere işaret eden sisli bulutlar olarak görüyorlar.

Hepsi bu olmalı, diye düşünüyordu herkes. Kimsenin, daha da küçük parçacıkların var olabileceğini düşünmesi için bir sebep yoktu. Zaten var olsalar bile, onları aramanın bir yolu yoktu. En güçlü mikroskopların işe yaramayacağı kesindi. Biliminsanlarının mikroskopla atom görme şansı, çıplak gözle Plüton'u görme şansına eşdeğerdi. Bir topluiğnenin başına trilyonlarca hidrojen atomu sığabilir; proton ise yüz bin kat daha ufaktır.[3] Şayet daha da küçük parçacıklar mevcutsa, onları bulmak olanaksız görünüyordu.

Şimdi bir uyarı yapayım: Etrafımızdaki en tuhaf fenomenlerden bazılarını göreceğimiz bir gezintiye çıkıyoruz. Fizikçiler önce birbirinden enteresan atomaltı parçacıklar bulacaklar; ardından da en temel parçacıkları gün yüzüne çıkaracaklar. Ama bu yol engebeli ve dolambaçlı olacak, çünkü biliminsanları çoğu zaman en büyük keşiflerini bambaşka bir şeyi ararken gerçekleştirir.

Nitekim ilk beklenmedik ipucu gökten zembille inecekti.

1910 yılının ilkbaharında, Alman fizikçi ve Cizvit papazı Peder Theodore Wulf, asansörle Eyfel Kulesi'nin tepesine çıktı. Yanında getirdiği evrak çantası büyüklüğündeki cihazın, sinir bozucu bir gizemi çözebileceğini umuyordu: Biliminsanları nereye gitse, elektrik yükleri de sadık köpekler gibi peşlerini bırakmıyordu. Araştırmacılar elektroskoplarını –elektrik yükü algılayan cihazlarını– o denli hassas hale getirmeyi başarmışlardı ki, aygıtlar her şeyden yalıtıldıklarında bile yük algılayarak onları deli ediyordu. Aygıtları kalın metal kılıflara koyuyorlar, su tanklarının içinde yalıtıyorlardı; ama hâlâ başlarına dert olan yüklerden kurtulamıyorlardı.[4] Bunun üzerine Wulf çok sağlam bir taşınabilir elektroskop tasarlayıp, yüklerin kaynağını tam olarak belirlemeye kararlı bir şekilde işe koyulmuştu.

Wulf'un kuşkulandığı en bariz kaynak radyoaktiviteydi. O tarihten henüz on yıl önce, Paris'teki Doğa Tarihi Müzesi müdürü Henri Becquerel farkında olmadan çalışma masasının çekmecesindeki fotoğraf levhalarının üzerine uranyum tuzu koymuş ve birkaç gün sonra, tuzların levhalar üzerinde görüntü oluşturduğunu fark edip hayrete düşmüştü. Böylelikle Becquerel, uranyum gibi bazı kayaların rad-

yoaktif olduğunu keşfetmişti. Yani bu kayalardan, yüklü parçacıklar ve dalga boyu görünür ışığınkinden kısa olan görünmez elektromanyetik dalgalar çıkıyordu. Dolayısıyla Wulf'a göre, havadaki sinir bozan ısrarcı yüklerin, yeryüzünün derinliklerindeki radyoaktif kayalar tarafından salındığı barizdi. Yaydıkları radyasyon atmosferdeki moleküllere çarpıp elektronları yerinden ediyor ve yüklü parçacıklar yaratıyor olmalıydı. Bunu kanıtlamak için yanında taşıdığı elektroskobuyla mağaraların derinliklerine inmişti; kaynağa yaklaştıkça daha fazlasını algılayacağını beklemiş ama öyle olmamıştı.[5] O da elektroskobunu sırtlayıp, dünyanın insan elinden çıkma en yüksek yapısı olan Eyfel Kulesi'ne gitmişti. Kulenin tepesinde yüklerden kurtulmayı umuyordu ama yine öyle olmadı; en azından yeterince olmadı. Hâlâ çok fazla yük vardı. Gizem daha da derinleşti.

Wulf'un deneyi, Victor Hess adlı yirmi sekiz yaşındaki Avusturyalı korkusuz fizikçiye bu konuyla uğraşma ilhamı verdi. Hess, can sıkıcı yüklerin yerden gelip gelmediğini anlamak için elektroskobu daha da yükseğe çıkarmak gerektiği kanısındaydı. 1911 senesinde bunu gerçekleştirmenin tek yolu, balonla yapılacak riskli bir yüksek irtifa uçuşuydu.

Yerel bir havacılık kulübünden yardım alan Hess, Viyana yakınlarında altı uçuş gerçekleştirdi ve 6000 fit (yaklaşık 1900 metre) yüksekliğe kadar çıkmayı göze aldı.[6] Deneyleri sinir bozucu bir şekilde sonuçsuz kaldı (sadece güneş tutulması sırasında yapılan bir deneme, yüklerin Güneş'ten gelmediğini saptamıştı). Küçük bir tehlikenin iyi bir deneyi engellemesine izin verecek biri olmayan Hess, daha yükseğe uçmaya karar verdi. Avusturya'nın küçük bir kasabasındaki Alman Balon Tutkunları Topluluğu'nu, filolarının medarıiftiharı olan *Böhmen* adlı balonu (on iki katlı bir bina yüksekliğindeki turuncu-siyah, son teknoloji ürünü bir balondu bu) deneyde kullanılmak üzere ödünç vermeye ikna etti.[7]

7 Ağustos 1912'de havacılık kulübü üyeleri, yemyeşil geniş bir çayırda gün ağarırken, at arabasıyla taşıyıp getirdikleri tanklarla devasa *Böhmen*'i şişirdi. Saat 6:12'de Hess balonun bir pilot, bir meteoroloji gözlemcisi, küçük bir bank, üç elektroskop, bir el çantası ve en önemlisi de üç büyük oksijen tüpü yüklü ufak hasır sepetine sığıştı.[8]

Yer dardı ama Hess o üç tüpe ihtiyacı olduğunu çok iyi biliyordu. Her nefeste, aldığımız oksijenin dörtte birini beynimiz kullanır. Yeterince oksijen olmazsa sıkıntı çıkar. Bu durum, o tarihten otuz küsur yıl önce, üç Fransız baloncu *Zénith* adlı balonla irtifa rekoru kırmaya çalıştığında net bir şekilde anlaşılmıştı. Baloncular akıllıca davranarak yanlarına oksijen almışlardı, ama oksijeni yeterince kullanmayarak akılsızlık etmişlerdi. İrtifa 20.000 fit'i (kabaca 6000 metreyi) geçince, ekip üyelerinden birine göre "insan sanki çevredeki ışıktan yayılan içsel bir neşe hissediyor ve kayıtsızlaşıyor"du.[9] Kendisini "sersemlemiş" hissetmiş ve dili tutulmuştu. Sonra da kendinden geçmişti. Balon alçalırken kendine gelmiş ama ekip arkadaşlarının yığılıp kaldığını görmüştü. Oksijen eksikliği iki arkadaşını canlarından ederken, ekipten sağ kalan tek kişi o olmuştu. İki baloncunun ölümüyle ilgili anlatılan korkutucu hikâyeler, başka baloncuları yirmi yıl boyunca yüksek irtifa uçuşlarından uzak tutmuştu. Hess ise hemen hemen aynı yüksekliğe çıkmayı ama hayatta kalmayı planlıyordu.

Saat yedide, hidrojen (daha sonra Alman zeplini *Hindenburg*'un sonunu getirecek olan patlayıcı gazın ta kendisi) kullanarak yerden havalanan balon, tek bir bulutun bile olmadığı göğe doğru yükselmeye başladı. Bir buçuk saat sonra, kendilerini Alman sınırına doğru sürüklenirken buldular. 13.000 fit (yaklaşık 4000 metre) yüksekliğe ulaştıklarında, saatte 50 km hızla esen rüzgârla boğuşuyorlardı. Paltosuna iyice sarınan Hess, dondurucu soğuğa rağmen ölçüm almayı cesurca sürdürdü. Saat dokuzu çeyrek geçe yorulduğunu hissedince, mantıklı bir karar vererek biraz oksijen soludu. Bir saat sonra insanı sersemleten bir irtifaya çıkmışlardı: 17.400 fit (kabaca 5300 metre). Bu noktada Hess o kadar güçsüz düşmüştü ki bayılacağından korktu ve deneyi sonlandırma vaktinin geldiğine karar verdi. Kaptana balonun hidrojeninin bir kısmını salmasını söyledi. 13.000 fite inince kendine gelmeye başladı.

Çayırın sağlam zeminine geri döndüklerinde, Hess'in etekleri zil çalıyordu. Çıktıkları en yüksek irtifada, yerdekinden iki kat fazla yük ölçmüştü. Bunun tek bir açıklaması olabilirdi: İrtifa arttıkça, yüklerin kaynağına yaklaşılıyordu. Elektrik yüklerinin, uzaydan yeryüzüne aralıksız yağmakta olduğunu keşfettiğinden emindi.

Diğer fizikçiler bunu kabul etmekte zorlandılar. Acaba daha muhtemel bir açıklama yapılamaz mıydı; mesela Hess'in aygıtlarının dondurucu soğuktan etkilenmiş olması gibi?[10] ABD'li fizikçi Robert Millikan, Hess'in açıklamasına önce şiddetle karşı çıktıysa da, 1925'te kendi yaptığı deneyler Hess'in ölçümlerini doğruladı.[11] Kısa süre sonra, söz konusu yüklere "Millikan ışınları" adı verildi. Hess buna sert bir şekilde itiraz etti[12] ve neticede Millikan'ın kullandığı başka bir isim dile yerleşti: kozmik ışınlar.

Bu uygunsuz bir isimdi çünkü Millikan'ın sandığının aksine, bunlar belli bir dalga boyundaki elektromanyetik ışınım değildi. Yani görünür ışıktan, radyoaktif ışınlardan veya X ışınlarından farklıydılar. Kozmik ışınlar, üzerimize sürekli yağan elektrik yüklü parçacıklardan oluşan bir yağmurdu aslında.

Bu görünmez sağanakların içinde, daha da küçük parçacıkların ipuçlarının olduğunu fizikçiler henüz bilmiyordu. Onları bulabilmeleri için inanılmaz küçük şeyleri "görebilecekleri" yeni araçlar icat etmeleri gerekecekti.

Aslında yıllar önce, J. J. Thomson'ın yanında çalışan araştırmacılardan biri öyle bir araç icat etmişti. Ama bulutlara meraklı olan bu genç, söz konusu aracı tamamen farklı bir amaçla tasarlamıştı. İskoçyalı bir koyun yetiştiricisinin oğlu olan Charles Thomson Rees Wilson uzun boylu, sakin, mülayim biriydi. 1895 yılında yirmi iki yaşındayken, Cambridge Üniversitesi'nden fizik diplomasını yeni almış ve iptidai bir meteoroloji gözlemevinde birkaç haftalık gönüllü çalışmaya katılmıştı. Gözlemevi İskoçya'nın en yüksek zirvesi olan Ben Nevis'teydi. Wilson'ın kaldığı taş kulübe çoğu zaman sisten sırılsıklam oluyor ya da yağmur ve fırtına nedeniyle hasar görüyordu. Ama bazen sabahın erken saatlerinde görkemli bir manzara onu ödüllendiriyordu. Hemen altındaki bulutların üzerinde öyle muhteşem gökkuşağı halesi desenleri görmüştü ki, bunları incelemek için laboratuvarda yapay bulutlar yapmaya karar verdi.

Belki de belirgin kekemeliğinden ileri gelen olağanüstü sabrıyla Wilson, Cambridge'e dönünce muazzam hüner isteyen cam üfleme tekniklerini kendi kendine öğrendi. Sayısız camı kırdıktan sonra, ni-

hayet pistonla iç basıncı değiştirilebilen usta işi bir cam odacık (hazne) yaptı. Dikkatli deneyler sonucunda, odacığı nemli havayla doldurup ardından pistonla hacmini hızla genişlettiğinde su buharının havadaki toz parçacıkları üzerinde yoğunlaştığını heyecanla fark etti. Yapay bulutlar üretmişti.

Derken Almanya'da yapılan bir keşif Wilson'ın araştırmasını bütünüyle farklı bir yöne kaydırdı. Masasının üstündeki mütevazı düzenek, Ernest Rutherford'ın "bilim tarihindeki en özgün ve harika cihaz" diyerek övdüğü bir araca dönüşecekti.[13]

500 km uzaktaki Würzburg Üniversitesi'nde, fizikçi Wilhelm Röntgen de tıpkı J. J. Thomson gibi katot ışını tüpünde oluşan ışınları araştırıyordu. Her ne kadar ışığın kaçmasını önlemek için cam boruyu dikkatlice siyah kartonla sarmış olsa da, yakınında duran fosforlu boyayla kaplı ekrana gözü iliştiğinde, ekranın görünmez ışınlarla aydınlanmış gibi parladığını görüp irkildi. Şaşkına dönmüştü.

Delirdiğinin düşünülmesinden çekinerek olaydan kimseye bahsetmedi, ama gecesini gündüzüne katarak hararetli bir araştırmaya girişti.[14] Sırrını paylaştığı eşinin elini cam tüple bir fotoğraf levhası arasına koyduğunda, levhada eşinin parmak kemiklerinin ve yüzüğünün hayaletimsi bir görüntüsü belirdi. "Ölümümü gördüm," dedi eşi bu görüntü karşısında. Röntgen, tüpteki katot ışınları camın ucuna çarptığında tamamen farklı bir şeyin yayıldığını keşfetmişti. Şans eseri bulduğu şey X ışınlarıydı.[15] Bunlar, dalga boyu görünür ışığınkinden çok daha kısa olan ve sadece ağır elementler –mesela kemiklerdeki kalsiyum– tarafından soğurulan elektromanyetik dalgalardı.

Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı fizikçileri, insanın içini gösteren bu ışınlarla ilgili gazete haberlerine kuşkuyla bakıyordu, ta ki fotoğrafları görene kadar. "Avrupa'daki neredeyse bütün profesörler kılıçları kuşandı," diye yazacaktı fikri değişen Rutherford, ışınları araştırmak için artık yarış halinde olan fizikçiler hakkında.[16] Çok geçmeden ABD'de Thomas Edison X ışınlarıyla beynin görüntülerini elde etmeye başlamıştı ve X ışını ampulü üzerinde çalışıyordu. (Birkaç yıl sonra, cildinde X ışını yanıkları oluşan asistanının kanserden ölmesi üzerine bu çabalarından vazgeçecekti.)

Charles Wilson da hücuma coşkuyla katıldı. İçinden gelen sesi

dinleyip J. J. Thomson'dan üstünkörü yapılmış bir katot tüpü ödünç aldı ve nemli hava dolu bir bulut odacığına X ışınları tuttu. X ışınlarının içeride yoğun bir sis oluşturduğunu görünce çok şaşırdı.[17] Işınlar havadaki moleküllerden elektron koparark yüklü moleküller (iyonlar) üretmişlerdi;* su buharı iyonların üzerinde yoğunlaşınca da sis damlacıkları oluşmuştu. Wilson mutluluktan uçuyordu.[18] İcat ettiği bulut odacığı, görünmeyen parçacıkların izlediği yolu açığa çıkarmıştı. Aşırı küçük oldukları için algılanmaları olanaksız sanılan tekil moleküllerin izleriydi bunlar. Bulut odacığına radyoaktif parçacıklar gönderdiğinde, uçakların arkasında oluşan buhar izlerine benzeyen "küçük bulut demetleri ve şeritleri" belirip kaybolmuştu.[19] Sihir gibi bir şeydi bu. Wilson titizlikle odacığını geliştirdi ve bulutları incelemek için icat ettiği bu basit düzenek, kısa süre içinde tüm dünyada elektronları, iyonları ve radyoaktif parçacıkları incelemek için güçlü bir araç olarak kullanılır oldu. Ama bulut odacığı en büyük hünerini henüz sergilememişti: atomdan daha küçük olan ve kimsenin bilmediği parçacıkların algılanması.

1932'ye gelindiğinde, biliminsanları kozmik ışınların elektron içerdiğinde hemfikirdi, dolayısıyla Caltech'ten Carl Anderson adlı genç araştırmacı elektronları incelemek için gönülsüzce bir bulut odacığı yaptı. Anderson doktorasını henüz almıştı ve başka bir üniversiteye geçmeyi umuyordu, ama danışman hocası Robert Millikan (Hess'in kozmik ışınlarının varlığını doğrulayan kişi), önce o projede çalışması için ısrar etmişti.[20] Anderson, gökyüzünden odacığa giren herhangi bir elektronun yolunu saptıracak kadar güçlü, devasa bir elektromıknatıs yapmak için Southern California Edison şirketinin hurdalığından birkaç parça topladı. Zaman zaman sabrının ödülünü alıyordu. Güçlü elektromanyetik alanda sapan bir elektronun izini fotoğraflamayı başardı. Öte yandan, bazen benzer büyüklükte ama ters yönlü sapmalar da görüyor olması kafasını karıştırıyordu.

İlk başta Anderson bunların yukarı doğru ilerleyen elektronların

* Net elektrik yükü sıfırdan farklı duruma gelen atomlar veya moleküller iyonlaşmış olur. Elektron ve proton sayıları eşitken yüksüz yani nötr, elektronları eksilirse "artı yüklü iyon", elektronları artarsa "eksi yüklü iyon" olurlar. *–ç.n.*

izi olması gerektiğini düşündü. Ama Millikan ona kozmik ışınların yerden değil gökten geldiğini hatırlatarak, izlerin uzaydan yağan artı yüklü protonlardan kaynaklanması gerektiğini söyledi.[21] Anderson ikna olmamıştı. Bilinen tek pozitif (artı elektrik yüklü) parçacık olan proton, elektrondan daha büyüktü; dolayısıyla protonun izi, elektronun izinden daha geniş olmalıydı. Sözünü ettiği izler ise elektron iziyle aynı genişlikteydi. Fikir birliği sağlayamadılar. Anderson deney üzerinde ufak değişiklikler yaptı ve en sonunda, elindeki yeni kanıtlarla, yeni bir tür atomaltı parçacık bulduğunu cesurca ilan etti. Üstelik bu çok acayip bir parçacıktı. Pozitif elektrik yükü taşıması dışında, elektronun tıpatıp aynısıydı.

Kuantum fiziğinin meşhur ilahlarından hiçbiri –Rutherford, Bohr, Schrödinger ya da Oppenheimer– ona inanmadı.[22] Herkes atomların yalnızca üç yapıtaşı olduğunu biliyordu: negatif elektronlar, pozitif protonlar ve nötron adındaki yeni keşfedilmiş yüksüz parçacıklar. Pozitif bir elektron mümkün değildi ki. Yalnız şu vardı: O tarihten henüz altı ay önce, fizikçi Paul Dirac, Einstein'ın görelilik kuramıyla birkaç yıl uğraştıktan sonra garip bir öngörüde bulunmak mecburiyetinde olduğunu açıklamıştı. Elektronların, kendileriyle aynı kütleye fakat zıt yüke sahip ikizleri olmalıydı. Dirac bile kendi iddiasından kuşkuluydu, ama Anderson bu parçacıklardan bir tane bulmuştu. Bu yeni atomaltı parçacık bir *anti*elektrondu; yani keşfedilen ilk antimadde parçacığıydı. Ona pozitron adı verildi.

(Antimaddenin günlük yaşamın çok uzağında olduğunu düşünüyor olabilirsiniz ama pozitronlar sandığınızdan daha yakınınızdalar. Vücudumuzda sinir sinyali göndermek gibi işlere yarayan bazı moleküllerde doğal olarak eser miktarda radyoaktif potasyum bulunur. Her gün bu potasyum atomlarının yüzde 0,001 kadarı pozitron salarak bozunur.* Eğer 70 kg iseniz, günde neredeyse dört bin pozitron üretirsiniz.[23] Ama bunlar uzun süre ortalıkta kalmaz. Karşılarına he-

* Radyoaktif (çekirdeksel) bozunum, bir atomun çekirdeğini oluşturan protonların veya nötronların sayısının (ya da izomerik geçişte sadece çekirdeksel enerjisinin) değişmesidir. Proton sayısı değişirse, başka bir element atomuna dönüşmüş olur. Nötron sayısı değişirse, aynı elementin başka bir izotopuna dönüşmüş olur. – *ç.n.*

men bir elektron çıkar ve birlikte yok olurken, arkalarında kimliklerini belli eden ufak bir ışınım bırakırlar.*)

Anderson, pozitrona rastlamasından sadece iki yıl sonra bir parçacık daha yakaladı. Müon adı verilen bu parçacık, açıklanamaz bir şekilde elektronla aynı yüke ama iki yüz kat fazla kütleye sahipti. Fizikçi Isidor Rabi haberi duyunca, "Bunu kim sipariş etti?" demişti.**[24]

Hess, Wilson ve Anderson'ın hepsi de keşiflerinden dolayı Nobel Ödülü aldı. Fizikçiler, var olabileceğini kimsenin düşünmediği bir şey bulmuştu: yeni tür atomaltı parçacıklar. Bir anda atomların elektron, proton ve nötrondan fazlasını içerdiği açıkça belli olmuştu. Böylece içimizdeki atomların en temel ölçekte nelerden oluştuğunu bilmiyor konumuna düşmüştük yine.

Fakat fizikçilerin imkânları çok sınırlıydı. Atomlarımızın en küçük bileşenlerini bulmak için hâlâ özgün yeni araçlara ihtiyaçları vardı. Neyse ki kısa süre sonra, Avusturyalı araştırmacı Marietta Blau kritik önem taşıyan bir araç geliştirdi. Blau 1,50 m boyunda, içine kapanık bir kadındı ve bilime katkıları uzun süre unutulmuş olarak kaldı. Wilson gibi o da hiçbir mikroskobun gösteremeyeceği minik varlıkları "görmek" için kullanılacak bir yöntemin öncülüğünü yaptı.

Blau'nun fiziğe olan ilgisi 1910'larda, kız lisesine gittiği dönemde başlamıştı. Bu ilgi Viyana Üniversitesi'nde derinleşti ve oradan fizik alanında doktora derecesi aldı. Marie Curie'nin verdiği ilhamla, yeni ve muammalı bir fenomen olan radyoaktiviteyi inceleyen birkaç Avrupalı kadından biriydi. Yıllar önce Madam Curie ve eşi Pierre, uranyumdan bir milyon kat daha radyoaktif olan ve neredeyse büyülü gibi görünen radyum elementini keşfetmişlerdi. Biliminsanları bu ele-

* Enerji maddeye dönüşürken, parçacıklar daima madde-antimadde çiftleri halinde oluşur (yani bugün var olan her parçacık, kendi antiparçacığıyla birlikte oluşmuştur). Madde-antimadde çiftleri çarpıştıklarında ise enerjiye dönüşürler (çift yok olması gerçekleşir). *–ç.n.*

** Bugün biliyoruz ki yeryüzüne çarpan kozmik ışın parçacıklarının büyük bölümü müondur; her saniye on tanesi vücudunuzdan geçer. Kozmik ışınlar, her yıl maruz kaldığınız radyasyon miktarına 27 milirem kadar katkı yapar; yani neredeyse üç göğüs röntgeni kadar. (Sundermier, "İnsan Bedeninin Parçacık Fiziği".)

mentin görünüşe göre "bitmek tükenmek bilmeyen bir ışık ve ısı" sağlıyor olmasından dolayı son derece heyecanlıydı. Ardından gelen radyum çılgınlığı döneminde radyumla güçlendirilmiş sabun, diş macunu, mobilya temizleyicisi, hatta radyum katılmış puro, hamur işi gıda ve fitil ilaç satılıyordu.[25] (Tehlikenin farkında olmayan Madam Curie de radyasyon maruziyeti yüzünden erken yaşta yaşamını yitirdi.*) Radyum, uranyum cevherinden çıkarılıyordu; Avrupa'nın tek uranyum madeni ise Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'na aitti. Dolayısıyla, Viyana'nın Radyum Araştırma Enstitüsü kurması ve yetenekli bir deneyci olan Blau'nun orada iş bulması pek de şaşırtıcı sayılmaz.

1925 yılında, danışmanı olan fizikçi, Blau'ya zorlu bir görev verdi. İki çekirdek çarpıştığında çıkan protonun izlediği yolu saptamak için bir fotoğraf levhası kullanabilir miydi?[26] Göründüğünden daha da zor bir işti bu. Blau atomdan daha küçük tek bir parçacığın izini bulmaya çalışacaktı. Yılmadan, sürekli olarak daha kalın fotoğraf emülsiyonları denedi, levhaları geliştirmek için yeni teknikler uyguladı ve güçlükle algılanabilen izlerden anlam çıkarmaya uğraştı. Birkaç yıl sonra, gerçekten de başardı: İnanılmaz küçük parçacıkların izlerini yakalamanın yanı sıra, bu izleri kullanarak parçacıkların enerjisini ölçtü. Tekniğinin gelecek vaat ettiğinin çarpıcı bir kanıtıydı bu.

Ama Enstitü'de çalışma yaptığı tüm o yıllar boyunca Blau'ya hiç maaş ödenmedi. Blau özel ders vererek, medikal şirketlerde sözleşmesiz elemanlık yaparak ve ailesinin yardımı sayesinde yaşamını sürdürüyordu. Uluslararası ölçekte tanınırlık kazanmaya başladığı zaman, ücretli bir pozisyon isteme cesaretini nihayet gösterebildi. Ona bunun imkânsız olduğu söylendi; hem Yahudi hem de kadındı.[27]

1930'ların başlarında Blau yöntemlerini daha da geliştirdi ve kendine daha iddialı bir hedef belirledi: kozmik ışınlardaki parçacıkları saptamak. Ama bu arada önündeki sorunlar giderek artıyordu. Yardıma ihtiyacı olan kişilerle ilgilenmeye daima hevesli biriydi; dolayısıyla hukuk okumaktan mutsuz olan Hertha Wambacher adlı genç ka-

* Madam Curie'nin makaleleri bugün bile öylesine radyoaktiftir ki makaleleri inceleyecek araştırmacıların koruyucu giysi giymesi gerekir.

dınla tanıştığında Blau ona cömertçe yardım sundu.[28] Wambacher onun öğrencisi, asistanı ve daha sonra da asistan meslektaşı oldu. Fakat zamanla Blau'nun cömertliği başına dert açtı. 1933'te faşist diktatör Engelbert Dollfuss Avusturya'da iktidarı ele geçirdi. Yahudilerin akademik pozisyonlardan atılması yönünde çağrılar yapıldı. Bu arada Blau'nun himaye ettiği Wambacher yasadışı Nazi partisinin ilk üyelerinden biri oldu.[29] Daha da beteri, çok daha coşkulu bir Nazi olan, sonradan da Enstitü'ye müdür atanan Georg Stetter adında evli bir fizikçi ile Wambacher arasında bir ilişki başladı.[30] Blau ve Wambacher çalışmalarına birlikte devam ettiler ama bir zamanlar sıcak olan ortaklıkları gerginleşmişti.

1937'de Blau nihayet kozmik ışınları saptamayı denemeye hazırdı. Onun fotoğraf levhaları, çok daha büyük olan bulut odacıklarına göre daha avantajlı olabilirdi. Kozmik ışınların en güçlü olduğu yüksek irtifalara levhaların taşınması çok daha kolaydı. Ayrıca levhaları uzun süreliğine orada bırakabilirdi; bu da nadir bir parçacığı yakalama şansını büyük ölçüde artırabilirdi. Blau ile Wambacher teleferikle Victor Hess'in Hafelekar Dağı'nın 2300 metrelik zirvesinde kurduğu araştırma istasyonuna gittiler. Özel formüllü levhalarını gökyüzüne bakacak şekilde umutla yerleştirdiler.

Dört ay sonra levhaları geri almak için araştırma istasyonuna tekrar gittiler. Laboratuvara dönüp de mikroskopla levhalara baktıklarında sevinçten havalara uçtular. Levhaların üzerine kazınmış uzun ince çizgiler vardı. Uzaydan yağan görünmez parçacıkların izlerini yakalamışlardı. Daha da hayret verici olanı, bazı durumlarda tek bir noktadan çok sayıda düz çizginin çıkmasıydı. Kozmik bir ışın, fotoğrafik emülsiyondaki bir çekirdeğe çarpıp parçalamış ve yıldız benzeri bir görüntü oluşturan on iki küçük parçacık çıkmasına neden olmuştu.[31] Blau'nun keşfi dünyanın her yanındaki fizikçilerin ilgisini çekti. Yıllar süren deneyleri meyvesini vermişti. İçimizdeki en küçük parçacıkları ortaya çıkarmaya yardımcı olacak yeni bir tekniğin öncüsü olmuştu.

Trajik bir şekilde, bu tekniği kullanma fırsatı çok az olacaktı. 1937'de Avusturya'da antisemitizmin yükselişe geçmesiyle birlikte, yaptığı çalışmayı asistan meslektaşı Wambacher'a devredip Enstitü'

den ayrılması için Stetter ona baskı uyguladı. Wambacher'ın Blau'ya karşı davranışları kabalık ile cömertlik arasında gidip geliyordu. Yeise kapılan Blau yaptığı araştırmayı bırakmayı düşündü. Derken beklenmedik bir şekilde kendisine bir süreliğine izne çıkması teklif edildi. Yaşadığı sıkıntılar, eski bir arkadaşı olan meslektaşı Ellen Gleditsch'in kulağına gitmişti; Gleditsch onu birkaç aylığına Oslo Üniversitesi'ne davet etti. 12 Mart 1938'de Blau, en yeni levhalarını da yanına alarak trene bindi.[32] Tren camından Alman birliklerinin sınırı geçtiğini gördü. O gün Hitler'in Avusturya'yı ilhak ettiği gün olan *Anschluss* idi. Ertesi gün Hitler'in kendisi, coşkulu kalabalıklarca karşılandığı Viyana'ya geldi.

Norveç sadece kısa süreli bir sığınak sunmuştu ama neyse ki Blau'nun içinde bulunduğu zor durum Einstein'ın kulağına gitmişti; onun yardımıyla Blau sekiz ay sonra Mexico City'de bir öğretmenlik pozisyonu buldu. Her an savaş çıkabileceği korkusuyla Oslo'dan kalkan ilk uçağa bindi ama uçak maalesef bir Alman havayoluna aitti. Aktarma şehri olan Hamburg'a inince Blau çağrıldı. Nazi yetkilileri ne aradıklarını tam olarak biliyor gibilerdi. Blau'nun çantalarını karıştırdılar ve ancak fotoğraf levhalarına el koyduktan sonra gitmesine izin verdiler.[33]

Viyana'da Wambacher araştırmalarına Blau'nun bıraktığı yerden devam etti ve ortak çalışmalarının tek sahibi konumuna geçti. Blau yıkılmıştı. Sonradan ABD'de bir dizi akademik görevde bulunsa da, kozmik ışınlarla ilgili araştırmalarına dönmesini sağlayacak motivasyonu bir daha hiç bulamadı. Altmışlı yaşlarında, ABD'de karşılayamayacağı pahalı bir katarakt ameliyatına ihtiyaç duyması, onu Viyana'ya dönmeye zorladı. Radyum Enstitüsü'nde kısa süreliğine yine maaşsız olarak çalıştı ama artık orada kendini rahat hissetmiyordu. Nazilerle olan bariz bağlantısına rağmen Stetter'in 1950'lerin başlarında prestijli bir üniversite görevine dönmesine izin verildiğini öğrenmek de küskünlüğünü artırmıştı.[34] Blau 1970 yılında vefat ettiğinde, memleketi Avusturya onun başarılarını tanımıyordu.

O arada pek çok kişi Blau'nun öncülük ettiği teknikleri benimsedi ve ödülleri topladı. 1947'de Cecil Powell ve Giuseppe Occhialini, Fransız Pireneleri'ndeki bir zirveye hassas fotoğraf levhaları yerleş-

tirip, Anderson'ın müonundan beri bulunan ilk yeni atomaltı parçacık olan pionu keşfettiler. Müon ve pozitron gibi pion da tuhaf bir varlıktır. Elektrondan yaklaşık 270 kat daha ağırdır. Artı veya eksi yüklü olabildiği gibi, yüksüz de olabilir.

Powell keşiflerinden dolayı Nobel Ödülü aldı. Blau'dan ise kimse söz etmedi. Nobel ödüllü Erwin Schrödinger tarafından iki kez olmak üzere, Blau en az üç kez Nobel Ödülü'ne aday gösterildi ama sonuç alınamadı.

Wilson'ın bulut odacıklarındaki ve Blau'nun levhalarındaki incecik güzel izler, Pandora'nın kutusunu açarak atomdan daha küçük olan yeni parçacıkların varlığını ortaya çıkardı. Ancak mevcut resmi pek netleştirmiş sayılmazlardı. Pozitron, müon ve pion gibi parçacıkların ortaya çıkmasıyla, fizik içimizdeki en temel yapıtaşlarını bulmaktan daha da uzaklaşmış görünüyordu. Sanki biliminsanları bir kuyunun dibindeki çözümü ararken, kuyunun tahmin edebileceklerinden çok daha derin olduğunu keşfetmiş gibiydi. Yapabildikleri tek şey kovanın ipini salmayı ve umut etmeyi sürdürmekti. Ama atomun içindeki manzara çok geçmeden daha da bulanıklaşacaktı.

1940'lara gelindiğinde, fizikçiler kozmik ışınların büyük ölçüde, ışık hızına yakın bir hızla yeryüzüne düşen atom çekirdeklerinden ve bir miktar da başıboş proton ile elektrondan oluştuğunu biliyordu. Atmosfer bunların çoğunu soğuruyordu. Bununla birlikte, bazı yüksek enerjili çarpışmalar atomları parçalayarak, yeryüzüne yağan daha küçük ve daha egzotik atomaltı parçacıklar üretiyordu, pionlar ve müonlar gibi.

Dolayısıyla araştırmacılar bu kez daha doğrudan bir yaklaşım denemeye karar verdi. Kozmik ışınların kırk yılın başında yeni bir parçacık getirmesini beklemek yerine, parçacıkları kendileri çarpıştırıp yeni parçacık çıkmış mı diye bakacaklardı. Parçacık avcıları, atom çarpıştırıcılar –ya da onların tercih ettiği isimle parçacık hızlandırıcılar– inşa etmeye başladı. Çok yüksek hızlarda, elektronları elektronlarla ve nötronları nötronlarla çarpıştıracaklardı.

Devasa atom çarpıştırıcıların ilki, 1949'da Brookhaven'da (New York) sekiz ABD üniversitesinden oluşan bir konsorsiyum tarafından inşa edildi. İyimser ve fütüristik bir adlandırmayla Cosmotron ismi

verilen bu cihazın görünüşü, gökten inip de onarım amacıyla içi açılmış bir uçan daireyi akla getiriyordu. Fizikçiler altı tonluk 288 adet mıknatısla çevrelenen altmış metrelik dairesel kulvara parçacıklar fırlatıyordu. Mıknatıslar parçacıkları kulvarda tutacak şekilde yönlendirirken, üç metre arayla yerleştirilmiş mikrodalga yayan tüpler de her turda parçacıkların hızını artırıyordu. Araştırmacılar üç milyar voltluk cihazı, 60 cm kalınlığındaki beton bir duvarın arkasından idare ediyordu. Nihayet tüm pürüzler giderildiğinde, parçacıkları ışık hızına yakın bir hıza ulaştırarak, onları saniyenin beşte dördü kadar bir sürede 210.000 km uzağa yollamayı başardılar.[35]

Bu çarpıştırmalar müthiş başarılı oldu. Araştırmacılar çok daha küçük parçacıkların izlerini buldukları için çok mutluydu. Blau'nun fotoğraf levhaları ve kabarcık odacıkları (Wilson'ın bulut odacıklarının benzerleri) çarpışma bölgelerinin etrafına yerleştirilmişti. O kadar inanılmaz bir hassasiyetleri vardı ki, çapı santimetrenin yüz trilyonda birinden daha küçük olan ve saniyenin milyarda birinden daha kısa bir süre var kalan parçacıkları algılayabiliyorlardı.[36] En temel parçacıkları bulmak, birdenbire ulaşılabilir görünmeye başlamıştı.

Ama sonra yine ulaşılmaz görünmeye başladı.

Keşiflerin sayısı arttıkça, sevincin yerini hayret ve şaşkınlık aldı.[37] 1950'lerin sonlarına gelindiğinde, fizikçiler anlam veremedikleri düzinelerce tuhaf üyesi olan "parçacık bahçesi"ne (*particle zoo*) bakakalmıştı. Kaon, lambda, sigma, ksi, hiperon, mezon; liste uzayıp gidiyordu. Enrico Fermi, "Bütün bu parçacıkların adını hatırlayabilecek olsam, fizikçi değil botanikçi olurdum," diye söyleniyordu.[38] Yoksa parçacık fizikçileri, yüceltilmiş katalogcular olmaya mı mahkûmdu? Parçacıkların bazı ortak özellikleri olduğuna ilişkin ipuçları görmüşlerdi ama ipuçları arasında bağlantı kurmayı sağlayacak birleştirici bir şema bulamadılar. Evrenin düzensiz yüzeyinin altında sade ve zarif bir düzen keşfetme hayalleri suya düşmüştü. En temel parçacıklara yönelik arayışta biliminsanları bir arpa boyu yol alamıyor gibi görünüyordu artık.

Böylece bilim sahnesinde bir süre daha karmaşa hüküm sürdü, ta ki 1961 yılında Murray Gell-Mann mücadeleye katılana kadar.

Gell-Mann küçüklüğünde üstün yetenekli bir çocuktu. Üç yaşındayken büyük sayıları kafadan çarpabiliyordu.[39] On beş yaşında Yale Üniversitesi'ne girmişti. Ödevlerini bir türlü tamamlayamayan ve çoğunlukla dersleri kıran ama yine de sınavlardan en yüksek notu alan ukala tiplerdendi. Otuz iki yaşına geldiğinde, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT) doktora derecesini almış, Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde çalışmış, Şikago Üniversitesi'nde efsanevi Enrico Fermi ile ortak çalışma yapmış ve Caltech'ten profesörlük almış durumdaydı. Maya dili de dahil olmak üzere on üç dil konuşuyordu. Çalışma arkadaşı Sheldon Glashow şöyle diyor: "Yüzünüze çarpmaktan çekinmediği engin bilgisi sayesinde, onunla tanıştıktan kısa süre sonra anlardınız ki arkeolojiden kuşlara, kaktüslerden Yoruba mitlerine ya da zimolojiye kadar neredeyse her konuda sizden çok daha fazlasını biliyor."[40] Fotoğraflarda genellikle kalın çerçeveli gözlüklerinin ardından sıcak bir ifadeyle gülümsediği görülse de, Gell-Mann'ın asabi ve küstah bir tarafı da vardı. Kendisiyle aynı fikirde olmayanları küçük düşürme eğilimindeydi. Bundan payını alanlardan biri de, odası aynı koridorda olan Richard Feynman adlı başka bir dâhiydi; bu çalışma arkadaşı, sonradan rakibi haline geldi.

Gell-Mann parçacık fiziği çalışmayı seçmişti ve altta yatan örüntüleri fark etme konusunda alışılmadık bir dehaya sahipti. Yıllar süren çalışmanın ardından, parçacık bahçesindeki tüm varlıkları belli özelliklerine –yüklerine, kütlelerine, spinlerine ve "gariplik"lerine (bazı parçacıkların, daha basit parçacıklara bozunma sürelerindeki uyuşmazlıkları öngörüyor gibi görünen bir özellik)– göre gruplara ayırmak için pek bilinmeyen bir cebir kuramı kullanabileceğini keşfettiğinde "eureka" ânını yaşadı. Parçacıkların oktet adı verilen sekizli geometrik şekillerle düzenlenen kümelere ayrıldığını fark ederek, doğanın matematiği nasıl yansıttığını çarpıcı bir şekilde gösterdi. Kuramına, Zen Budizmi'ne esprili bir gönderme yaparak Sekiz Katlı Yol adını verdi (sonuçta 60'lı yılların Kaliforniya'sında yaşıyordu). Belki de bu kuram, sonunda parçacık fizikçilerini aydınlanmaya ulaş-

tıracak ve acılarını sonlandıracaktı.[41] Gell-Mann'ın sekizlileri parçacıkları gruplandırıyordu; parçacıklar, tıpkı elementlerin Rus kimyacı Dimitri Mendeleyev'in periyodik tablosundaki dizilişi gibi, özelliklerine göre dizilmiş görünüyorlardı. Gell-Mann, geometrik örüntüde boş kalan yerlerde yeni parçacıkların bulunacağını öngördü.

Fakat kuramı yayımlama konusunda çekimserdi; öyle ki makalesini *Physical Review*'dan iki kez geri çekti.[42] Sonunda parçacıkların özelliklerini konu alan bir makale sundu; devrim niteliğindeki Sekiz Katlı Yol önerisi de ihtiyatla makalenin en sonuna gizlenmişti.

Bilimde sıklıkla olduğu gibi, aynı anda aynı kurama başka biri daha ulaşmıştı. Bu kişi, diğer bir dâhi çocuk olan fizikçi Yuval Ne'eman'dı (sonradan İsrail'de bakanlık yapacaktı). İlk başta kimsenin önemsemediği, balon gibi sönen bu keşif böylece ikisine birden atfedildi.[43] Kuramları doğada hiç görülmemiş parçacıkların var olması gerektiğini öne sürdüğünden, doğru yolda olup olmadıkları belli değildi.

Ama birkaç yıl sonra Brookhaven'da yapılan bir deney, Gell-Mann'a epey itibar kazandırdı. Geometrik kümelerinden birinde yeri boş olan ve "omega-eksi" adını verdiği belli bir parçacığın özelliklerini öngörmüştü. Deneyciler parçacığı bulmak için harekete geçti. Hızlandırıcıda gerekli düzeneği kurmaları aylar sürdü. Ardından günde binlerce fotoğraf çekmeye başladılar; o kadar çok kare vardı ki, analizlerine yardımcı olmaları için vardiyalı olarak aralıksız çalışacak Long Islandlı ev hanımlarını işe aldılar.[44] 90 bin fotoğraftan sonra ellerinde hiçbir şey yoktu. Ama 97.025 numaralı karede bir eşleşme keşfettiler.[45] Gell-Mann, omega parçacığının özelliklerini öngörmüştü. Sekiz Katlı Yol doğrulandı.

Gell-Mann kuramından memnundu ama tatmin olmuş değildi. Deneycilerin kataloglad ığı gülünç derecede fazla parçacık sayısını azaltmamıştı. Ayrıca bunların neden Sekiz Katlı Yol'a uydukları hakkında hiçbir fikri yoktu. Bu durumun altında yatan açıklayıcı bir örüntü olmalıydı. Bilinen parçacıklar muhakkak ki daha basit, daha temel bir şeylerden oluşuyor olmalı, diye düşündü.

Dönüm noktası Mart 1963'te, Columbia Üniversitesi'nde fizikçi Robert Serber'ı ziyaret ettiğinde geldi. Serber Sekiz Katlı Yol'un ma-

tematiği üzerine kafa patlatıyordu ve altta yatan cebirin, üçlülere dayalı daha derin bir örüntü ortaya çıkarabileceğini seziyordu. Öğretim üyeleri kulübündeki öğle yemeği sırasında, Gell-Mann'a sekizlilerdeki her bir parçacığın, daha küçük üç parçacıktan oluşmasının mümkün olup olmadığını sordu.

"Komik bir tuhaflık (*quirk*) olurdu bu," dedi Gell-Mann.[46]

Masadakilerden biri olan fizikçi Tsung-Dao Lee, "Berbat bir fikir," diyerek ona katıldı. Gell-Mann bir peçete aldı ve bunun neden saçma bir öneri olduğunu göstermek için karalamaya başladı. Sorun şuydu: Şayet her bir parçacık daha ufak üç varlıktan oluşuyorsa, o zaman o varlıkların her birinin üçte birlik veya üçte ikilik artı ya da eksi yük taşıması lazımdı. Ama kesirli yük duyulmuş şey değildi. O zaman nasıl var olabilirlerdi ki? Bu mümkün görünmüyordu.

Yine de bu soru kafasını kurcalamaya devam etti ve ertesi gün kendini konu hakkında düşünürken buldu. Kesirli yükler acaba bir şekilde mümkün olabilir mi diye sormaya başladı. Belki de kesirli yük taşıyan parçacıklar, tam yüke sahip daha büyük bir parçacık içinde hapis tutuluyordu. Bu onları neden saptayamadığımızı açıklardı. İçerisine sıkışıp kaldıkları daha büyük parçacıktan asla çıkamazlardı. Fikir pek olası görünmüyordu; hatta muhtemelen gerçek olamayacak kadar tuhaftı. Ama sonra yine, "Neden olmasın yahu!" diye düşündü Gell-Mann.[47] Fikrini biçimlendirmeye çalışırken, bu tuhaf parçacıkları eğlencesine isimlendirmek için *quack* (ördek sesi) ve *quork* gibi adlar düşündü. Sonra James Joyce'un *Finnegans Wake* adlı kitabında geçen anlamsız bir sözcük olan "kuark" adında karar kıldı. (Bu sözcüğün Almancada "zırva" anlamına gelebileceğini öğrenmek de hoşuna gitmişti.)

Gell-Mann zekice ama gözlemlenmesi mümkün olmayan bir kuram ortaya attığı kanaatindeydi. Kesirli yük taşıyan parçacık fikrinin, belki de işe yarar bir matematiksel kurmaca olabileceğini düşündü.[48] Yine de reddedilmesinden korktuğu için makalesini *Physical Review Letters*'ın ihtiyatlı editörlerine sunmamaya karar verdi. Onun yerine "çılgın" fikirleri yayımlamaya daha açık bir editörü olan *Physics Letters*'a gönderdi.[49]

Öte yandan bu parlak fikrin de benzerini akıl eden başka biri ol-

muştu. Bu sefer Gell-Mann'ın meslektaşı ve eski öğrencisi George Zweig, kesirli yük taşıyan parçacık fikrini ondan bağımsız olarak düşünmüştü (ama bunlara kuark değil "as" adını vermiş ve üç değil dört tane olabilecekleri tahmininde bulunmuştu). Gell-Mann'dan yaşça küçük olan Zweig, İsviçre'deki dünyanın en güçlü parçacık hızlandırıcısını barındıran CERN'de çalışıyordu ve kurumun, makalelerin nerede ve hangi biçimde yayımlanabileceği konusunda kısıtlamaları vardı. Zweig bölüm başkanının önüne koyduğu engellerden o kadar yıldı ki sonunda pes etti.[50] CERN'deyken makalesinin yalnızca iki adet basım öncesi taslağını dağıttı. Daha sonra anlattığına göre, makalelerine gösterilen tepki "genel olarak pek olumlu değildi". Kıdemli bir biliminsanı onu şarlatan olarak nitelendirmiş ve Berkeley'deki bir öğretmenlik pozisyonuna atanmasını engellemişti.[51] Zweig en sonunda, ağzında acı bir tatla fiziği bırakıp nörobiyolojiye geçti.

Aslar gibi kuarklar da ilk başta göz ardı edildi. Hiç saptanmamış (ve dahası hiç saptanamayacak) parçacıklardaki kesirli yük fikri çok uçuk görünüyordu. Bu durum 1968 yazında değişti. Gell-Mann'ın rakibi Richard Feynman, Stanford'ın hızlandırıcısında yapılan bir deneyin, kuarkların varlığını kanıtladığını göstermek için kuantum fiziğini kullandı. Protondan seken elektronların, sanki protonun içinde üç sert nesne varmış gibi davrandıklarını gösterdi. Bulut odacıkları, Blau'nun fotoğraf levhaları, parçacık hızlandırıcıları ve Gell-Mann'ın sezgisi ve matematiksel zekâsı sayesinde, biliminsanları sonunda kum tanesinden bir milyon kat küçük olan kuarkları saptadı.[52] *New York Times*'ın yazdığına göre, pek çok fizikçi "maddenin en içteki kutsal odasının kapısını araladıklarına" inanıyordu.[53]

Son elli yılda kuşkunun yerini inanç aldı. Kuarklar, atomlarımızdaki tüm proton ve nötronlar da dahil olmak üzere, parçacık bahçesinin çoğu üyesinin nihai yapıtaşı olarak geniş çapta kabul görüyor. Altı farklı çeşidi olan kuarkların etkileşimi, kuvvet taşıyıcı parçacıkların değiştokuş edilmesi yoluyla gerçekleşiyor. Maddesel parçacıkları birbirine tutturup yapıştırdıkları için Gell-Mann bu kuvvet taşıyıcı parçacıklara (İngilizce *glue* yani yapıştırıcı kelimesinden ilhamla) gluon adını vermişti. Kuarkların neden kesirli yükleri olduğunu kimse bilmiyor. Ama kuarkların protonlardan ve nötronlardan çıkmasını

önleyen bir kuvvet keşfedildi. Kuarklar birbirlerinden uzaklaştıkça, onları bağlayan kuvvet, tıpkı gerilen bir lastik gibi giderek güçleniyor. Biliminsanları kuarkları sınırlayan basıncın, evrendeki bilinen tüm basınçlardan daha büyük olduğunu tahmin ediyor; okyanusun en derinlerindeki basınçtan 10^{27} (milyar kere milyar kere milyar) kat fazla.[54] Katkılarından ötürü Nobel Ödülü alan Gell-Mann'ın kuramı, başkaları tarafından genişletilen haliyle artık tartışmasız hüküm sürüyor.

Her ne kadar Gell-Mann'ın bizleri ve dünyadaki diğer her şeyi oluşturan en temel parçacıkları keşfettiği söylenebilirse de, dürüst olmak gerekirse, çok daha fazla miktarda içerdiğimiz başka bir şey daha var: boşluk. Katı olduğunuzu düşünebilirsiniz ama bu bir yanılsama; atomlarınızın yüzde 99,999999999999999'u bomboş. Atomlardaki boşluk denizleri öylesine büyük ki, bir hidrojen atomunun çekirdeğini tenis topu büyüklüğüne ölçeklendirdiğinizde, bu atomun elektronu çekirdeğinden yaklaşık bir buçuk kilometre açıkta dönüyor olacaktır. Eğer elektronlarınız, protonlarınız ve nötronlarınız arasındaki tüm boşluğu kaldırsaydınız, iri bir toz zerresinden daha büyük olmazdınız; bütün insanlığı bir küp şekere sığdırabilirdiniz.[55]

Bu durum ilginç bir soruyu gündeme getiriyor. Bedenimiz o kadar boşsa neden kendimizi bu kadar katı hissediyoruz? Cevap şu: Masa gibi bir şeye dokunduğumuzda, atomlar aslında temas etmez. Onun yerine, parmaklarınızdaki ve masadaki elektronlar birbirini iter. Yani atomlarınız aslında masaya *değmez*; masanın üzerinde gezinir ve sinirlerinizi tetikleyerek dokunma hissi yaratır. Fizikçiler size başka bir şeyin de gerçekleştiğini söyleyecektir. Kuantum mekaniği dünyasında, özdeş parçacıklar aynı alanı işgal edemez. Yani atomlar yakınlaştıkça, elektronları çekirdeklerinin etrafında farklı şekillerde dans etmeye zorlanır ve bu dans onları fiziksel temastan alıkoyan itici bir enerji yaratır.

Bilim tarihinde şimdiye dek yapılmış bütün gözlemler, siz de dahil olmak üzere bilinen tüm maddenin sadece üç çeşit temel parçacıktan oluştuğunu söylüyor: elektron, kuark ve gluon. Kuvvet taşıyıcı kütlesiz parçacıklar olan gluonlar, kuarkları birbirine bağlayarak proton ve nötronları oluşturur. Bir anlamda siz, 30 oktilyon (30.000.000.

000.000.000.000.000.000.000) elektron, çok daha fazla kuark ve bu kuarkları parçacıklar (proton ve nötron) biçiminde bağlı tutan sayısız gluondan oluşan bir yığınsınız.

Gell-Mann'ın keşfi temel parçacıklarımızın geçmişini, ortaya çıktıkları andan başlayarak anlatmamıza olanak tanıyor. O zamanlar yani 13,8 milyar yıl önce evren, uzay ya da zaman yoktu. Sonra Büyük Patlama'nın hemen ardından kuarklar, gluonlar ve elektronlar sonsuz yoğunluktaki küçücük bir noktadan saçıldı. Ve böylece yolculuğumuz başladı. Bizi yaratacak parçacıklar süper sıcak bir plazmanın içinde dönüyor, zıplıyor ve kaynaşıyordu. Bir milisaniyenin küçük bir kesri kadar süre geçince, gluonlar kuarkları birbirine bağlayarak protonları ve nötronları oluşturmaya başladı. Üç dakika içinde (Einstein'ın denklemlerine ve evrendeki toplam madde miktarına ilişkin tahminlere göre) plazma hafifçe soğudu. Bu durum gluonların ilettiği muazzam güçteki çekirdeksel (nükleer) kuvvetin devreye girmesine olanak sağladı. Protonlar ile nötronlar birbirlerine tutunmaya başladı ve evrenimizdeki ilk atomların çekirdekleri oluştu.

Bunların dörtte üçü, çekirdeği sadece bir protondan oluşan en basit element olan hidrojendi. Bunun anlamı şu: İçinizdeki hidrojen çekirdeklerinin dört trilyon kere trilyonda biri, yani kütlenizin yaklaşık yüzde 10'u, Büyük Patlama'yı izleyen ilk üç dakikada oluşmuştu.

Sonraki en basit elementler helyum (iki proton ile nötronlar) ve çok küçük miktarlarda lityum ile berilyum (sırayla üç ve dört proton ile nötronlar) idi. Onlar da bu ilkel plazma girdabında oluştu. Ama hepsi buydu.

Yaklaşık 200 milyon yıl boyunca evren aşırı derecede sıkıcıydı. Bu dönem hakiki Karanlık Çağ'dı. Hem görülecek çok az şey vardı, hem de görülebilecekleri bir aydınlık yoktu. Sadece dört durgun elementin, evren genişledikçe karanlık uzayda süzülen bulutları vardı.

Bu ilk dört elementin kendi başlarına asla canlılığı yaratamayacaklarını güvenle söyleyebiliriz muhtemelen. Sonuçta vücudumuzda altmışın üstünde farklı element var: demir, selenyum, flor, molibden ve diğerleri. Peki varoluşumuz nasıl mümkün olabildi? Diğer atom-

larımız nasıl ortaya çıktı? Onların varlık kazanmasını sağlayan akıl almaz derecede büyük –bir trilyon katrilyon hidrojen bombasına eş-değer– enerjinin kaynağı neydi?[56]

İlk beklenmedik ipuçları, "Harvard'ın en başarılı adamı" olan son derece azimli bir İngiliz kadından gelecekti.

3

Harvard'ın En Başarılı Adamı

Yıldızları Görme Şeklimizi Değiştiren Kadın

Yeni bir fikrin dünyaca kabul görmesinin üç evresi vardır:

a. Fikir saçmalık olarak görülür.
b. Başkası bu fikri sizden önce düşünmüştür.
c. Fikrin doğruluğuna hep inanmışızdır.

Fred Hoyle (Raymond Lyttleton'ın sözlerini aktarıyor)[1]

1923 İLKBAHARINDA, İngiltere'deki Cambridge Üniversitesi'nde okumakta olan yirmi bir yaşındaki Cecilia Payne gelecek kaygısına kapıldı. Astronomi araştırmalarını o kadar çok seviyordu ki hayalinde astronom olmak vardı. Bir biliminsanı olarak çözmek istediği araştırma problemlerini yazdığı bir not defteri bile tutuyordu. Ama son sınıftayken, bir çıkmazla karşı karşıya olduğunun farkına vardı. O zamanının İngiltere'sinde, onun zekâsına sahip bir kadının umabileceği en iyi şey, bir kız okulunda öğretmen veya müdire olmaktı. Sonradan otobiyografisinde şöyle yazacaktı: "Önümde uzanan bir uçurum gördüm. Öğretmen olmak bana 'ölümden beter bir yazgı' gibi geliyordu."[2] Neyse ki bu yazgı hiçbir zaman gerçekleşmedi. Onun yerine, karşılaştığı tüm olumsuzluklara rağmen, Payne 20. yüzyıl biliminin büyük zaferlerinden birine zemin hazırlayan kritik bir keşif yaparak, içimizdeki elementlerin (hidrojen hariç) hepsinin ilk kez nasıl oluştuklarının ortaya çıkarılmasına katkıda bulundu.

Payne'in bilime olan ilgisi, altı yaşındayken gördüğü bir göktaşının onu derinden etkilemesiyle başlamıştı; bu ilginin artması ise on yaşındayken, okuduğu Katolik okulunda duanın gücünü test etmek

için yaptığı bir deneyden sonra oldu. Sınavlarının yarısı için daha yüksek not alma duası ederken, diğer yarısı için etmedi.[3] Notlarında hiçbir değişiklik göremeyince, aklın gücüne olan inancı doğrulandı. Sonradan da ünitaryen* oldu.

Dindar bir müdire, Payne'e eğer bilim okursa "yeteneklerini boşa harcamış" olacağını söyledi.[4] Okulun koro şefi, o zamanlar tanınmayan ama sonradan *Gezegenler* süitini besteleyecek olan Gustav Holst ise onu müzisyen olmaya teşvik etti. Fakat Payne'in başka planları vardı.

Cambridge Üniversitesi'nden burs kazandı ve botanik okumaya başladı.[5] Ama orada, fiziğin Birinci Dünya Savaşı'ndan sonraki o baş döndürücü günlerinde, astronom Arthur Eddington'ın verdiği tarihi konferans, Payne üzerinde dönüştürücü bir etki yarattı. Eddington, Güneş'in kütleçekimsel alanı nedeniyle ışığın yolunda sapma olduğunu ortaya koymuştu; tıpkı Einstein'ın öngördüğü gibi. Payne yıldırım çarpmışa dönmüştü. Sonradan şöyle yazacaktı: "Dünyam o kadar sarsılmıştı ki, sinir buhranına yakın bir şey yaşadım."[6] Fiziğe fena halde âşık olmuş gibiydi. Ertesi gün, botanikten fiziğe geçme kararıyla üniversite yetkililerinin karşısına çıktı. Evde, Eddington'ın konferansta anlattıklarını neredeyse kelimesi kelimesine kâğıda döktüğü üç gece boyunca hemen hiç uyumadı.

Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda heyecan verici bir ortam vardı. Laboratuvarın parlayan yıldızı, atom çekirdeğinin kâşifi, efsanevi Ernest Rutherford'ın yanı sıra, elektronun kâşifi J. J. Thomson ve bulut odacığının mucidi Charles Wilson da orada çalışıyordu. Fakat Payne için sıkıntı verici bir durum vardı. Rutherford, derslerinde kadın bulunmasından memnun değildi. Her ne kadar kadınlar artık bir refakatçi olmadan da istedikleri yere gidebilseler de, hâlâ ayrı bir sırada oturmaları gerekiyordu. Aşırı çekingen bir yapıda olan Payne, dersin verileceği salona her girdiğinde, ön sırada tek başına oturmak zorundaydı. Rutherford her derse vurgulu bir şekilde "*Bayanlar* ve baylar" diye selam vererek başlıyordu. Payne otobiyografi-

* Ünitaryenizm, Hıristiyanlığı temel almakla birlikte teslis (üçleme) inanışını reddederek Tanrı'nın birliğini vurgulayan bir inanç sistemidir. –*ç.n.*

sinde şöyle yazar: "Her seferinde bütün çocuklar bu espriye bir alkış tufanıyla, ayaklarıyla yeri döverek karşılık verirdi; ben de her ders, yer yarılsa da içine girsem diye düşünürdüm."

Payne bir süre sonra Eddington'la iletişime geçti. Eddington onun şevkini fark ederek, Rutherford'dan çok daha cesaret verici davrandı. Araştırmaya katılmasına izin verdi. Ayrıca, yeni ve radikal kuantum fiziği kuramını keşfedenler arasında yer alan Niels Bohr, Payne'i bu kuramla tanıştırdı. Fakat okulun son yılında Payne bir çıkmaza girmekte olduğunu fark etti. Cambridge Üniversitesi'nde kadınların yüksek dereceler almasına izin verilmiyordu. (Aslında kadınlara resmi olarak diploma bile verilmiyordu; mezuniyet törenine davet edilmiyorlardı.) Böylece Payne, Cambridge'den sonra –epey çaba ve ısrarla– Harvard'ın gözlemevinde bir burs ayarlamayı başardı. Oranın müdürü olan Harlow Shapley'nin yanında çalışacaktı.

ABD'nin Massachusetts eyaletindeki Cambridge'de, Harvard Üniversitesi kampüsünden yaklaşık 1,5 km uzaktaki ufak bir tepede bulunan gözlemevi, kadınları istihdam etmesiyle tanınıyordu. Çünkü önceki müdür Edward Pickering, kadınların çalışkan ve akıllı olmalarının yanı sıra, bütçe bakımından da önemli ölçüde kârlı olduklarını fark etmişti. Pickering, gökyüzünün envanterini çıkarmak için girişilen emsalsiz çaba için seksenden fazla kadını işe almıştı. Yarım milyon levhalık bir fotoğraf koleksiyonunu işlemekle görevli bu kadınlara "Pickering'in bilgisayarları" –daha yaygın olarak da "Pickering'in haremi"– diyorlardı.

Shapley, Payne'in yıldızları sınıflandırmak ve kataloglamak için levhaları kullanma çalışmalarına katılabileceğini düşündü. Ama Payne ilk bağımsız araştırmasında, Cambridge Üniversitesi'ndeki profesörlerinin önerdiği daha iddialı bir sorunu çözme isteğindeydi.[7] Kozmos anlayışımızdaki büyük bir kör noktayı araştırmak istiyordu: Yıldızlar nelerden oluşur?

Biliminsanları halihazırda belli bir bilgiye sahipti. Harvardlı astronomlar, fotoğrafladıkları yıldızların ışık spektrumlarını fotoğraf levhalarına kaydediyordu; bu da yıldızlardaki elementler hakkında birçok ipucu sunuyordu. Çünkü bir yıldız her renkten (yani her rengin dalga boyundan) ışık yayar ama periyodik tablodaki her element ken-

dine özgü belli bir dalga boyu kümesini soğurur. Dolayısıyla bir yıldızdaki herhangi bir element atomu, o yıldızın ışığı bize ulaşmadan önce kendine özgü belli dalga boylarını soğuracaktır. Astronomlar yıldızın spektrumunun yatay kesitine baktıklarında, bu dalga boylarının eksik (soğurulmuş) olduğu yerlerde ince siyah çizgiler görüyorlardı. Bu çizgiler, soğuran elementlerin kimliğini ortaya çıkarıyordu. Yani cam levhalar, spektral parmak izleriydi; bir nevi kozmik barkod gibi. Yıldızların, yeryüzünde bulunan demir, oksijen, silikon ve hidrojen gibi birçok elementi içerdiğini göstermişlerdi.

Fakat astronomların bir sorunu vardı. Spektral çizgilerin örüntülerinde yorumlamayı güçleştiren anomaliler vardı. Levhalar biliminsanlarına bir yıldızın hangi elementleri içerdiğini söylüyor ama her bir elementten ne kadar bulunduğunu belirtmiyordu.

Diğer yandan, astronomlar bunu zaten bildiklerini düşünüyordu. Yıldızlarla gezegenler aynı maddelerden oluşuyor olmalıydı. O zamanlar pek çok kişi, gezegenlerin geçmekte olan bir yıldızın Güneş'ten sıcak gaz parçaları koparmasıyla oluştuğuna inanıyordu; bu durumda da aynı bileşime sahip olmaları gerekiyordu. Hatta en önde gelen yıldız uzmanı Henry Norris Russell, Güneş'in de Dünya gibi devasa bir demir çekirdeğe sahip olduğundan emindi. Yerkabuğunu Güneş sıcaklığına kadar ısıtırsanız, spektrumlarının hemen hemen aynı olacağını düşünüyordu.

Payne'in araştırmak istediği şey buydu. Yıldızlardaki çeşitli elementlerin oranlarını belirlemek için levhaları kullanmak istiyordu. Araştırmasını uzaklardaki Kalküta'da çalışan parlak astrofizikçi Meghnad Saha'nın geliştirdiği yepyeni bir kuramı kullanarak yapmaya niyetliydi. Yeni kuantum mekaniği kuramına göre, elektronlar çekirdeğin etrafında ancak belirli bazı yörüngelerde dönebiliyordu; çekirdekten uzaklaştıkça enerji düzeyleri yükseliyordu. Bunu temel alarak, farklı sıcaklıklardaki yıldızlarda bulunan aynı element atomlarının farklı yörüngelerde elektronlara sahip olabileceğini (hatta en sıcak yıldızlardakilerin elektron yitirebileceğini) öne sürmüştü Saha. Bu farklılıklar, aynı elementin atomlarının farklı dalga boylarındaki ışık kümelerini soğurmasına neden olabilirdi; bu da yıldızların ışık spektrumlarını yorumlarken kafa karıştırırdı.

Payne, Saha'nın denklemlerini Harvard'ın geniş levha koleksiyonuna uygulamak gibi zorlu bir işi üstlenmeye hevesliydi. Bunu yapabilecek kadar kuantum kuramı bilgisi olan Harvard'daki tek kişi de oydu zaten.

Geniş koleksiyonun bulunduğu büyük tuğla binanın üçüncü katındaki ofisinde, Payne sabahtan akşama kadar ayaktaydı; binlerce yıldızın spektrumundaki kafa karıştırıcı farklılıkları tek tek analiz ediyordu.[8] O levhalar bugün hâlâ aynı binada, sararmış kılıflarında duruyor. Oraya gittiğimde, Payne'in eski lisansüstü öğrencilerinden biri olan astronom Owen Gingerich bana levhalardan birini gösterdi. Üzerinde her biri yaklaşık yarım santim kalınlığında olan koyu renk şeritler vardı; iyi görmek için büyüteç gereken, farklı yoğunlukta ve sınırları net olmayan bir sürü açık renk çizgiyle süslüydüler. "Bakınca insan şaşakalıyor," dedi Gingrich. "Örüntüleri tanımayı bilmek lazım. Ama günler boyu baktıkça tanıdık gelmeye başlıyorlar."[9] Bütün o ufacık lekelere bakarken, buna inanmak zordu.

Gözlemevi müdürü Shapley, akşamları ara sıra Payne'in ofisine uğruyordu. Onu ağzında her daim bir sigarayla levhalara göz gezdirirken, bulanık çizgilerdeki örüntüleri tanımaya ve kendi hesaplamalarıyla eşleştirmeye çalışırken buluyordu. O günlere dair şöyle yazacaktı Payne: "Çoğu zaman bitkinlik ve umutsuzluk içindeydim; gün boyu ve gece geç saatlere kadar çalışıyordum." Böylece "tam bir şaşkınlık içinde" geçen aylar birbirini kovalayarak neredeyse bir yıl geride kaldı.[10]

Ama sonunda parçalar yerine oturdu. Saha'nın denklemlerini kullanarak hiç beklenmedik bir şey keşfetti Payne. Tezinin ilk taslağında cesur bir iddiada bulunarak, hemen herkesin inandığının aksine, yıldızların bileşimi ile yeryüzünün bileşiminin tamamen farklı olduğunu öne sürdü. Demir, silikon, oksijen ve alüminyum gibi Dünya'da bol bulunan elementlerden yıldızlarda çok az vardı. Onların yerine, her yıldız yüzde 98 oranında hidrojen ve helyumdu. Hidrojen, Dünya'ya kıyasla Güneş'te bir milyon kat daha boldu.

Bu çok tuhaftı. Cambridge Üniversitesi'nde ona öğretilen şey bu değildi; öğretmenlerinin Dünya'nın oluşumu konusundaki düşüncelerine de kesinlikle uymuyordu. Fizikçi Alfred Fowler ona şöyle de-

mişti: "Bayan Payne, çok cesursunuz."[11] Shapley, Payne'in tezinin bir taslağını, Princeton'da seçkin bir astronom olan eski danışmanı Henry Norris Russell'a gururla gönderdi. Russell'ın yanıtı övgü doluydu ama önemli bir uyarısı vardı. Payne'in yıldızların neredeyse tamamen hidrojen ve helyumdan oluştuğu yönündeki iddiası "besbelli ki imkânsız"dı.[12] Aksini düşünmek için güçlü nedenler vardı; buna Güneş'in bolca demir içerdiğini düşündüren nedenler de dahildi.[13] Güneş'in spektrumunda diğerlerinden çok daha fazla demir çizgisi bulunmasının yanı sıra, birçok göktaşı demirdendi ve Dünya'nın çekirdeği de demir doluydu. Russell'a göre tüm bunlar, demirin tüm gök cisimlerinde bol miktarda bulunması gerektiğini açıkça ortaya koyuyordu.

Henüz lisansüstü öğrencisi olan Payne, nüfuzlu uzmanın dediklerini kabul etti ya da en azından kabul etmiş gibi yapması gerektiğini hissetti. "Onun söyleyecekleri, genç bir biliminsanını vezir de rezil de edebilirdi," diye yazacaktı sonradan.[14] Tezinde, vardığı sonuçların o kısmının "neredeyse kesinlikle gerçek olmadığı" şeklinde bir uyarı yazdı.[15] ("Hayatı boyunca bu kararına hayıflandı," diyecekti daha sonra Payne'in kızı, yazar Donovan Moore'a.[16]) Ama birkaç yıl sonra, kuantum kuramındaki gelişmeler ve başkalarının Payne'in sonucuna farklı yollarla ulaşması nedeniyle Russell onun keşfini doğruladı.[17]

Payne'in tezi uzun süre boyunca, astronomide yazılmış en parlak doktora tezi olarak kabul edildi. Ünlü astronom Edwin Hubble onu "Harvard'ın en başarılı adamı" olarak nitelendirdi.[18] Buna rağmen, kariyerinde ilerlemesi uzun zaman alacaktı. Yıllarca dersleri Harvard'ın kataloğunda yer almadı.[19] Öğretim görevlileri arasında bir kadın olması düşüncesi karşısında dehşete düşen üniversite rektörü Lawrence Lowell, kendisi hayatta olduğu müddetçe Payne'in akademik unvan alamayacağına yemin etti. Hakikaten de Payne ancak 1956'da, yani Lowell'ın ölümünden yıllar sonra profesörlüğe atandı.

Payne'in keşfi, yıldızların işleyişi konusundaki görüşümüzü değiştirdi. Büyük ölçüde hidrojen ve helyumdan oluştuklarını bilmek, çözümü uzun süredir aranan bir diğer bilmece olan yıldızların yakıtının ne olduğu sorusunu yanıtlamayı sağladı. Araştırmacılar yıldızların basınçlı iç kısımlarında, tek protonlu hidrojen atomlarının kayna-

şarak iki protonlu helyum atomları oluşturması sırasında enerji açığa çıktığını keşfettiler. Güneş, ısıyı ve ışığı bu yolla üretiyordu. Payne sayesinde edinilen bu yeni kavrayışla, biliminsanları daha ağır elementlerin nasıl ortaya çıktığı konusundaki gizemi sonunda çözebilecek konuma geldi. Yanıt yıldızlardaydı.

Elementlerimizin nereden geldiğini ilk keşfeden kişi, en son Büyük Patlama fikriyle dalga geçerken bıraktığımız Fred Hoyle'du. Orta boylu, gözlük camları şişe dibi gibi olan, dağınık saçlı ve muzip gülümseyişli bir adamdı Hoyle. Yorkshire'ın köylerinden birinde geçen ilkgençliği sırasında, öğretmenlerinin "aptallığı"ndan rahatsız olduğu için okuldan kaçma sanatında ustalaşmıştı;[20] çoğu zaman haftalarca veya aylarca okula uğramadığı oluyordu. "Hasta" olmadığı zamanlarda kanal havuzlarının yakınlarında takılıyor, koruluklarda ya da tarlalarda geziniyordu.[21] Evde ebeveyninin kitaplığında bulduğu bir kimya kitabını karıştırmış ve kendi imalatı olan barutu patlatarak arkadaşlarını etkilemişti. Bir biliminsanı olarak Hoyle'un bazen tartışmacı ve ters davrandığı, tutuculuğa karşı nefretini neşeyle sergilediği olurdu. Bu kuşkuculuğu babasından miras almıştı. (Babası, makineli tüfekler ile Britanya yüksek komutasındaki beceriksizliğin korkunç bir karışımının, Birinci Dünya Savaşı sırasındaki Somme Muharebesi'nin mevzi harbinde birliğini yok ettiğine tanık olmuştu.) Hoyle vefatına kadar Büyük Patlama'yı kabul etmedi. Yine de "dünyanın şimdiye kadar ürettiği en yenilikçi zihinlerden biri"[22] ve "kendi kuşağının en yaratıcı ve özgün astrofizikçisi" olarak anılıyor.[23]

Hoyle Cambridge Üniversitesi'nde fizik okumaya karar vermişti, ama öncesinde matematikte ustalaştı. Bu sayede, ilgisi astronomiye kaydığı zaman istatistik konusunda çoktan bilgili olma avantajına sahipti ve bu bilgisini çekirdeksel (nükleer) parçacıkların karmaşık tepkimelerine uygulayabildi.

1940'larda Hoyle elementlerin kökeni konusunda düşünmeye başladı. Fizikçi George Gamow, Büyük Patlama'nın yol açtığı sıcaklık değerlerinin muazzam boyutlarda olması gerektiğini zaten fark etmişti. Böylece Gamow, tüm element çekirdeklerinin bu ilk havai fişekler sırasında kısa sürede proton ve nötronlardan oluştuğunu ko-

yutladı. Dediğine göre, "ördeği ve patatesleri fırında pişirmek için gereken süreden daha çabuk" tamamlanmıştı bu olay.[24] İddiası mantıklı görünüyordu; eğer bir evren inşa edecekseniz, önce bütün yapıtaşlarını yaratarak işe başlarsınız. Ama Gamow'un hesaplamalarından bazıları iyi sonuç vermiyordu. İlk birkaç elementten sonra takılıp kalmıştı.

O noktada Hoyle devreye girdi. Payne'in cam levhalarının, yıldızların hidrojen ve helyuma ek olarak, az miktarda oksijen, karbon, demir ve başka elementler de içerdiğini ortaya çıkardığını biliyordu. Her yıldızda bu elementlerin oranlarının biraz farklı olması, Hoyle'a yıldızların kendilerinin yeni element üreten fabrikalar olabileceğini düşündürdü. Ancak bu pek mümkün görünmüyordu: Fizikçiler yıldızların yeterince sıcak olmadığını hesaplamıştı.[25] Yeterli enerjileri yoktu.

Bunun nedeni, periyodik tablodaki ilk element olan hidrojenin çekirdeğinde tek bir proton olması ve onun ardından gelen 117 elementte proton sayısının birer birer artmasıydı. Helyumda iki, berilyumda üç diye gidiyordu. Bunu üretmek kolay gibi görünse de, simyacılığın günümüzdeki versiyonlarına aşina olanların bileceği üzere, kolay değildi. Bir çekirdeğe bir proton eklemek absürd miktarda enerji gerektirir, bunun da basit bir nedeni vardır. 1930'lara gelindiğinde, bir çekirdekteki protonları bir arada tutan kuvvetin, kütleçekim ve elektromanyetizmadan farklı bir üçüncü kuvvet olduğu keşfedilmişti. Bu kuvvet, inanılmaz derecede güçlü bir tutkal olan "güçlü çekirdek kuvveti" (veya "güçlü nükleer kuvvet") idi. Fakat bu kuvvet sadece aşırı kısa mesafelerde etkilidir. Uzaklık arttığında, elektromanyetizma baskın çıkar. Dolayısıyla bir çekirdeğe doğru uçan başıboş bir proton, çekirdekteki protonların da elektrik yükü aynı işaretli olduğundan, elektromanyetik kuvvet tarafından güçlü bir şekilde itilecektir; tabii eğer güçlü çekirdek kuvvetinin onu yakalayabileceği kadar yakına uçacak enerjiye sahip değilse. Astronomların hesaplamalarına göre yıldızlar, içinde iki proton bulunan helyumdan daha ağır çekirdekler oluşturmaya yetecek kadar enerjiye sahip değildi. Yıldızların sıcaklıkları, proton eklemek için gerekenden çok daha düşüktü.

Hoyle elementlerin nasıl oluştuğu konusunda bir yerlerde bir

açıklama olması gerektiğini biliyordu. Ama nerede?

1944 yılında yaptığı bir gezi Hoyle için her şeyi değiştirdi. İkinci Dünya Savaşı şiddetini artırırken, Hoyle Britanya ordusu için radar güdümlü silahlara karşı önlemler tasarlıyordu. Radar teknolojisiyle ilgili çok gizli bir toplantı için ABD'nin başkenti Washington'a gitti.[26] Hazır oraya gitmişken, izin almamış olsa da biraz serbest astronomi çalışması yaptı. Princeton'da büyük yıldız uzmanı Henry Norris Russell ile tanıştı. Russell ona Wilson Dağı Gözlemevi'ni ziyaret etmesini salık verdi; dünyanın en güçlü teleskobu oradaydı.

Edwin Hubble'dan sonra oradaki en önde gelen astronomun, savaş zamanında resmi açıdan düşman uyruklu bir kişi olması ironikti. Astronomların çoğu savaşa yönelik araştırmalarla görevlendirilmişti ama 1931'de Almanya'dan göç etmiş olduğundan, Walter Baade için bu geçerli değildi. Baade'nin Los Angeles County'den çıkış yasağı vardı. Ayrıca yabancı uyruklular için geceleri uygulanan sokağa çıkma yasağı yüzünden teleskobu kullanması da aslında yasaktı, ama gözlemevi müdürü orduya başvurararak onun muaf tutulmasını sağlamıştı.[27] Baade bu fırsatı büyük bir avantaja dönüştürdü; teleskobu kullanma süresi konusunda çok az rekabet vardı ve kısmi savaş kararmaları, gökyüzü gözlemini kolaylaştırıyordu. Baade pek çok şeyin yanı sıra, Hoyle'a çok büyük kütleli yıldızların sessizce sönmediğini keşfettiğini de anlattı; bir meslektaşıyla beraber süpernova olarak adlandırdıkları devasa bir patlamayla ölüyorlardı. Dahası, son yaptığı araştırmanın ardından, süpernovaların en sıcak yıldızlardan bile çok daha fazla ısı ürettiğine ikna olduğunu söyledi.[28] Hoyle büyük bir ilgiyle dinledi.

Hoyle'un yıldızlar hakkındaki düşünceleri Montréal'e gittiğinde derinleşti. Orada dünyanın ilk nükleer enerji reaktörünü tasarlamakta olan Britanyalı biliminsanlarıyla tanıştı; en azından görünürdeki amaçları buydu. Gerçekteyse, Hoyle'un anladığı kadarıyla, Britanya'nın atom bombası projesinde yer alıyor ve Kanadalı çalışma ortaklarından Manhattan Projesi* hakkında istihbarat toplamaya çalışıyor-

* Atom bombası çalışmaları, ABD'nin önderlik ettiği Manhattan projesi kapsamında yürütülüyordu. –*ç.n.*

lardı.[29] Çalışmaları hakkında yaptıkları muğlak açıklamalar, nükleer fizik konusunda gayet bilgili olan Hoyle'un, ABD'nin plütonyumlu atom bombasının işleyiş ilkesini kavraması için yeterli oldu. Geleneksel patlayıcı etkisiyle üretilen çok güçlü bir patlamanın, bombada çok daha yıkıcı bir nükleer patlamaya yol açabileceğini anladı.

Cambridge'e döndüğünde Hoyle süpernovaların da aynı şekilde patlıyor olma ihtimalini düşünmeye başladı. Yıldızın yakıtı bittiğinde, plütonyum bombasında olana benzer bir süreçle çok daha büyük bir patlamaya mı yol açıyordu acaba?[30]

Eğer durum öyleyse, hesaplamalarına göre yıldız patlamadan çok önce ısısı yavaş yavaş artarak, hayal bile edilemeyecek değerlere ulaşıyor olmalıydı. Belki de elementlerin kökeni probleminin yanıtı, her gece gözümüzün önünde duruyordu. Acaba kırmızı dev olarak adlandırılan çok büyük kütleli bir yıldız, daha patlamadan, hidrojeni başka elementlere dönüştürecek kadar ısınıyor olabilir miydi?[31] Bunun olmasını sağlayabilecek tepkimeleri hesaplamayı bir denemek için nükleer fizik ve istatistik bilgisini kullanmaya karar verdi.

Hoyle'un varsayımına göre, büyük kütleli bir yıldızın merkezindeki tüm hidrojen helyuma dönüştükten sonra, salınan enerji yıldızı daha sıcak duruma getirmiş olacaktı; dolayısıyla yıldızın içindeki parçacıklar daha hızlı hareket edecekti. Her biri iki protonlu olan üç adet helyum çekirdeği, artık o kadar sert çarpışacak enerjide olacaktı ki aralarındaki itici kuvveti yenerek tek bir çekirdek biçiminde kaynaşabilecek ve altı protonlu karbonu oluşturacaklardı. Bir yıldız daha fazla enerji salan karbon yapımını gerçekleştirdiğindeyse, içi daha da ısınacak ve içindeki parçacıklar daha da hızlanacaktı. Yani yıldız kendi kendini gaza getiriyordu bir nevi. Hoyle'un hesaplamaları, sıcaklığı ve basıncı artıran ardışık tepkimelerin, 26 protonlu demire kadar olan tüm öteki elementlerin nasıl üretildiğini gösteriyor gibiydi ilk başta. Hoyle muazzam bir atılım yapmış gibi görünüyordu.

Ama sonra duvara tosladı. Karbon atomunun oluşum tepkimelerinin enerjisinde tutarsızlık vardı. Bir yıldız önce karbon üretmeden daha ağır elementleri oluşturamayacağından, kuramının tamamı kuşkulu duruma geldi. Hoyle takılıp kalmıştı.

Birkaç yıl sonra, Kaliforniya'nın Pasadena kentindeki Caltech'te

birkaç ay geçirmek üzere davet edilen Hoyle, orada bir konferans vermeye hazırlanırken bu çıkmazı yeniden gözden geçirdi. Aslında karbon üretimi için gereken enerjiyi tutturmanın bir yolu olabileceğini düşündü: İki helyum atomu çarpıştığında, neredeyse aynı anda üçüncü bir helyum atomu onlara çarparsa mümkün olabilirdi bu. Fakat o durumda da bir sorun vardı: Tepkime, karbonun var olamayacak kadar yüksek enerjili bir biçimini üretecekti.

Bir atomun enerjisi, protonları ile nötronlarının düzenleniş biçimine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Hoyle'un hesapladığı tepkimeler, o zamana dek deneylerde saptanmış olan karbon atomu enerjilerinden daha yüksek bir değer veriyordu. Hatta net miktarı da hesaplamıştı: 7,65 milyon elektron volt.

Yine de Hoyle doğru iz üzerinde olduğunu hissediyordu. Karbonun evrendeki altıncı en yaygın element olduğunu biliyordu. Vücut kütlemizin de yaklaşık yüzde 23'ü karbondan oluşur.[32] Böyle bir elementin, yıldızlardan başka bir yerde oluşabileceğini sanmıyordu. Belki de karbon o enerji seviyesinde de vardır da henüz bulunmamıştır, diye düşündü.

Heyecanlanan Hoyle cüretkâr bir tahmin yürüttü. Büyük yıldızlarda, her biri iki protonlu üç helyum atomunun çarpışmasıyla, altı protonlu karbon atomunun oluştuğunu ileri sürdü. Ama oluşan karbon atomu kararsızdı; dolayısıyla enerji yayıp etrafta gördüğümüz daha az enerjili biçime dönüşüyordu. Var olduğumuza ve karbondan oluştuğumuza göre, tahmininin doğru olması gerektiği iddiasındaydı. Evren karbonla doluydu ve karbonun oluşmasının başka bir yolu yoktu.

Neyse ki Hoyle o esnada Caltech'teydi; yani dünyanın en büyük nükleer deneycilerinden bazılarının parçacık hızlandırıcılarla çalıştığı yerde. Bir gün ekip lideri olan iriyarı William Fowler'ın odasına daldı ve ondan tahminini test etmesini istedi. Fowler, İngiliz aksanıyla konuşan cins bir adamın işini bölmesine sinir olmuştu. "Bu tuhaf çelimsiz adam karşımıza dikilmiş, bize yaptığımız tüm o önemli çalışmayı durdurmamız gerektiğini söylüyordu... Onu başımızdan savdık. 'Bize bulaşma delikanlı, işimize engel oluyorsun,' dedik."[33]

Ancak Hoyle, Fowler'ın grubunun peşini bırakmadı. En sonunda, Hoyle'un öngörüsü hiç olası görünmese de, doğru çıkması halinde

çok önemli olacağını fark ettiler. Böylece kuramını test etmeyi kabul ettiler. İçinde karbon oluşturmayı deneyecekleri küçük bir parçacık hızlandırıcıya, bir atomun enerjisini ölçebilen bir spektrometre bağlayacaklardı.

Hoyle sonuçları beklerken gergindi. "Her gün laboratuvara girerken, ensemde sıcak bir rüzgâr hissediyordum," diye hatırlayacaktı daha sonra. Suçlu mu masum mu bulunduğunun anons edilmesini bekleyen bir tutuklu gibiydi.[34]

Birkaç ay süren testlerden sonra, fizikçiler tam olarak Hoyle'un öngördüğü enerji düzeyinde bir karbon biçimi bularak şok oldular.[35] Fowler hayretler içerisindeydi. Daha önce hiç yapılmamış bir şeydi bu: astrofizik ve yıldızlarla ilgili bir kuramı kullanarak, böylesine mikroskobik bir şeyi, bir atomun çekirdek yapısını tam olarak öngörmek. Hoyle sonucu duyduğunda, Kaliforniya'nın çok sevdiği portakal ağaçlarının kokusunun ona daha da tatlı geldiğini yazacaktı sonradan. Elementlerin nasıl oluştuğunun gizemi böylelikle çözülmeye başlamış oldu.

Büyük Patlama'dan sonra uzay epeyce genişleyip, büyük hidrojen bulutları uzayın içerilerine doğru sürüklendiğinde, ortam artık yeni elementlerin oluşması için hazırdı. Yaklaşık iki yüz milyon yıl sonra, kütleçekimin amansız mengenesi en büyük hidrojen bulutlarındaki atomları o kadar sıkıştırmaya başladı ki, korkunç ısı ve basınç atomların çekirdeklerini nükleer reaktörlere dönüştürdü. Hidrojen atomları kaynaşarak helyum oldu. Serbest kalan muazzam enerji, bulutları tutuşturarak yanan yıldızlara dönüştürdü. Yıldızlar da ısı yayarak, zifiri karanlık evrenimizi ilk kez aydınlattı.

Bu kadarı zaten anlaşılmış durumdaydı. Hoyle ise çok büyük bir yıldızın, merkezindeki tüm hidrojeni tükettikten sonra şiddetli yeni bir aşamaya girdiğini anlamıştı. Kütleçekim merkezdeki helyumu o kadar sıkıştırıyordu ki o da yanmaya başlıyordu. Bu aşırı sıcak girdapta helyum çekirdekleri öyle şiddetli çarpışıyordu ki, itici kuvvetler bastırılıyor ve bu sayede içimizdeki karbon oluşuyordu. Karbon oluştuktan sonra, yıldız dokuz canlı bir kedi gibi başkalaşım geçiriyordu. Kaynaşmanın açığa çıkardığı ısı, yıldızın katmanlarını dışa

doğru itiyor ve onu koca bir "kırmızı dev"e dönüştürüyordu. Bizim yıldızımız olan Güneş helyumdan daha ağır elementler yaratamayacak kadar küçük, ama yine de yaklaşık altı milyar yıl sonra benzer bir yazgı onu bekliyor. Yüzeyi o kadar şişecek ki Dünya'yı da yakıp kül edecek.

Hoyle, çok eski zamanlarda büyük yıldızların kırmızı devlere dönüşmesiyle evrenin çok daha ilginç bir yer haline geldiğini fark etti. Sıcaklıklarının giderek artması nedeniyle, yıldızların merkezlerinin etrafında soğan gibi katman katman yeni elementler oluşup yok oluyordu: Karbon oksijene, oksijen neona, neon magnezyuma, magnezyum silikona dönüşüyor ve çekirdeğinde 26 proton olan demire kadar bu böyle gidiyordu.

Atomlarımızın çoğu işte böyle oluştu. Yüzde 88'inden fazlası, çok büyük kütleli kırmızı devlerden birinin şiddetli ateşinde pişti. Bunların arasında hareket kabiliyetimizin yakıtı olan oksijen, kemiklerimizdeki kalsiyum, sinirsel sinyallerimizi ileten sodyum ile potasyum ve DNA'mızdaki hidrojen hariç tüm elementler yer alıyor. En beceriklileri olan karbon, kütle bakımından ikinci en bol elementimiz (ilk sırada oksijen var). Vücudumuzdaki bütün suyu çıkarsaydık, karbon kemiklerimizin yüzde 1'den azını, ama dokularımızın yaklaşık yüzde 67'sini oluştururdu.[36] Proteinlerimizin, şekerlerimizin ve yağlarımızın omurgası karbon zincirleridir. Izgara bifteğin üzerindeki siyahlaşan kısımlarda, yıldızlarda oluşmuş karbonu görürsünüz. Kırmızı devlerin iç kısmında oluşan elementler (demire kadar olanlar) konveksiyon akımlarıyla devin yüzeyine doğru taşınır. Sonra da yıldız rüzgârları –büyük ölçüde elektron ve proton akışları– onları devasa bulutlar halinde uzaya sürükler.

Fakat Hoyle demirden ağır elementlerin nasıl oluştuğunu hesaplamaya çalışırken başka bir duvara tosladı ve bu kez ilerleyemez oldu. Demire kadarki elementler oluşurken, tepkimeler daha ağır elementlerin yapımında kullanılabilecek bir sürü enerjinin açığa çıkmasına neden oluyordu. Demirden sonrakiler içinse artık öyle bedava enerji yoktu. Hoyle'un hesaplamalarına bakılırsa, bir yıldız akıl almaz miktarda ilave enerji bulmadığı takdirde, demirden daha ağır elementler oluşturamazdı.

Hoyle kafasında soru işaretleriyle kalakalmıştı. Yeryüzünde demirden daha ağır altmış altı element vardır.[37] Bunların kırk küsuru eser miktarda bedenimizde de bulunur; enzimlerimizdeki bakır ve selenyum ya da diş minemizdeki flor gibi. Acaba onları üretecek enerji nereden gelmişti? Evrenin bir yerlerinde gerçekleşen bir olay, çok fazla enerji salmış olmalıydı. Ama bunun nerede olduğunu Hoyle'a söyleyebilecek kimse yoktu.

Caltech'te bir parçacık hızlandırıcıya komşu olan penceresiz bir odada, Hoyle azimle çalıştı. Daha önce biraz sürtüştüğü ama sonra çalışma arkadaşı olan William Fowler'ın yanı sıra astronomlar Margaret ve Geoffrey Burbidge ile bir ekip oluşturdu. Sürgülü hesap cetvelleri, ilkel hesap makineleri ve nükleer fizik hakkındaki kolektif bilgilerini kullanarak, eskiden Güneş'ten çok daha büyük olup da kırmızı deve dönüşmüş büyük kütleli yıldızların ileri yaşlarında neler olduğunu incelediler. Kırmızı devin merkezi bütünüyle demire dönüştükten sonra faaliyetin bir anda durduğunu, merkezdeki tepkimelerin aniden sonlandığını keşfettiler. Bu kötü haber demekti. Devasa yıldız, artık dış katmanlarını ayakta tutacak kadar enerji üretmiyordu. Nefes kesici tek bir saniye içinde, yıldızın merkezi, çapı 50 km'den daha küçük ama yoğunluğu Dünya'dan 300 bin kat daha yüksek bir topa dönüşüyordu. (Bilye büyüklüğünde bir parçası, bir milyar tondan fazla çekerdi.) Bu ani daralma, yıldızın katmanlarına dehşet verici şok dalgaları gönderiyor ve tüm patlamaların en büyüğünü (evrendeki en güçlü patlamalardan biri olan süpernovayı) tetikliyordu. İlk olarak Walter Baade'nin farkına vardığı, bir yıldızın patlayarak ölme senaryosuydu bu.

Ölmekte olan devasa yıldız, günler hatta belki aylar boyu yüz milyar Güneş'e eşdeğer şekilde parlayarak yanıyordu.[38] Bu sıcaklıkların tüm diğer elementleri oluşturacak kadar yüksek olduğunu düşünebilirsiniz, ama Hoyle'un ekibi bundan emin olamıyordu. Dört yıl önce yapılan ilk hidrojen bombası testinden elde edilen ve yeni yayımlanan verilere baktıklarında, kendilerine olan güvenleri arttı.[39] Patlama, 150 km genişliğinde bir mantar bulutu oluşturarak Marshall Adaları'ndaki ufak bir mercan ve kum adacığı olan Elugelab'ın icabına bakmıştı. Biliminsanları enkazın içinde, patlamanın yarattığı ve yarı öm-

rü altmış gün olan çok ağır bir radyoaktif element buldular. Hoyle'un ekibi, süpernovalardan gelen ışığın da aynı hızda söndüğüne ilişkin kanıtlar buldu;[40] bu bulgu, bir süpernovanın o elementi üretecek kadar sıcak olduğunu onaylıyor gibiydi. Ama bunun –diğer pek çokları gibi– yanlış bir ipucu olduğu ortaya çıktı. Yine de Hoyle'un ekibi doğru yolda olduklarını hissediyor ve bu da onları motive ediyordu.

Bir gün Caltech'teyken, Hoyle'un öğle yemeğinden önce biraz boş vakti vardı. O da demirden ağır elementlerin evrendeki miktarını tahmin etmek için ekibin denklemlerini kullanmayı denemeye karar verdi. Her hesaplamada heyecanı daha da artıyordu. Sonuçlar, araştırmacıların Dünya'yı ve göktaşlarını inceleyerek ve Cecilia Payne'in tekniğiyle yıldızların bileşimini ölçerek yaptıkları tahminlerle uyumluydu. Hoyle'un rakamlarının tutmadığı birkaç durumda ise hesaplamaların değil, ölçümlerin yanlış olduğu ortaya çıktı.

Ekibin 107 sayfalık başyapıtı "Elementlerin Yıldızlarda Sentezlenişi" şimdiye kadar yayımlanmış en önemli bilimsel makalelerden biri olarak kabul ediliyor. Bu makale, elementleri oluşturan sekiz farklı çekirdek tepkimesi dizisini ortaya koyuyordu. Kırmızı devlerin derinliklerinde gerçekleşen füzyonun, demire kadar olan tüm elementlerimizi nasıl yarattığını detaylı biçimde açıklıyordu. Kocaman bir kırmızı devin ani çöküşü bir süpernova patlaması tetiklediği zaman, milyarlarca derecelik akıl almaz sıcaklıklarda parçacıkların nasıl piştiğini gösteriyordu. Bu sıcaklık değerleri, Güneş'in merkezindeki 27 milyon dereceden binlerce kat daha yüksekti.[41] Nötronlar, protonlar ve çekirdekler ışık hızına yakın bir hızla çarpışmış ve birleştiklerinde vücudumuzdaki en ağır elementler de dahil olmak üzere evrendeki tüm elementleri oluşturmuşlardı.*

Hoyle çığır açan çalışmasından ötürü övgüler, ödüller ve hatta şö-

* Süpernovaların bu elementleri yaratma süreci şöyledir: Patlama yüksek hızlı nötronlar salar. Nötronların yükü olmadığından çekirdekteki yüklü protonlarca itilmezler; dolayısıyla yeterince hızlı bir nötron çekirdeğe sızabilir. Çekirdeğe ulaşan fazladan bir nötron tıpkı bir Truva atı gibidir; çünkü bozunarak artı yüklü bir proton, eksi yüklü bir elektron ve enerji üretebilir. Nötron bu şekilde bozunduğu takdirde, elektronu çekirdekten salınırken protonu çekirdekte kalır ve atomu daha ağır bir elemente dönüştürür.

valyelik unvanıyla ödüllendirildi. Ancak bir fizikçinin alabileceği en büyük onur madalyası hep elinden kaçtı. Ekim 1983'te çalışma arkadaşı William Fowler, Nobel Ödülü'nü kendisinin kazandığını duyunca çok heyecanlandı ama Hoyle'un ödülü paylaşmayacağını öğrenince şok ve hayal kırıklığı yaşadı. Bunun nedeni hiçbir zaman açıkça belirtilmese de genel olarak biliniyordu. O zamana kadar Hoyle fiziğin kötü çocuğu haline gelmişti. Bir keresinde, "Sıkıcı ve doğru olacağına ilginç ve yanlış olmak yeğdir," demişti ve bu düsturu ziyadesiyle takip etti. Otoriteye olan saygısızlığını hiçbir zaman kaybetmedi ve kendisiyle aynı fikirde olmayan önde gelen meslektaşlarına hakaret etmekten çekinmedi. Üstelik parlak bilimsel çalışmalar yapmaya devam etmesine rağmen, aynı zamanda bazı provokatif, hatta uçuk kuramları da kamuoyu önünde savundu. Dünya'daki yaşamın uzay kaynaklı olduğu yönündeki iddiası (panspermiya) artık o kadar da çılgınca görünmüyor. Fakat bazı iddiaları öyleydi; Londra Doğa Tarihi Müzesi'ndeki ünlü *Archaeopteryx* fosilinin sahte olduğu ya da uzayın virüs ve bakteri bulutlarıyla dolu olup, belirli aralıklarla çıkan salgınlara (mesela 1918 gribine, boğmaca salgınlarına, hatta Lejyoner hastalığına) neden oldukları gibi.[42] 2001'de vefat eden Hoyle, Büyük Patlama'yı kabul etmeye hiçbir zaman yanaşmadı.

Payne'in ve Hoyle'un keşifleri sayesinde, zamanın başlangıcından itibaren tüm atomlarımızın yolculuklarının izini sürebiliriz. Büyük Patlama'yı takip eden saniyenin küçük bir kesrinde kuarklarla gluonlar protonları oluşturdu; bundan birkaç dakika sonra gerçekleşen nükleosentez sürecindeyse, vücudunuzdaki hidrojen atomlarının çekirdekleri oluştu. Büyük Patlama'dan yaklaşık iki yüz milyon yıl sonra, diğer elementlerinizden demire kadar olanlar, aşırı sıcak kırmızı devlerin derinliklerinde oluşmaya başladı. Kırmızı devlerin sürekli artan ısılarında çekirdekler şiddetli bir şekilde çarpıştı; protonlar ve nötronlar bunlara yüksek bir hızla çarpınca da daha ağır elementler ortaya çıktı. Büyük Patlama'dan gelen hidrojen ve kırmızı devlerde oluşan elementler (temel olarak oksijen, karbon, azot, kalsiyum ve fosfor) yüzde 99'unuzu oluşturuyor. Geriye kalan yüzde 1'iniz ise kırmızı devler süpernova patlaması yaptığında ortaya çıkan çinko ve

manganez gibi daha ağır elementlerdir. Bunlar evrendeki en güçlü patlamalar sırasında milyarlarca derecede piştiler.*

Sonra atomlarınız onları oluşturan yıldızlardan uzaklaşırken, yeni kırmızı devlere dönüşen girdaplı toz ve gaz kütlelerinin içinde buldular kendilerini. Ya da sonradan başka süpernovalar olarak patlayan büyük yıldızlara sürüklendiler. Milyarlarca yıl boyunca, atomlarınız pek çok yıldızda tekrar tekrar işlem görmüş olabilir.

Beş milyar yıl kadar önce atomlarınız, şu anda Güneş Sistemi'ni içeren boş uzayın yakınlarına doğru, devasa bir bulut halinde akıyordu. Nihayet, onları size dönüştürecek olağanüstü yolculuklarına çıkmışlardı.

Ama bu pek rahat bir yolculuk olmayacaktı. Aslına bakarsanız, dertleri daha yeni başlamıştı.

* 2017 yılında, içimizdeki altın gibi en ağır atomların ufak bir bölümünün aşırı şiddetli nötron yıldızı çarpışmalarında da oluşabildiği keşfedildi. Nötron yıldızları –büyük ölçüde– süpernovaların ardından oluşan nötronlardan meydana gelmiş egzotik yoğun yıldızlardır.

4

Şükredilecek Felaketler

Kütleçekim ve Tozdan Bir Dünya Yaratmak

Benim şüphelerim, evrenin sadece sandığımızdan daha acayip değil, sanabileceğimizden de daha acayip olduğu yönünde.[1]

J. B. S. Haldane

4,8 MİLYAR YIL ÖNCE, ileride bizi oluşturacak atomlar büyük gaz ve toz bulutları içinde ilerliyordu. Henüz ortada Güneş Sistemi, gezegenler ve Dünya yoktu. Aslına bakarsanız, katı formda ve dahası yaşama böylesine uygun durumda olan gezegenimizin nasıl ortaya çıktığını biliminsanları uzun süre açıklayamadı. Şu anda kayalık bir küre olan gezegenimiz, uçucu bir gaz ve toz bulutundan, sihirli değnek değmiş gibi nasıl beliriverdi? Yeryüzü ne zaman yaşam için bu kadar uygun duruma geldi? Canlılık evrilene kadar moleküllerimiz ne gibi badireler atlattı? Biliminsanları artık biliyor ki atomlarımız ancak şiddetli çarpışmalara, erimelere, bombardımanlara, yani insanlığın tanık olduğu her türlü yıkımı gölgede bırakan felaketlere göğüs gerdikten sonra yaşamı oluşturabildi.

Gezegenlerin nasıl oluştuğunu açıklamak o kadar zor görünüyordu ki, 1950'lere gelindiğinde çoğu astronom pes etmişti. Kuramlar hiçbir yere varmıyor gibiydi. İki yüzyıl önce, Alman felsefeci Immanuel Kant ile Fransız biliminsanı Pierre-Simon Laplace oldukça umut vaat eden bir kuram ortaya atmışlardı. Bu kurama göre, kendi etrafında dönmekte olan çok büyük bir gaz ve toz bulutunun içindeki

maddeyi kütleçekim merkeze doğru o kadar sıkıştırmıştı ki, aşırı yüksek sıcaklık ve basınç dolayısıyla bir yıldız yani Güneş oluşmuştu. Peki ama gezegenler nereden gelmişti? Kant ve Laplace'a göre, bir miktar serbest toz ve gazdan oluşan bir disk, Güneş'in etrafında dolanıp kendi etrafında dönmeyi sürdürmüş ve zamanla gezegenleri oluşturacak küçük bulutlara bölünmüştü. Fakat bu diskin nasıl parçalandığını ya da gezegenlerin bu küçük bulutlardan nasıl oluştuğunu ikna edici bir şekilde açıklayabilen yoktu.

1917'de İngiliz James Jeans, Cecilia Payne'in çağdaşlarının onayladığı yepyeni özgün bir yaklaşım benimsedi. Jeans'in tahminine göre, Güneş'in yakınından geçmekte olan bir yıldızın kütleçekimsel etkisi öyle güçlüydü ki Güneş'in yüzeyinden devasa gaz öbekleri kopardı ve bu öbeklerin her biri sonradan gezegen oldu. Gezegenlerin, yıldızların çarpışmasından artakalan enkaz parçaları olduğunu düşünenler de vardı. Ama öyle bir çarpışma sonucunda dokuz uzak gezegenin nasıl oluşabileceği muammaydı. Islak çamaşırları kurutma makinesine koyduktan sonra, kapağı açınca onları sadece kuru değil aynı zamanda düzgünce katlanmış halde bulmanızla aynı derecede muhtemel gibiydi bu. Sadece birkaç astronom bu soruyla ciddi biçimde uğraşmayı sürdürdü. Astronom George Wetherill, konunun sadece "masum bir eğlence" ya da "uçuk spekülasyonlar" olarak ele alınabileceğini söylemişti.[2] O kadar eski bir zaman hakkında bilgi edinip edinemeyeceğimiz henüz belli değildi.

Ama 1950'lerin sonlarında, Soğuk Savaş'ın zirvesinde olan Sovyetler Birliği'nde genç bir fizikçi, sorunu doğrudan çözmeye karar verdi; yani matematikle. Adı Viktor Safronov'du. İnce yapılı Safronov, İkinci Dünya Savaşı'nda Azerbaycan'da aldığı askeri eğitimin hatırası olan sıtmayla boğuşuyordu. Alçakgönüllü, mütevazı ve alışılmadık ölçüde akıllıydı. Moskova Üniversitesi'nde fizik ve matematikte aldığı yüksek derecelerle kendini göstermişti. Yeteneğini anlayan matematikçi, jeofizikçi ve kutup araştırmacısı Otto Schmidt, onu Sovyet Bilimler Akademisi'ne aldı.

Schmidt, kendinden önce Kant ve Laplace'ın düşündüğü gibi, gezegenlerin Güneş'in etrafında dolanan bir gaz ve toz diskinden oluştuğuna emindi. Bunun nasıl gerçekleştiğini ortaya koymasına yardım

edebilecek, teknik beceri sahibi birini arıyordu ve mülayim Safronov çok parlak bir matematikçiydi.[3]

Bilimler Akademisi'ndeki bir ofiste, Safronov işe en baştan başladı. Trilyonlarca ama trilyonlarca gaz ve toz parçacığının, bir güneş sistemini nasıl oluşturabileceğini açıklamaya çalışmak gibi göz korkutucu bir görev üstlendi. Bunu matematikle yapmayı deneyecekti; özellikle de gazların ve sıvıların akışını tanımlayan akışkanlar dinamiği denklemleri ile istatistikten faydalanacaktı. Bütün bunlar bilgisayar olmadan yapılacaktı. Gerçi aslında bilgisayarının olmaması işine yaramış bile olabilir, çünkü zaten güçlü olan sezgilerini daha da keskinleştirmek mecburiyetinde kalmıştı.

Safronov şu varsayımdan yola çıktı: Güneş sistemimiz, (geçen bölümde uzayda başıboş sürüklenir halde bıraktığımız) engin gaz ve toz bulutu kütleçekimin amansız çekim etkisiyle bir yıldıza dönüştüğünde şekillenmeye başladı. Bulutun neredeyse tamamı (yüzde 99'u olduğunu artık biliyoruz) Güneş haline geldi. Ama bazı kalıntılar Güneş'e sürüklenemeyecek kadar uzaktaydı; yine de Güneş'in çekiminden tamamen kurtulabilecek kadar uzakta değillerdi. Bu bulut artıkları da kütleçekim ve merkezcil dönme kuvveti etkisiyle düzleşerek, toz ve gaz diski biçiminde Güneş'in etrafında dolanıyordu.

Hızlı matematiksel tahminler yapma yeteneğiyle meslektaşlarının gözlerini kamaştıran Safronov, diskin içindeki küçük parçacıkların önce birbirlerine, sonra da komşularına çarpması sonucu neler olduğunu hesaplamaya koyuldu. Kurşunkalem, kâğıt ve sürgülü hesap cetveli kullanarak –büyük ortak ofislerin curcunasından kaçmak için Sovyet biliminsanlarının sık sık sığındığı bir kütüphanenin sessizliğinde belki de– azimle trilyonlarca ama trilyonlarca çarpışmanın etkilerini tahmin etme çabasına girişti. Bilgisayar olsa da olmasa da, inanılmaz derecede göz korkutucu bir çabaydı bu. Öyle ki, bulutlarda oluşan ilk su damlacıklarından bir kasırganın yolunu hesaplamaya çalışmak, bu işin yanında çocuk oyuncağı gibi kalırdı.

Safronov, Güneş'in etrafında dolanan kozmik toz ve gaz kümesinin yaklaşık olarak aynı hız ve yönde hareket edeceğini fark etti. Bazen parçacıklar komşularına çarptığında, kar taneleri gibi birbirlerine yapışacaktı. Daha fazla çarpışma, daha fazla öbeklenme demekti; yı-

ğınlar giderek büyüyecek ve sonunda mini gezegen boyuna ulaşacaktı. Safronov kendi kavrayışına dayanarak, gezegenlerimizin kökenini açıklamak için biliminsanlarının çözmesi gereken başlıca sorunların çoğunu tek başına sıraladı. Sonra da matematiğin kılıcını kuşanarak bunların birçoğunu fethetti.

Yıllar boyunca, kendi yarattığı gezegen oluşumu araştırmaları alanında, onunla rekabet edecek neredeyse kimse olmadı. Sovyet meslektaşlarının çoğu kuşkucu ve ilgisizdi; Safronov'un araştırması fazlasıyla tahmine dayalı, kanıtlanabilirlikten çok uzak görünüyordu.[4] Sonra 1969'da, tek başına yaptığı on yıllık çalışmasının özeti olan ince bir kitap yayımladı. Kitabın bir nüshasını, ABD'den ziyaretçi olarak gelen bir lisansüstü öğrencisine verdi; o da yayımlanması tavsiyesiyle kitabı NASA'ya iletti.[5] Üç yıl sonra, Batı'da kitabın İngilizce basımı çıktı.

Kitap, Washington Carnegie Enstitüsü'nden George Wetherill'i harekete geçirdi. Wetherill'in annesi tutucu biri olmakla birlikte, oğlunun çocukken doğa tarihine duyduğu ilgiye hoşgörü göstermiş, o da sonunda biliminsanı olmuştu. Fizik okumuştu ve jeokimya alanında çalışıyordu ama aynı zamanda iyi bir matematikçiydi. Safronov'un kuramı Wetherill'in ilgisini çekti; daha da önemlisi, kuramı test edebileceğini fark etti. Sovyetler Birliği'ndeki biliminsanlarından farklı olarak, Wetherill'in kullanabileceği –ilkel de olsa– bir bilgisayar vardı; bu sayede Safronov'un denklemlerini bir simülasyona uyarlayabildi. Ayrıca, ilk olarak atom bombası yapmak için geliştirilen Monte Carlo yöntemi adındaki yeni istatistiksel aracı kullanan çığır açıcı bir programa erişimi vardı.[6] Yöntem simülasyona tesadüfi öğeler ekliyordu; dolayısıyla farklı başlangıç varsayımlarıyla çok sayıda deneme yaparak en olası sonuçları öğrenebilirdi.

Çıkan sonuçlar Wetherill'i hayrete düşürdü. Simülasyona göre, trilyonlarca ama trilyonlarca kere gerçekleşen minik çarpışmalar neticesinde, Güneş'in etrafında dolanan, Ay büyüklüğünde yüzlerce cisim oluşuyor ve bunlar da zamanla, büyüklüğü ve konumu bizimkine benzeyen az sayıda gezegen oluşturuyordu.

Dahası, gezegenbilimci Glen Stewart'la birlikte hazırladıkları simülasyonlar, bunun nasıl gerçekleştiğine ilişkin beklenmedik bir tab-

lo açığa çıkarmıştı. Uzaydaki bir kaya parçasının çapı 150 km civarına ulaştığında, kütleçekimi o kadar güçleniyordu ki çevresindeki tüm nesneleri çekmeye başlıyordu. Bu da kendi kendini besleyen bir süreci tetikliyordu.[7] Kaya, yuvarlanan bir kartopu gibi hızla büyüdükçe, başka nesnelerle çarpışma sıklığı da boyutu nedeniyle artıyordu. Çok geçmeden, Güneş etrafındaki yörüngesi üzerinde bulunan her şeyi bünyesine katmış oluyordu. Anlaşıldığı kadarıyla, gezegen oluşumu bir başladı mı, süreç hiç de yavaş işlemiyordu; bilakis çok çabuk oluyordu.

Bu pek güzel bir tablo değildi. Hatta astronomlar için rahatsız edici olmanın ötesinde, dehşet vericiydi. Gezegenler huzur içinde oluşmamıştı. Güneş Sistemi'nin iç kısmında, büyüklükleri Ay'ınkiyle Mars'ınki arasında değişen çok sayıda, belki yüz kadar cisim birbirleriyle epey itişip kakışmıştı. Birbirlerini yörüngeden çıkaranlar, hatta Güneş'e çakılanlar olmuştu. Jüpiter'in olduğu yöne yolu düşen ama ona çarpmayanlardan bazıları, şimdinin bu en büyük gezegeninin güçlü kütleçekimi yüzünden yörüngelerinden çıkıp Güneş Sistemi'nin dışına savrulmuşlardı. O esnada bizim devasa kayalara ve mini gezegenlere sıkışıp kalmış olan zavallı moleküllerimiz ise Dünya şekillenirken sayısız şiddetli çarpışmaya maruz kalıyordu.

Wetherill'in ilerlettiği biçimiyle Safronov'un kuramı, bir başka kafa karıştırıcı bilmeceyi de çözdü: İç kısımdaki kayalık gezegenler ile daha dıştaki gaz devi gezegenlerin hepsi aynı buluttan nasıl evrilmişti? Güneş oluştuktan sonra, yakınlarındaki sıcaklık o kadar yüksekti ki hafif elementler buharlaşmış halde bulunuyordu; sadece ağır elementler katı parçacıklar biçiminde yoğunlaşabilmiş ve kayalık gezegenleri oluşturmuştu: Merkür, Venüs, Dünya, Mars. Onların civarındaki hafif moleküllerin çoğu ya Güneş'e doğru çekilmiş ya da diskin dışına sürüklenerek dış uzaya kaçmıştı. Ama daha uzaktaki sıcaklık değerleri suyun, metanın ve karbondioksitin donmasına yetecek kadar düşüktü; böylece oralardaki katı madde miktarı hemen hemen iki katına çıkmıştı. Kaya ve buzdan oluşan böyle bir karışım, Jüpiter ve Satürn gibi gezegenlerin merkezlerinin büyümesini sağlamıştı. O kadar büyüdüler ve kütleçekimleri o kadar güçlendi ki, atmosferlerinde hidrojen ve helyum gibi hafif gazlar birikti ve gaz devleri doğdu.

Safronov ve Wetherill'in kuramı, tüm gezegenler Güneş'in çevresinde aynı düzlem ve yönde dolanırken Venüs'ün neden kendi ekseni etrafında ters yönde döndüğünü, Uranüs'ün ekseninin neden yana yatık olduğunu ve Dünya'nın ekseninde neden mevsimlere yol açan bir eğiklik olduğunu bile açıklıyordu.[8] Dünya'nın eksen eğikliğinden ötürü, yarıkürelerden Güneş'e eğik tarafta kalanda yaz yaşanırken, diğerinde kış yaşanır. Bu gezegenler oluşurken, diğer devasa gök cisimleriyle kuvvetli şekilde çarpışmaları, Güneş'in çevresinde dolanmaya devam etseler de yönelimlerini diğerlerinden farklı duruma getirmiştir.

En büyük zaferlerden biri ise Safronov'un kuramının Ay'ın gizemini açıklaması oldu. Yıllar boyunca, Dünya'daki hafif elementlerden bazılarının neden Ay'da olmadığını biliminsanları açıklayamamıştı. Sonra 1970'lerde, Gezegen Bilimi Enstitüsü'nden astronomlar William Hartmann ile Donald Davis ve Harvard'dan Alastair Cameron ile Bill Ward, Dünya'nın tam olarak biçimlenmesine yakın –şimdiki büyüklüğünün yüzde 90'ı kadarken– şiddetli bir darbe almış olması gerektiğinin farkına vardı.[9] Mars büyüklüğünde bir cisim saatte on binlerce kilometre hızla Dünya'ya çarpmış, çarpan nesne paramparça olup buharlaşmış ve Dünya'nın mantosundan devasa bir parça kopmuş olmalıydı. Bu muazzam darbe, Dünya'nın atmosferine büyük bir kaya buharı ve döküntüsü püskürterek, çarpan nesnenin içindeki ağır demirin Dünya'nın iç çekirdeğiyle birleşmesini sağlamıştı. Bizim atomlarımızın bir kısmı da dahil olmak üzere, atmosfere püsküren döküntünün çoğu geri indi. Ama Dünya'yı sarsan bu çarpışma –teknik dilde Büyük Darbe, Büyük Çakma, Büyük Tokat gibi tabirlerle anılır– uzaya da muazzam miktarda buharlaşmış kaya sıçrattı.

En hafif elementlerden bazıları, mesela hidrojen, uzaklaştı ve yitirildi; ama Dünya'nın yörüngesince yakalanan daha ağırları Ay'ı oluşturdu. İşte Ay'da hafif elementlerin Dünya'dakinden az olmasının nedeni buydu. Bu kuram başta göz ardı edilse de, kuramın geliştirilmiş biçimleri Ay'ın kökenine ilişkin en iyi açıklama oldu. Büyük Darbe, Dünya'nın kütlesini yüzde 10 oranında artırdı ve gezegenimizin tam boyuna ulaşmasını sağlayarak 4,5 milyar yıl önceki doğum gününü belirlemiş oldu.

Astronomların gözündeki perde kalkmış gibiydi. Safronov'dan önce karanlıktalardı. Şimdiyse önlerinde gezegen oluşumuna ilişkin bir kuram ve kuramı sınamanın bir yolu vardı. Güneş Sistemi'nin ve Dünya'nın evrimini canlandırmak için zaman makineleri yani bilgisayar simülasyonları geliştirebilir ve simülasyonları astronomi gözlemleriyle uyumlu duruma getirebilirlerdi.

İronik bir şekilde, 1970'lere gelindiğinde Safronov büyük ölçüde geride kalmıştı çünkü çoğu Sovyet biliminsanı gibi hâlâ bilgisayarı yoktu. Ama büyük saygı gördüğü Batı'yı sık sık ziyaret etti. Wetherhill içtenlikle şöyle yazmıştı: "[Safranov] öylesine büyük katkılar yaptı ki, ben onun tırnağı bile olamam."[10] Gezegenimizin tarihi konusunda bildiklerimizi Safronov'un kökten değiştirdiğini söylemek abartı olmaz.

Dört buçuk milyar yıl önce, atomlarımız sonunda bir yuvaya kavuştu: Artık Dünya'dalardı. Yeni doğan gezegenimizin hızla katılaşacağını, okyanusların oluşacağını ve yaşamın çok geçmeden sahneye çıkacağını düşünebilirsiniz. Ne yazık ki o kadar kolay olmadı. Gezegenimizin şiddetli bir şekilde oluşmasının ardından, yaşam gelişene kadar bir dizi ürkütücü felaketin daha gerçekleştiği keşfedildi. Bu felaketlerin ilki oldukça tuhaftı: komple bir erime. İronik bir şekilde, bizim varlığımızı mümkün kılan da bu oldu.

William Gilbert –doğa felsefecisi ve Kraliçe Elizabeth'in doktoru– 1600'lerin başlarında Dünya'nın devasa bir demir çekirdeğe sahip olduğunu keşfettiğinde, kendisi farkında olmasa da bu felaketin ipuçlarından birini bulmuştu. Galileo'nun üzerinde büyük etki bırakmış olan Gilbert, sıklıkla "ilk biliminsanı" olarak anılır.[11] Kendisi, doğal dünyayı anlamak için salt kuram ortaya atmanın yeterli olmadığını, deney de yapmak gerektiğini iddia eden ilk kişilerden biriydi. Pusulanın yanında sarımsak yemenin manyetik alanın saptanmasını engelleyeceği ve pusula ibresinin uzaklardaki manyetik dağlar nedeniyle hareket ettiği şeklindeki asırlık denizci inanışları, onun araştırmaları sayesinde geçersizleşti.[12] Gilbert, pusula iğnesini iki manyetik kutuplu büyük bir manyetik kayanın etrafında dolaştırdığında, pusu-

lanın hep kayaya göre kuzey-güney yönünü gösterdiğini gördü; tıpkı dünyanın etrafını dolaşan bir gemi pusulası gibi. Dünyanın da o kaya gibi, merkezindeki demir çekirdekten yayılan bir manyetik alanla sarılı olduğu sonucuna vardı.

Acaba Dünya'nın çekirdeğinin ve manyetik alanının kökeni neydi? 1970'lere gelindiğinde biliminsanları şunu anlamıştı: Dünyanın oluşumu tamamlandıktan sonra, içindeki atomlar kütleçekim etkisiyle o kadar sıkışmıştı ki ısı aşırı artmıştı. Safronov sayesinde, darbelerin de –özellikle Büyük Darbe'nin– Dünya'nın sıcaklığını yükseltip mantonun büyük bölümünü erittiğini biliyorlardı. O zamanlar daha bol bulunan uranyum gibi radyoaktif elementlerin gezegeni daha sıcak yaptığını da hesapladılar. Bütün bunları bir araya getirince, Dünya'nın demir çekirdeğini edinmesi için tek bir yol olduğu açıktı: Bir zamanlar aşırı derecede ısınıp bütünüyle erimişti.

Biliminsanları uygun bir adlandırmayla o döneme Hadean Zamanı* diyor. Bu zamanda gezegenimizin yüzeyi çalkantılı bir magma okyanusuydu ve moleküller ağırlıklarına göre hizalanıyordu. Azot ve karbondioksit gibi hafif gaz moleküllerinin çoğu atmosfere yükseldi. Erimiş kürenin içindeki yaşamsal elementler –fosfor, sodyum, potasyum gibi– silikonla bağ yaptı ve yükselerek Dünya'nın kabuğuna dahil oldu. O esnada, ağır metalik demir ve biraz nikel, göllerdeki çöküntüler gibi Dünya'nın merkezine doğru çöktü. O zamanki devasa erimeden artakalan ısı yüzünden bugün Dünya'nın çekirdeğindeki sıcaklık hâlâ çok yüksek, hatta neredeyse Güneş'in yüzeyindeki kadar kavurucu (5500°C civarında). Jeologlar bu erimeye Demir Felaketi diyor. Ama biz yine de bu gezegensel felakete şükretmeliyiz; o gerçekleşmese biz var olmazdık.

Gezegenimizin büyük ölçüde demirden oluşan çekirdeğinin dış bölgesi erimiş durumda olduğundan, Dünya dönerken çekirdek de kendi çevresinde döner. İçinde dolaşan elektrik akımları, gezegenin etrafında geniş bir görünmez manyetik alan yaratır. Atmosferin epey ötesine uzanan bu devasa kuvvet alanı, bizi yüksek enerjili kozmik

* Türkçede Hadeen, Hadeyen veya Hadeyan olarak da geçen bu zamanın (*era*) adı, Yunan mitolojisinde yeraltı dünyasının tanrısı olan Hades'ten gelir. –*ç.n.*

ışınlardan korur; yoksa ışınlar DNA'mızı paramparça ederdi. Bu alan, canlıları (çoğunlukla elektron ve protonlardan oluşan) Güneş rüzgârlarından da korur; aksi halde bu rüzgârlar atmosferi parça parça uzaya saçardı. Nitekim Mars'ın başına gelen buydu. Gezegen manyetik alanını sürdüremeyecek kadar küçük olduğundan, atmosferindeki moleküllere Güneş rüzgârlarındaki parçacıklar çarptıkça, moleküller uzaya saçılıp gitti.* Genç Dünya erimemiş olsa, manyetik bir kalkanı da olmazdı.

Paradoksal ama bizim açımızdan talihli bir olaydı bu.

Peki erimeden sonra gezegenimizin tehlike dolu bir bölge olmaktan çıkıp, yaşama elverişli bir cennet bahçesine dönüşmesi ne kadar vakit aldı? 1960'larda jeologlar Himalayalar'ın tepelerinden uzak çöllere dek, ipucu bulmak için Dünya'yı köşe bucak taradılar. Fakat çabalarının meyvesini pek alamadılar. Dünya'nın kendisi 4,5 milyar yıl önce oluşmuş olsa da, bulabildikleri kayaların en eskileri yaklaşık 3,5 milyar yaşındaydı sadece.** Jeologlar Dünya'daki en eski kayaları arıyordu; fakat ne yazık ki tektonik levha hareketleri, çarpışan levhaların kenarlarını Dünya'nın sıcak mantosuna gömmüş ve gezegen tarihinin ilk bir milyar yılına ilişkin çok az iz bırakmıştı.

Bu nedenle jeologlar Ay'a özlemle bakmaya başladı. Ay kıtasal sürüklenmenin gerçekleşemeyeceği kadar küçük ve soğuktu. Dolayısıyla çok eskiden kalma kayalar orada kışkırtıcı bir şekilde yüzeyde olmalıydı hâlâ. Araştırmacılar bu kayaların hem Dünya'nın hem de Ay'ın ilk günleri hakkında bilgi verebileceğinden emindi; ama tabii önce onlara ulaşmak lazımdı.

20 Temmuz 1969'da Texas eyaletinin Houston kentindeki NASA Johnson Uzay Merkezi'nde hava ılık ve nemliydi. Jeologlardan, astronomlardan ve biyologlardan oluşan bir as kadro gergin bir bekleyiş

* Kuzey ve güney kutuplarındaki kutup ışıkları (*aurorae borealis* ve *aurorae australis*), güneş rüzgârının dünyadan görülebilen bir etkisidir.

** Dünya'nın yaşını biliyorlar çünkü gezegenlerin oluşum zamanından kalan enkazın yani Dünya'ya düşmüş göktaşlarının (meteoritlerin) kökeni için radyoaktif elementlerin verdiği tarih 4,5 milyar yıl. Gezegenler, meteoritlerden sonra çabucak, belki sadece 100 milyon yıl içinde oluştu.

içindeydi. Sadece iki ay önce Apollo 10 astronotları Ay yörüngesine gidip dönmüştü. Şimdi de Apollo 11 astronotları Neil Armstrong ve Buzz Aldrin, ilk kez Ay'a inmeyi deneyecekti.

Dünya dışından getirilecek kaya parçalarının analizi için tasarlanmış ilk tesiste bir bilim ekibi görev başındaydı ve beklenti giderek artıyordu. Hevesli genç bir jeolog olan Dr. Elbert King, *New Yorker*'da çalışan bir gazeteciye şöyle demişti: "Bana kalırsa bilim tarihinde gerçekleşen en heyecan verici şey olacak bu."[13] King, 7700 m^2 büyüklüğündeki tesisin kurulmasına 8 milyon dolar harcaması için NASA'yı ikna edenlerden biriydi.[14] İyimser bir yaklaşımla ona Ay Numuneleri Küratörü unvanı verilmişti, her ne kadar laboratuvarındaki raflar o gün hâlâ boş olsa da.

Çoğu politikacının bakış açısına göre, Ay'a iniş başarıya ulaşırsa ABD'nin ekonomik ve politik sisteminin Komünist rakiplerinin sisteminden üstün olduğunu tüm dünya inkâr edilemez biçimde görmüş olacaktı. Houston'daki biliminsanlarının heyecanının nedeniyse farklıydı. Astronotların birincil bilimsel amacı, Ay'dan kaya parçaları alıp doğrudan Uzay Merkezi'ndeki laboratuvara getirmekti. Bu da Apollo projesini, 25 milyar dolarlık (bugünün parasıyla 160 milyar dolara eşdeğer) bütçesiyle, o zamana kadarki en pahalı jeolojik arazi gezisi yapıyordu.[15]

1969'da Ay hakkında o kadar az şey biliniyordu ki, biliminsanları Ay yüzeyindeki büyük kraterlerin volkanlar nedeniyle mi, yoksa iri asteroitlerin veya kuyrukluyıldızların çarpması nedeniyle mi oluştuğunu tartışıyordu.[16] Bilgisizlik öyle bir noktadaydı ki, saygın bir gezegenbilimci karamsar bir uyarı yapmıştı: Ay'a bir araç inecek olursa, derin Ay tozu katmanı tarafından yutulurdu.[17] Bu da astronotları taşıyan uzay aracının güvenle dönmesinin pek olası olmadığı anlamına geliyordu. Neyse ki Ay'a inişten önce yapılan insansız uçuş verileri, öyle bir tehlike olmadığını gösterdi. Ama astronotların yine de büyük bilinmezliklerle karşı karşıya olduğu aşikârdı.

Houston saatiyle 19:59'da *Eagle* adındaki örümceğimsi iniş aracının kumanda modülünden ayrıldığı televizyondan duyuruldu. Kumanda modülü Ay yörüngesinde kalmayı sürdürürken, iniş aracı alçalmaya başladı.

Neil Armstrong ve Buzz Aldrin, aracın içindeki kontrol düğmelerinin üzerine hafifçe eğilmiş şekilde ayakta duruyordu; ağırlığı artırmamak için iniş aracına koltuk konmamıştı. Yön bulma konusunda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilmiş ilkel bir kılavuz bilgisayara güveniyorlardı. Cihaza güveniyorlardı, ama yüzde yüz değil. Gümüş rengindeki Ay'a yaklaşırlarken, Aldrin bilgisayarın hesabına göre hangi yükseklikte olduklarını okudu; Armstrong da pencereden bakıp doğru rotada olduklarını onayladı.

O an için her şey kontrol altındaydı. Sonra birden, kraterli yüzeye 1830 metre kalmışken, Aldrin'in konsolunda sarı bir alarm lambası yanıp sönmeye ve kulaklıklarında sirenler çalmaya başladı. Dünya'da ekran başında olan biliminsanları bundan habersizdi ama Ay taşı inceleme şansları birdenbire azalmıştı. Uçuş kontrolörleri donup kalmıştı. Dijital bir kod, kılavuz bilgisayarda sorun olduğunu haber veriyordu onlara. Aldrin çaresizce bilgisayarın kapanıp yeniden açılmasını izledi. Birkaç dakika sonra yine benzer bir alarm belirdi. Nedeni konusunda uçuş kontrolörlerinin hiçbir fikri yoktu. Risk alıp görevi iptal etmeye gerek olup olmadığına karar vermek için çok az zamanları vardı.

O arada keskin zekâlı bir uçuş mühendisi alarm kodlarının yazılı olduğu bir listeye baktı. Yapılmış olan bir simülasyonda aynı alarmlar belirmesine rağmen, bilgisayarın kendi kendine hızla düzelmiş olduğunu gördü.[18] Uçuş kontrolörleri son dakika kararıyla alarmları göz ardı edip işlerin yolunda gitmesini umut etmeyi seçti.

İyi bir karar vermişlerdi. Bilgisayar düzeldi.

Ama haklı olarak, Armstrong'un dikkati dağılmıştı. Artık sadece birkaç dakikalık yakıtları kalmıştı ve ufak pencereden dışarı baktığında, vücudunun da kendi alarm zillerini çalmaya başladığını hissetti. Kılavuz bilgisayar iniş alanını yaklaşık 6,5 km ıskalamıştı ve iniş aracını otomobil büyüklüğünde kayalarla dolu bir kratere indirmek üzereydi.[19]

NASA'nın astronotları test pilotları arasından seçmesi boşuna değildi. Armstrong derhal kontrolü bilgisayardan devraldı. Keskin bir dönüş yaparak hızı saatte 13 km'den 90 km'ye çıkardı ve uzaktaki açık alana ulaşmak için gözükara bir depara kalktı. Armstrong'un na-

bız değerinin ikiye katlanışını izleyen uçuş kontrolörlerinin yapabileceği bir şey yoktu.[20] İniş tanklarında sadece 25 saniyelik yakıt kalmışken, araç bir toz bulutu içinde Ay'a indi. Astronotlar uçuş kontrol ekibinden birinin sesini duydu: "Nefes alabildik nihayet."

Houston'daki biliminsanlarından tezahüratlar yükseldi. Görevin ilk bölümü başarılı olmuştu. Armstrong'un çelik gibi sinirleri, inanılmaz bir mühendislik başarısı ve NASA'nın yaver giden şansı sayesinde Ay taşlarını sahiden ellerine almaları mümkündü nihayet.

Astronotlar hafif bir sersemlikle, Ay'ın düşük yerçekiminde yürüme ve zıplama denemeleri yapmaya başladı. Houston'da ise araştırmacılar ters gidebilecek herhangi bir şeye karşı tetikte bekliyordu.[21] Astronotlar bayrak dikip Başkan Nixon'la sohbet ettiler. Birkaç bilimsel düzenek kurdular. Daha sonra Armstrong ve Aldrin nihayet en önemli işlerine girişerek biliminsanlarının içini rahatlattı; evrak çantası büyüklüğünde iki alüminyum kutuyu eve götürecekleri taşlarla doldurdular.

Üç gün sonra, deniz kuvvetleri gemileriyle ve helikopterle konumu izlenen kumanda modülü *Columbia*, Hawaii'nin güneybatısında Pasifik Okyanusu'na iniş yaptı. O andan itibaren, Ay Numuneleri Kabul Laboratuvarı'ndaki ekip taşların ulaştırılmasını gergin bir şekilde takibe aldı; büyük bir altın sevkiyatını izleyen banka görevlileri gibiydiler. NASA direktörü, taşların en nadir mücevherlerden bile daha değerli olduğu esprisini yaptı. Onlara biçtiği değer 24 milyar dolardı; uzay programının tamamının maliyeti.[22] Dolayısıyla bu taşların kilosu 800 milyon dolar civarındaydı.

Astronotlara ufak bir şaka yaparak ABD gümrük giriş formu doldurttular. O arada, 27 kilogram civarında taş toprak dolu iki alüminyum kutu, iki ayrı C-114 jet uçağıyla Houston'daki Ellington Hava Kuvvetleri Üssü'ne doğru yola çıktı. Oradan da altı kilometre ötedeki Ay Numuneleri Kabul Laboratuvarı'na aktarılacaklardı. Ama Ay Numuneleri Küratörü Elbert King'in işi şansa bırakmaya niyeti yoktu. Sene 1969'du. Savaşa karşı çıkan ve insan haklarını savunan protestolar tırmanıyordu. Kilise görevlilerinden Peder Ralph Abernathy, hükümetin yoksullukla mücadele etmek yerine Apollo programına büyük meblağlar harcamasını protesto etmek için Cape Canaveral'a

katırların çektiği bir at arabası getirmişti. Polis, Ay taşlarının gelişi nedeniyle Cape Canaveral'daki Uzay Merkezi'ne giden yolu kapatmış ve taşıyıcı araca eşlik etmeye hazırlanmıştı.[23] Ama King yine de "bir grup radikal hippi"nin sorun çıkarmaya kalkışmasından korkuyordu.[24] O da ilave bir güvenlik önlemi olarak, eve gidip uzun namlulu Smith & Wesson 357 Magnum silahına altı mermi doldurdu. Taşıyıcı aracı takip ederken, dolu tabancası da havluya sarılı vaziyette Plymouth Valiant'ının sürücü koltuğunun altındaydı. O kutuların laboratuvara ulaşmasını kimse engelleyemeyecekti.

Sonuç itibariyle yolculuk olaysız geçti. Taşlar, Ay Numuneleri Kabul Laboratuvarı'nın bulunduğu 37 No'lu binaya huzur içinde ulaştı. Bu yeni tesiste çok sayıda küçük laboratuvar, biyolojik yalıtım sistemleri ve astronotlar için bir karantina alanı vardı; çünkü biliminsanları, uzaylı organizma bulaşması gibi kıyamet senaryolarını göz ardı edemezdi. Michael Crichton'ın *The Andromeda Strain* (Andromeda Suşu*) adlı bilimkurgu gerilim romanı, o tarihten sadece iki ay önce yayımlanmıştı ve uzay aracına tutunarak Dünya'ya gelen bir mikroorganizmanın insanlığı yok oluşun eşiğine getirmesini konu alıyordu. Yani astronotlar gibi taşlar da üç hafta karantina altında tutulacak ve bu arada biliminsanları da ölümcül Ay mikroplarına ilişkin işaretler arayacaktı. Temkinli bir biçimde, algleri, bitkileri, karasinekleri, petek güvelerini, hamamböceklerini, istiridyeleri, yassıkafalı golyan balıklarını, karidesleri, beyaz fareleri ve Japon bıldırcınlarını Ay tozuna ve toprağına maruz bırakmanın etkilerini test ettiler.[25]

Bu testleri yapmak için King ve meslektaşlarının karantinanın bitmesini beklemesine gerek kalmamıştı; çünkü büyük çabalar sarf edilerek sızdırmaz çelikten vakum odacıkları tasarlanmıştı. Cam pencerelerden odacıklara uzanan siyah lastik eldivenler sayesinde, biliminsanları içerideki taşları tutabiliyordu. Ekip üyesi Bill Schopf'un hatırladığı üzere, odacıkta ciddi bir sızıntı olması durumunda biliminsanları için belirlenen acil durum planı, dışarıdaki çimenlik bir alana çıkmaları ve onları alıp bir hava üssüne taşıyacak helikopteri bekle-

* Bir bakteri türünün, aralarında genetik farklar olan alttürlerinden her biri "suş" olarak adlandırılır. –*ç.n.*

meleri şeklindeydi. Oradan da uçakla Pasifik'teki Bikini Adaları'na götürülecek ve karantinaya alınacaklardı.

Kutular ulaştıktan kısa süre sonra, bir bilim ekibi steril odada duş aldı ve üzerlerine cerrahi önlükler giyip başlık taktılar. Sonra yanlarına gaz maskesi alarak odacığa yaklaştılar.[26] O esnada başka bir meslektaşları da kapalı devre televizyon sisteminden ekibin attığı her adımı diğer meslektaşlarına tek tek anlatıyordu. Kalın kauçuktan yapılmış hantal eldivenlere elini sokan bir teknisyen taş kutularından birinin dışını güçlü bir antiseptikle ovaladı. Ardından kutuyu açtı ve biliminsanlarının pencereden bakması için geri çekildi.* Sonunda büyük an gelmişti. Taşlar, Ay'a ve dünyanın ilk zamanlarına ilişkin neleri açığa çıkaracaktı? Araştırmacılar hevesle başlarını uzattı; yeni bir kıtayı ilk kez görmek üzere olan kâşifler gibiydiler.

Ama fena halde hayal kırıklığına uğradılar. Ay taşları kupkuruydu ve kalın bir toz katmanıyla kaplıydı. Jeolog Schopf bana şöyle anlattı: "Onları gören dünyadaki ikinci insandım; önemli bir şeydi bu. Ama kömür parçasına benziyorlardı."[27] Biliminsanları tozu silince, taşlar bu defa başka bir şeye benzemişti: sıradan bazalt, lavın soğumasıyla oluşan o bildik gri renkli biçimsiz taş.

Taşlar ilk bakışta kesinlikle sıradandı ama yine de çok geçmeden şaşırtıcı açıklamalar sunmaya başladılar. Başlangıç olarak, Ay'ın kraterlerinin kökenine ilişkin asırlık tartışmayı çözdüler. Astronotların getirdiği şeyler, bazı biliminsanlarının beklediğinin aksine volkanik krater kalıntıları değildi.[28] Bu taşlar, Ay'a çarpan asteroitlerin veya kuyrukluyıldızların bıraktığı devasa dairesel izlerden geliyordu. Asıl sürpriz ise taşların yaşıydı; bu bilgi, Dünya'nın ve kendi atomlarımızın tarihindeki yıkıcı bir dönemi gün ışığına çıkaracaktı.

Söz konusu keşif, NASA'nın Ay taşı örneklerini Gerald Wasserburg'ün laboratuvarına göndermesinden sonra yapılacaktı. Wasserburg liseyi bitirmeden okulu bırakmıştı ama sonradan eğitimini tamamlayıp Caltech'te jeolog olmuştu ve deney cihazlarıyla arası çok

* Bill Schopf, o anda bir sürprizle karşılaştıklarını hatırlıyor. Teknisyen kutuyu açmayı denediğinde zaten açık olduğunu görmüş. Çünkü mandallar astronotların Ay'da kapatamayacağı kadar sertmiş. Astronotlar okyanusa iniş yaparken o yüzden kömürcü çırağına dönmüşlerdi; Ay tozuna bulanmışlardı.

iyiydi. 1960'ların başlarında ilk dijital kütle spektrometresini yapmak için Ulusal Bilim Vakfı'ndan hibe talep etmiş ama bu talebi geri çevrilmişti. Bunun üzerine Wasserburg de fonları kendi toplamıştı. Yapacağı cihaz, radyoaktif bir elementin miktarını ve bozunumuyla oluşan elementleri yeni bir hassasiyetle ölçerek, taşların yaşını daha doğru hesaplamasına olanak tanıyacaktı. Tüneller ve bir kilometrelik kablo kullanarak, cihazı IBM marka bir ana bilgisayara bağladı.[29] Bu cihaz, diğer tüm spektrometrelerden 30 kat daha duyarlı olmasıyla, çok geçmeden tarihleme teknolojisinin Rolls-Royce'u haline geldi. Wasserburg Ay taşları üzerinde çalışırken, spektrometreye *Lunatic*-1* adını taktı. Cihazı steril bir odada çalıştırıyordu; odanın kapısındaki pirinç levhada da *Lunatic Asylum* (Tımarhane) yazıyordu.[30]

Wasserburg, Ay'da tektonik levha hareketleri olmadığı için Ay ve Dünya ile yaşıt yani 4,5 milyar yıllık taşlar bulmayı bekliyordu. Fakat astronotların getirdiği ilk taşlar sadece 3,6 ila 3,9 milyar yıllıktı. O da sonraki Ay uçuşlarından getirilecek taşların daha eski olmasını umut etmeye başladı.

Üç yıl sonra, 1972'de ekibin elinde nihayet beş Apollo görevinden gelen taşlar vardı. Wasserburg ve "koğuş arkadaşları", astronotların yürüyerek veya ufak gezinti arabasıyla ziyaret ettikleri bütün kraterlerden topladıkları taşları incelemeye aldı.

Çıkan sonuçlara inanmakta güçlük çektiler. Wasserburg için o kadar beklenmedik sonuçlardı ki bunlar, kutlama yapmak için ekibini Pasadena'daki bir bara götürdü.[31]

Taşların hiçbiri Ay ve Dünya kadar eski değildi ama başka bir şey bulmuşlardı. Ay'ın yüksek çözünürlüklü bir fotoğrafına bakarsanız, yüzeyinin boydan boya devasa kraterlerle kaplı olduğunu görürsünüz. Garip bir şekilde, astronotların gittiği kraterlerin hepsi 4,1 ila 3,8 milyar yıllıktı. Daha eski krater yoktu. Daha yeni krater de yoktu.

Bu acayip durum şuna işaret ediyordu: 4,1 milyar yıl önce yani Ay ve Dünya oluştuktan 400 milyon yıl sonra, Ay bir anda dev kuyrukluyıldızların ve asteroitlerin bombardımanına uğramıştı. Bu yüz-

* *İng.* kaçık, deli. Kökenindeki *luna* kelimesi Latince ay anlamına gelir; eski zamanlarda ayın insanları delirtebileceğine inanılıyordu. –*y.n.*

den tüm yüzeyi kraterlerle dolmuştu. Sonra yine bir anda, 3,8 milyar yıl önce o yoğun bombardıman durmuştu. Wasserburg ve çalışma arkadaşları, "Seyredilebilecek sağlam bir sığınak olsa, Dünya'dan izlemesi bayağı hoş bir gösteri olurdu," diye yazmıştı.[32] Bu yıkıcı döneme "Ay Felaketi" adını vermişlerdi ama şimdilerde "Geç Dönem Ağır Bombardıman" şeklinde daha sıradan bir isimle anılıyor. Görünüşe göre Ay taşları, Ay'ın oluşumundan yüz milyonlarca yıl sonra uzaydaki mahallemizin sessiz bir banliyö olmaktan çıkıp aniden hareketli bir atış poligonuna dönüştüğüne ilişkin kanıt sunuyordu. Bölgemiz, iri asteroitler veya kuyrukluyıldızlarla yaylım ateşine tutulmuştu ve Dünya Ay'dan çok daha büyük bir hedef teşkil ediyordu. O halde, gezegenimiz de aynı felaketi yaşamış olmalıydı.

Doğal olarak, astronomlar bu asteroit ya da kuyrukluyıldız yağmurunun nereden geldiğini merak ettiler. 2005 yılında kaynağı bulduklarına kanaat getirdiler. Gezegenlerin yörüngelerinin sabit olduğunu düşünmek hoşumuza gitse de, Güneş Sistemi'nin tarihinin başlarında gaz devleri Jüpiter ile Satürn hâlâ Güneş etrafında izledikleri yollara yerleşmeye çalışıyordu. Astronom Alessandro Morbidelli ile çalışma arkadaşlarının yaptığı simülasyonlara göre, bu durum Mars ile Jüpiter arasında bulunan Asteroit Kuşağı'ndaki uzay kayalarını hareketlendirmiş olabilir. Bugün orada hâlâ milyonlarca kayalık asteroit dolanıyor. En büyükleri olan Ceres'in çapı 950 km. Astronomlar, Asteroit Kuşağı'nda bir zamanlar çok daha fazla cisim olduğunu, Geç Dönem Ağır Bombardıman sırasında Jüpiter'in hareketiyle bilardo topu gibi her yana savrulduklarını ileri sürdü. Bu etki sonucunda, şu anda Asteroit Kuşağı'nda bulunan uzay kayalarının toplam kütlesinin yirmi katı kadar kütle Dünya'ya çakılmış olmalıydı.

On yıllık bir süre boyunca bu senaryo genel kabul gördü. Şimdiyse çoğu kişinin kuşkuları var. Morbidelli, Asteroit Kuşağı'ndaki bu eksilmenin çok daha önce, Ay'ın oluşumundan bile önce gerçekleştiğini düşünüyor artık. Geç Dönem Ağır Bombardıman diye bir şeyin olmadığını düşünenler de var. Yani konu oldukça tartışmalı duruma geldi. Ama bunun kafanızı karıştırmasına gerek yok. Dünya'nın ve Ay'ın 3,8 milyar yıl önce dev asteroitlerin ve kuyrukluyıldızların sağanağında kaldığı konusunda neredeyse herkes hemfikir. Sadece bazı

biliminsanları, Dünya oluştuktan sonra uzun bir süreliğine uzay kayası yağışında dinme olup da sonradan ani bir artış yaşandığına inanmıyor. Onlara göre yağış hiç dinmedi. Diğer bir deyişle, Geç Dönem Ağır Bombardıman'ın "Ağır Bombardıman" kısmına kuşkucular da katılıyor; sadece "Geç Dönem" şeklinde dönemselleştirilmesine katılmıyorlar. Daha eski kraterlerin izlerinin, sonraki darbeler nedeniyle silindiğini düşünüyorlar.

Neyse ki artık o ölçekte bir başka şiddetli bombardıman olmasından korkmaya gerek yok. 3 milyar yıl önce, gezegenlerin oluşumundan artakalan enkazın çoğu sabit yörüngelere yerleşti. Büyük kayalık cisimlerden bazıları Asteroit Kuşağı'nda hâlâ dolanıyor. Bir de Kuiper Kuşağı var; Güneş Sistemi'nin dışa yakın uçlarında, Neptün'ün hemen ötesinde bulunan bu bölgede dolanan gök cisimlerinin çoğu kuyrukluyıldızlar. Morbidelli, Jüpiter ve Satürn'ün yörüngelerinin artık sabitlendiğini düşünüyor; bundan sonra bize doğru öyle yoğun bir asteroit veya kuyrukluyıldız yağışı olmayacak. (Bununla birlikte, bazı öngörülere göre günümüzden 3,5 milyar yıl kadar sonra Merkür hafifçe kayarak komşu gezegenleri sarsabilir ve Dünya'nın Merkür, Venüs ya da Mars ile çarpışma olasılığı olabilir.[33])

Biliminsanlarının çoğunun düşüncesine göre açıkça belli olan nokta şu: Gezegenimiz oluştuktan sonraki yüz milyonlarca yıl boyunca, nihayetinde canlılığı ortaya çıkarabilecek bir molekülün kendine bir yuva bulması çok zordu. Mesela saatte 60.000 km hızla Dünya'ya çakılan 400 km çapında bir asteroit, ABD'nin yüzölçümünün beşte dördünden büyük bir krater oluşturabilirdi. Dağları un ufak edip havaya uçurabilirdi. Asteroidin aniden sonlanan hareketi, kinetik enerjisinin büyük bölümünün ısıya dönüşmesi anlamına gelecekti. Kıpkırmızı bir magma dalgası kraterden fışkırıp her yana akarken, 3900°C gibi kavurucu bir sıcaklığa kadar ısınan kaya buharı da atmosferi sterilize edecekti.[34] Dinozorların sonunu getiren 14 km çapındaki asteroit ya da kuyrukluyıldız, bunun yanında minik bir çakıltaşı gibi kalırdı. 3,8 milyar yıl kadar önce büyük ölçüde durulan böyle darbeler, yaşamın daha erken ortaya çıkmasına yönelik tüm girişimleri yok etmiş olabilir. Ya da en azından epeyce yavaşlatmıştır.

1960'ların başlarında, Viktor Safronov kâğıt ve kalem kullanarak Demir Perde ardında hesaplama yapmakla uğraşırken, kuramının gezegenimizin çalkantılı tarihi –ve bizi oluşturan moleküllerin tarihi– konusunda ne kadar çok şeyi açığa çıkaracağının pek farkında değildi. Anladık ki üzerinde durduğumuz bu sağlam zemin, bir zamanlar toz ve gaz halinde uçuşan bir buluttu. Bizim moleküllerimiz de o bulutun içinde uzak yıldızların loş ışığıyla aydınlanıyordu. Safronov'un katkısı sayesinde, toz taneciklerinin birbirleriyle çarpışıp birleşerek irice parçacıklara, sonra taşlara, ardından kaya parçalarına ve nihayet 4,5 milyar yıl önce dev bir kayaya dönüştüğünü, dolandığı yörüngede bulunan her şeyi hızla yutarak Dünya haline geldiğini keşfettik.

Aslında atomlarımızın çekeceği eziyetin daha başlangıcıydı bu. Dünya, oluşumundan kısa süre sonra eridi ve atomlarımız bu eriyiğin içinde yüzmek zorunda kaldı. Ağır demir molekülleri merkeze doğru çöktü. Fakat eğer atomlarımız arasında gezegenin yüzeyine henüz erişemediği için üzülen olduysa, nihayetinde buna şükredeceklerdi, çünkü 50 milyon yıl kadar sonra Mars büyüklüğünde bir gezegen Dünya'yı yarıp geçti ve mantonun büyük bölümünü buharlaştırdı. Atomlarımızdan o sırada yüzeye yakın olanlar, uzaya doğru savrulup süzülerek geri indi. Bu olayın ardından Dünya'nın kendini toparlayacak zamanı belki olmuştur ama 400 milyon yıl sonra –yani günümüzden 4,1 milyar yıl kadar önce– Dünya'yı bu kez de asteroit sağanağı haşat etti. Yağan asteroitler çok büyük magma tsunamilerini tetikledi ve gezegenin atmosferini sıcak kaya buharına boğdu. Şayet o esnada canlılık evrilmiş idiyse, o yakıcı darbelerle muhtemelen yok olmuştur. Ya da en azından saklanmak zorunda kalmıştır.

Güneş Sistemi'nde ortalık nihayet 3,8 milyar yıl kadar önce, yani Dünya'nın oluşmasından en aşağı 700 milyon yıl sonra yatışmaya başlamış olabilir. Bu dönemde gezegenler sabit yörüngelerine yerleşti. Serseri asteroitlerden ve kuyrukluyıldızlardan gelen darbeler gitgide azalıp son buldu. Dünya'nın yüzeyi soğudu. İnce, kayalık bir kabuk oluştu.

En sonunda, koşullar canlılık için uygun duruma gelmişti.

II. KISIM

YAŞAM BAŞLASIN!

Bu kısımda, bedenimizin yapıtaşlarının –suyun ve organik moleküllerin– Dünya'ya ulaşmasını sağlayan şaşırtıcı yolları ve evrenin tarihindeki belki de en hayret verici sihirbazlık numarası olan yaşamın doğuşunun nasıl gerçekleştiğini öğreneceğiz.

5

Tozlu Kartopları ve Uzay Kayaları

Tüm Zamanların En Büyük Tufanı

Bu gezegende sihirli bir şey varsa, o da sudur.[1]

Loren Eiseley

İÇİMİZDEKİ SU bize çok olağan geliyor; bardağımızdaki suyu yudumlamak da öyle. Fakat milyarlarca yıl önce gezegenimiz henüz oluşum aşamasındayken, bulunduğu bölge tüm suyu buharlaştıracak kadar sıcaktı; çarpışan kaya parçalarının öbeklenmesiyle gezegenimiz oluşurken su buharı sürüklenerek uzaklaşıyordu. Buna rağmen, Dünya'daki canlılığın tümü suya bağlıdır. Yaşam ile su arasındaki ilişki, bir resim ile o resmin çizildiği kâğıt arasındaki ilişkiye benzer. Bu ilişki o kadar önemlidir ki Dünya dışı yaşam arayışları konusunda NASA'nın mottosu şöyledir: "Suyu takip et." Kuşkusuz, su olmasa biz de olmazdık. İşte bu yüzden, damarlarımızda akan suyun bu gezegene ilk olarak nasıl gelebildiğini açıklamak biliminsanları için çok önemliydi. Ama konuyu onlarca yıl araştırdıktan sonra, bu basit sorunun cevabının hiç de basit olmadığını gördüler.

Aslında su evrendeki en olağanüstü moleküllerden biridir. Biz Güneş Sistemi'ndeki tek su gezegeninde –yüzeyi büyük ölçüde suyla kaplı tek gezegende– yaşıyoruz. Arthur C. Clarke'ın dediği gibi: "Bu gezegenin okyanus olduğu besbelliyken, ona 'Yeryüzü' adını takmak ne kadar da uygunsuz."[2] Gezegenimizin yüzde 70'i, ortalama derinliği 4 km olan mavi sularla kaplı. Bu su olmasa, Dünya'nın büyülü yanı büyük ölçüde kaybolurdu. Dünya'nın yüzeyinin bu kadar büyük bölümünü kaplayan başka hiçbir molekül yok. Dünya'da doğal olarak

maddenin her üç halinde –katı, sıvı ve gaz halde– bulunabilen başka molekül de yok. Güneş Sistemi'nde bulutların, nehirlerin ve göllerin olduğu diğer tek yer Titan. Ama Satürn'ün uydularından biri olan Titan'da su değil, metan yağmurları yağıyor. Orada kimyaları bütünüyle farklı canlılar yaşıyor olabilir mi? Olabilir; gidip görmeden bilemeyiz. Ama Dünya'da yaşam için su gerekiyor.

Gezegende dolaşımı bakımından da suya rakip olabilecek hiçbir şey yok. Su donar, erir, akar, çağlar, sızar, damlar ve baş döndüren yükseklere çıkar. Böylelikle yaşam her yanda varlığını sürdürür: Dünya yüzeyinin kilometrelerce altındaki mağaralarda, okyanus kabuğunun derinliklerindeki kayaların içinde, nehirlerde, akarsularda, sıcak kaynak sularında, birikintilerde, siste, çiğde ve bulutlarda; hepsinin her metrekaresinde milyonlarca su damlası bulunur. 2010'da Georgia Üniversitesi'nden bir kimyacı, öğrencileri için NASA'nın araştırma amaçlı hava araçlarından birini ayarladı ve yaptıkları incelemede, yeryüzünden 9000 metre yukarıdaki baş döndürücü irtifada bulunan fırtına bulutlarının, yüzden fazla bakteri ve mantar türüne evsahipliği yaptığını buldular.[3]

Biz de bütünüyle suya bağımlı durumdayız. Kuru toprak üzerinde yaşadığımızı düşünebilirsiniz ama özünde sucul canlılarız.[4] Doğduğumuzda kütlemizin yaklaşık yüzde 75'i sudur[5] – muzdaki su oranına yakın.[6] Ortalama olarak bir erkeğin yüzde 60'ı, bir kadının ise yüzde 55'i sudur.[7] Yaşlanma sürecinde suyumuzun yüzde 10 kadarını daha yitiririz. Yani bol miktarda su taşıyoruz, ama bunun sadece yüzde 2'sini yitirdiğimiz anda beynimiz su içmemiz gerektiğini haber verir. Bir şey yemeden bir ay kadar dayanabilirsiniz ama su içmeden en fazla bir hafta dayanabilirsiniz.

Su bizim için sayısız iş görür. Yiyeceklerdeki enerjiyi depolayan ve serbest bırakan tepkimelerin gerçekleşmesinde rol oynar. DNA'mızın ve proteinlerimizin düzenlenmesine ve olağanüstü karmaşık biçimlerinin sürdürülmesine yardım eder. Hücrelerimizin molekülleri parçalamasını sağlar. Ayrıca idrar kesesinin her boşaltılışında atıkları dışarı taşır. İşte bu yüzden her gün on bir bardak civarında su içmek gerekir.[8]

Hepsinin ötesinde su bir ortam –moleküllerimizin buluşup karış-

tığı bir okyanus– işlevi görür. İronik bir şekilde, bunun mümkün olmasını sağlayan, suyun çok çıtkırıldım olmasıdır; molekülleri arasındaki bağlar kolayca kırılabilir. Bir su molekülü, iki hoşgörülü hidrojen atomu ile bir oksijen atomu arasındaki eşitsiz bağ sonucu oluşur. Daha ağır olan oksijen biraz bencildir. Hidrojenlerin her biriyle paylaştığı elektronları kendine fazla çeker ve bu da oksijen üzerinde hafif bir eksi yük, hidrojen üzerinde de hafif bir artı yük oluşturur. Komşu moleküllerin oksijen ve hidrojen atomlarının yükleri arasındaki bu küçük farklar, sıvı suyun hidrojen bağı adı verilen dayanıksız bağlarla bir arada kalmasını sağlar.

Bu tesadüfi zayıflık, içimizdeki su molekülleri arasındaki bağların saniyenin 1,5 *trilyonda* biri kadarlık zaman aralığında sürekli kırılıp yeniden oluşması anlamına gelir.[9] Bu sayede diğer moleküller kolaylıkla akar; düşünebilmemizi sağlayan da budur. Elektriksel yük taşıyan iyonlar, ıslak beynimize saniyede 100 metre hızla sinyaller gönderebilir.[10] Vücudunuz su kaybettiğinde sağlıklı düşünemezsiniz çünkü muhtemelen susuz kalan nöronlarınız büzülür ya da susuz kalan damarlarınız nöronlara yeterince oksijen taşıyamaz. Zihninizde bir bulanıklık hissettiğinizde, nedeni susamış olmanız olabilir.[11]*

Tüm bunlar, doğal olarak biliminsanlarının içimizdeki suyun Dünya'ya nasıl geldiğine dair merakını daha da artırmıştı. Ama yanıtları ararken, kabul edilmiş kuramları sorgulatan yeni kanıtların bulunmasıyla birçok kez gafil avlandılar.

Suyun nasıl olup da gezegenimizde belirdiği konusundaki ilk ipuçlarından biri 1950'lerde Fred Whipple adlı bir astronomdan geldi. Whipple'ı meşhur eden şeylerden biri, roket bilimcisi Wernher von Braun ile birlikte kaleme aldıkları bir kitaptı; kitapta Ay'a biliminsanlarından ve teknisyenlerden oluşan elli kişilik bir ekibin nasıl gön-

* Suyun canlılık için çok yararlı bir diğer özelliğini de buzul balıkçıları iyi bilir. Su soğuyup katı hale geçtiğinde batmaz; yüzeyde kalır. Buzun böyle bir özelliği vardır çünkü hidrojen bağları donma sırasında molekülleri daha az yoğun kristal örüntüler oluşturmaya zorlar. Eğer çoğu katı gibi buz da batsaydı, o zaman nehirler, göller ve okyanuslar donmaya dipten başlardı; dolayısıyla sıcaklık belli bir değerin altına düştüğünde suyun altındaki tüm canlılar donardı.

derilebileceği anlatılıyordu.[12] Gençliğinde Whipple'ın biliminsanı olmak gibi bir düşüncesi yoktu; can sıkıntısı ve hayal kırıklığı neticesinde yöneldiği bir istikamet olmuştu bu onun için. Önce hayal kırıklığı gelmişti.

Bir çiftçinin oğlu olan Whipple, eğitiminin büyük bölümünü 1900'lerin başlarında, Iowa eyaletindeki Red Oak şehrinde bulunan tek sınıflı bir köy okulunda almıştı. Evlerinin yakınında hiç hastane olmadığından, üzerinde travmatik izler bırakan bir dizi sağlık sorunu yaşamıştı. Whipple dört yaşındayken, iki yaşındaki kardeşi kızamıktan ölmüş, bir yıl sonra ise kendisi çocuk felcine yakalanmıştı. Ardından, apandisit olan insanların başına gelenlerden korkan ebeveyni, önleyici bir tedbir olarak tüm ailenin apandislerini aldırmaya karar verdi. O günleri daha sonra şöyle hatırlayacaktı Whipple: "Birkaç yıl boyunca, ecza dolabını her açtığımda ürkütücü bir görüntüyle karşılaştım; formaldehit içinde şişelenmiş durumda babamın apandisi, annemin apandisi ve bebeğin apandisi."[13] Bu korkutucu deneyimlere rağmen derslerinde başarılıydı. 1922 yılında, onun sıradışı yeteneğinin farkına varan ve mısır fiyatlarındaki olası bir düşüşten korkan ailesi Kaliforniya'ya taşındı; orada eğitim olanakları daha iyiydi.[14] Whipple'ın tenis aşkının başladığı yer de orası oldu. Kaliforniya Üniversitesi'nin Los Angeles yerleşkesinde, matematik okumaya karar verdi. Bunun onu fazla zorlamayacak bir bölüm olduğuna kanaat getirmişti; böylece profesyonelleşmek istediği tenise ayıracağı bolca zamanı kalacaktı.[15]

Ama işler umduğu gibi gitmedi. Whipple'ın atlattığı çocuk felci, sol bacağının diğerinden birkaç santim daha kısa kalmasına neden olmuştu. Gerçeği kabul etmek zorunda kalıp tenis hayallerinden vazgeçti. O noktada geleceğe baktığında, matematikte kariyer yapmanın feci sıkıcı olacağından korkarak astronomiye yöneldi.[16]

1930'da Berkeley'deki lisansüstü öğrenciliği sırasında Whipple ile bir arkadaşı, Plüton'un keşfinden sadece birkaç hafta sonra yörüngesini hesaplayan ilk kişiler oldular.[17] "Yörünge hesaplama işi"nin hoşuna gittiğini fark etmek onu sevindirmişti.[18] Doktorasını aldıktan sonra Harvard'a geçip, Cambridge'in parlak ışıklarından 40 km uzakta kurulan yeni bir gözlemevinde gökyüzü gözlem programını yönet-

meye başladı. Teleskobun bitişiğindeki ufak tuğla binadaki görevlerinden biri, her yeni fotoğraf levhasını büyüteçle inceleyerek kameranın doğruluğunu kontrol etmekti.[19] Whipple, eline geçen fırsatı kuyrukluyıldız avı için kullanmaya karar verdi. On yıl boyunca 70 bin görüntü inceledi. Çoğu kişi için bu iş usandırıcı olabilir ama belli ki Whipple için öyle değildi. Çabalarının karşılığında altı yeni kuyrukluyıldız keşfetme şerefine nail oldu. (En fazla kuyrukluyıldız keşfetme rekoru ise Jean-Louis Pons'a aittir; 18. yüzyılda gözlemevi bekçisiyken astronom olan Pons, otuzun üzerinde kuyrukluyıldız saptamıştı.[20]) Ama Whipple'ın ünlenmesinin en büyük nedeni yeni gök cisimleri keşfetmesi olmayacaktı. Kuyrukluyıldızların ilginç davranışlarına kafa yormaya başladıktan sonra, tarihe geçmesini sağlayan asıl katkıyı yapacaktı.

Geceleyin gökyüzünde görülen bir kuyrukluyıldızın alevimsi parlaklığı, antik çağlarda çoğunlukla felaket habercisi olarak yorumlanırdı. Göğe bakanlar, ardında esrarengiz bir şekilde uzayan ışıltılı kuyruğuyla parlak bir top görürdü (kuyrukluyıldızın İngilizcesi olan *comet* adı da buradan gelir; Yunanca *komētēs* sözcüğü "uzun saçlı baş" demektir). Ama Whipple'ın zamanında, Güneş'in etrafındaki uzun eliptik yörüngelerde dolanan bu gök cisimlerini biliminsanları o kadar da etkileyici bulmuyordu artık. Sonuçta "uçan kum öbekleri"nden başka bir şey değillerdi – kütleçekim etkisiyle gevşekçe bağlanmış kum ve taşların yanı sıra bir miktar gazdan oluşan bulutlar. Uzun süredir kabul gören bu kurama, seçkin bir Cambridge astronomu –ayrıca Fred Hoyle'un çalışma ortağı– olan Raymond Lyttleton tarafından son şekli verilmişti.

Whipple'ı düşündüren şuydu: Kuyrukluyıldızlar Güneş'e yaklaştıkça, yüz binlerce veya milyonlarca kilometre uzunluğa ulaşabilen kuyruklar ediniyorlardı. Bunlar kuyrukluyıldızın yüzeylerinden çıkan gazlardan oluşuyordu. Ama Whipple'ın hesaplarına göre, Encke kuyrukluyıldızı Güneş'in etrafında binden fazla kez dolandıktan sonra bile, o uzun kuyruğunu oluşturan gazın bitmekte olduğuna ilişkin hiçbir işaret yoktu.[21] Ayrıca bir şey daha vardı: Kuyrukluyıldızlar hiç dakik değildi. Güneş'in çevresinde sabit yörüngelerde ilerlemelerine rağmen, asla beklendikleri zamanda beklendikleri yerde olmuyorlar-

dı; gezegenlerin ve asteroitlerin tam zamanında görünme huyu kuyrukluyıldızlarda yoktu. Bazıları biraz erken varıyordu; mesela her 3,3 yılda bir gelen ama hep yarım saat ila bir saat erken görünen Encke gibi.[22] Bazıları da gecikiyordu; 76 yılda bir gelen ama her seferinde beklenenden birkaç gün sonra varan Halley gibi. Whipple'a göre hesaplarda düzeltilmesi gereken bir şeyler vardı.

1949 yılında bir gün Harvard'dayken meteorların güzergâhlarını hesaplamaya koyuldu. Dünya atmosferine giren kuyrukluyıldız parçaları olan bu cisimlere etki eden kuvvetleri çözümlediğinde, ön kısımlarının çok ısınacağını fark etti. Eğer içlerinde buz varsa, buzun bir kısmının gaza dönüşeceği aklına geldi. "Vay canına, kuyrukluyıldızlara olan şey bu!" diye düşündü.[23] Bu onun eureka ânıydı. Bir anda, kuyrukluyıldızların garip davranışı tümüyle anlaşılır olmuştu.

Whipple, Güneş'in etrafında dolanmakta olan bir kuyrukluyıldızın bir yandan da kendi etrafında döneceğini fark etti; yörüngede dolanan tüm cisimler ve uçan beyzbol topları gibi. Şayet kuyrukluyıldız bir kum bulutu değil de dev bir buz topuysa, yüksek sıcaklıktaki Güneş'e yaklaştıkça cismin ön tarafında kalan buzun bir kısmının gaz haline geçerek kenarlardan akması beklenirdi. Böyle bir gaz akışı, kuyrukluyıldızın dakik olmayışını da açıklıyordu. Dönmekte olduğu yöne bağlı olarak, cismin yörüngesi gaz nedeniyle hafifçe genişleyecek ya da daralacaktı; dolayısıyla yolculuk süresi kısalacak veya uzayacaktı.

Whipple'ın 1950 yılında cesurca öne sürdüğü iddiayla ortalık karıştı: Lyttleton ve diğerlerinin sandığının aksine, kuyrukluyıldızlar gevşek kum ve gaz topakları değildi. Onları saran toz ve gaz bulutu, arkalarındaki buz topunu gizleyen bir örtüydü. Başka bir deyişle, bir kuyrukluyıldız aslında uçmakta olan tozlu bir kartopuydu. İşte bu yüzden kuyrukluyıldızların gazı hiç bitmiyordu. Buzdan oluşan çekirdek kilometrelerce genişlikteydi; o kadar büyüktü ki, Güneş'e yaklaştığında gazın sadece küçük bir kısmı yitirilmiş oluyordu. Whipple, kuyrukluyıldızların çekirdeğinin büyük ölçüde donmuş gazlardan – metan, amonyak, karbondioksit– ve buzdan oluştuğunu düşünüyordu; bunların hepsi de Güneş Sistemi oluşurken Güneş'in uzağında bolca mevcuttu.

Bu fazla irileşmiş buz topları gerçekten de Güneş'in etrafında yüz milyonlarca kilometrelik, on binlerce yıl süren yolculuklar mı yapıyordu? Bekleneceği üzere, bundan kuşku duyan biliminsanlarının sayısı hiç de az değildi. Kum ve taş parçacıklarının nasıl kuyrukluyıldız oluşturduğuna ilişkin ayrıntılı bir matematiksel kuramı olan Lyttleton, Whipple'ın iddiasına şiddetle karşı çıktı. Ayrıca Whipple'ın kuramının varlığını sürdürmesinin tek nedeninin, yanlışlanmasının imkânsızlığı olduğu şeklinde iğneleyici bir yorum yaptı;[24] çünkü Whipple'ın kuyrukluyıldızların merkezinde bulunduğunu iddia ettiği buzul çekirdekler, Dünya'dan algılanamayacak kadar küçüktü.

Ama antik Çinliler ve muhtemelen Babilliler ile Yunanlar tarafından da gözlemlenmiş olan Halley kuyrukluyıldızı, o tarihten otuz küsur yıl sonra 1986'da, üç çeyrek asırlık yokluğunun ardından geri gelmek üzereydi. Böylelikle Whipple yetmiş dokuz yaşındayken, nihayet kuramı test edilebilecekti.

Tarihi bir olay olan bu gelişi beklerken, araştırmacılar hiçbir inceleme fırsatını kaçırmadı. Halley 150 milyon km ötedeyken, yani neredeyse Mars kadar uzağımızdayken, 41.000 fit (yaklaşık 12.500 metre) yükseklikte uçan bir NASA hava aracı onu spektrometreyle izlemeye aldı.[25] Sovyetler, Halley'in 8000 km yakınında uçacak ikiz uzay araçları gönderdi. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) araştırmacıları ise hazırladıkları ilk uzay probu –ve Halley'in içini araştıracak tek araç– olan *Giotto*'yu yolladı.

13 Mart 1986'da, dünyanın her yanından biliminsanlarının oluşturduğu bir ekip, Almanya'nın Darmstadt kentindeki loş ışıklı ESA uçuş kontrol odasını ve alıcıların bağlı olduğu çok sayıda laboratuvarı doldurdu. On yıllık planlama sürecinin ardından, Whipple'ın da aralarında olduğu araştırmacılar heyecanla karşılaşma ânını bekliyordu. İçlerinden biri Whipple'a şöyle dedi: "Evet Fred, yarın senin için büyük gün."[26]

Giotto'nun mühendislerinin çoğu, kuyrukluyıldızın gizlerini açığa çıkaracak kadar uzun süreli bir "kamikaze uçuşu"ndan sonra bu narin uzay aracının sağ kalamayacağını düşünüyordu.[27] Çünkü araç ve kuyrukluyıldız birbirlerine doğru saniyede 65 km'yi aşan bir hızla ilerlerken, kuyrukluyıldızın çekirdeğine ulaşması için *Giotto*'nun toz

ve gaz bulutu dalgalarının içinden geçmesi gerekiyordu.[28]

Uçuşan döküntülerden korunması için *Giotto*'nun ön ve arka uçları Whipple kalkanlarıyla kaplanmıştı. Whipple, küçük aralıklarla yerleştirilen alüminyum ve Kevlar* katmanlarından üretilen bu hafif tamponu, uzay araçlarında kullanılmak üzere 1947 yılında yani uzay yolculukları henüz hâlâ bir Buck Rogers** rüyasıyken icat etmişti. Ama Whipple kalkanları olsa bile *Giotto*'nun hassas aygıtlarının şiddetli bir kum hücumuna göğüs germek zorunda kalacağını araştırmacılar biliyordu. Küçük toz taneciklerinin talihsiz yönlerden çarpması halinde bu aygıtlar bozulabilirdi.

Giotto kuyrukluyıldızın çekirdeğinden 100.000 km uzaktayken, toz tanecikleri sağanağı başladı.[29] 16.000 km kaldığında çarpmalar sürekli duruma geldi. Uzay aracı yaklaşmaya devam ediyordu. Sonra çekirdeğe 793 km kala, kütlesi 0,05 gram kadar olan bir parçacık *Giotto*'ya çarptı ve yarım tonluk makineyi salladı.[30] Daha da kötüsü, mühendisler radyo iletişimini kaybetmişti. Çoğu kişi en kötü senaryonun gerçekleştiğinden korktu. Neyse ki otuz saniyeden kısa süre sonra tekrar iletişim kuruldu, ama toz tanecikleri kamerayı kullanılmaz duruma getirmişti; kalkanın bir bölümü yok olmuş ve sensörlerin bazıları da kopmuştu.

Tüm hasara karşın, Whipple'ın da aralarında olduğu biliminsanları büyük bir mutluluk içindeydi, çünkü çarpışmadan birkaç saniye önce çekilmiş çarpıcı fotoğraflarda hayaletimsi bir taslak vardı. Kuyrukluyıldızın çekirdeği patates biçimindeydi ve kabaca 14 km uzunluğundaydı; yani hemen hemen Manhattan kadar. Kütle spektrometresi verileri ise kuyrukluyıldızın saçtığı gazın yüzde 80 oranında su olduğunu gösterdi.[31] Bununla birlikte, hepsi hesaba katıldığında, çekirdekteki kaya ve toz miktarının Whipple'ın beklediğinden çok daha fazla olduğu anlaşıldı. Sadece üçte bir kadarı su buzuydu; yani tozlu bir kartopundan çok, karlı bir toz topuna benziyordu. Fakat sonuçta kuyrukluyıldızların epeyce su barındırdığı ortadaydı.

* Paraşüt iplerinde ve zırhlı giysilerde kullanılan ısıya dayanıklı ve güçlü bir sentetik lif. –*ç.n.*

** Bilimkurgu çizgi roman kahramanı. –*ç.n.*

Kadim zamanlarda Dünya'nın suyu nereden bulduğunu merak eden gezegenbilimciler için bu devasa karlı toz topları başlıca yanıt adayı haline geldi. Görünüşe bakılırsa, milyarlarca yıl önce gezegenimize bir sürü kuyrukluyıldız düşmüş ve böylece bir okyanus dolusu su gelmişti.

Peki acaba o kuyrukluyıldızlar nereden gelmişti?

Uzun süre boyunca, biliminsanları kuyrukluyıldızların Mars'ın ötesindeki soğuk bölgelerde doğduğu düşüncesindelerdi. 1990'lara gelindiğinde, kuyrukluyıldızların çoğunun büyüme evresindeki gezegenler tarafından emilmiş olması gerektiği bariz gibi görünüyordu. Öte yandan, Hollandalı astronom Jan Oort trilyonlarca kuyrukluyıldızın Güneş Sistemi'nin uç kısımlarında varlığını sürdürdüğünü ileri sürdü. Gezegenlerin çekemeyeceği kadar uzak olan o bölgelerde, kuyrukluyıldızlar Güneş Sistemi'ni –bugün Oort Bulutu olarak adlandırılan– dev bir küresel kabukla çevreliyordu. Yani dışarıda Dünya'nın okyanuslarını doldurmuş olabilecek çok sayıda buzlu kuyrukluyıldız vardı. Tek sorun, buraya gelemeyecek kadar uzakta olmalarıydı; Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin binlerce katı kadar uzaktaydılar.

Birkaç araştırmacı, Güneş Sistemi'nin daha yakın kısımlarında, Satürn'ün yörüngesinin hemen ötesinde kalabilmiş bazı kuyrukluyıldızlar olabileceğini düşünüyordu. O bölge Oort Bulutu'ndan bin kat daha yakındı. Fakat orada kuyrukluyıldız olma olasılığı sadece bir tahmindi. Çapı 20-30 km veya daha küçük olan bir kuyrukluyıldızı bu mesafeden saptayabileceğini düşünecek kadar saf olan kimse yoktu.

İki kişi hariç: genç MIT profesörü Dave Jewitt ile lisansüstü öğrencisi Jane Luu. Geniş alınlı, güleryüzlü ve İngiliz mizah anlayışından nasibini almış biri olan Jewitt, Londra fabrikalarından birinde çalışan bir işçi ile bir santral operatörünün oğluydu. Çocukken geceleyin gökyüzünde tesadüfen gördüğü bir meteor, astronomiye olan ilgisini uyandırmıştı.

1985 yılında Jewitt, Güneş Sistemi'nin uzak bölgelerindeki küçük nesneleri –mesela kuyrukluyıldızları– belirlemek için teleskoplara yeni dijital ışık dedektörleri tutturmak gibi parlak bir fikir bulmuştu. Göremiyor olmamızın, orada bir şey olmadığı anlamına gelmediğini

düşünüyordu. Var olabilecekleri pek düşünülmeyen bu nesneleri araştırmak için finansal destek arayışına girdi ama başvuruları her seferinde geri çevrildi. O dönemden otuz yılı aşkın süre sonra bile, önerdiği uygulamaları küçümseyen değerlendirmeleri hatırladığında tepesi atıyordu: "En sık duyduğum yanıt şuydu: 'İleri sürdüğünüz ölçümün yapılmasının mümkün olduğunu göstermemişsiniz.' Hayatta duyduğum en saçma laf bu vallahi. Bütün olay zaten daha önce hiç yapılmamış bir şey yapmayı denemek. Belki de mümkün değildir ama mevzu onu denemek."[32] Değerlendirme yapanların bazıları "Mevcut Araçlarımız Saptamadı, Demek ki Yok" önyargısına kapılmış olabilir – bir yerde henüz bir şey bulamadık diye orada hiçbir şey olmadığı varsayımına yani.

Vazgeçmeyi reddeden Jewitt ile Luu, yürüttükleri diğer projelerin teleskopla gözlem yapma sürelerinin bir kısmını gizlice bu işe ayırarak, milyarlarca kilometre uzakta var olma olasılıkları olan minik nesneleri aramaya başladılar.

Yıllar boyunca hiçbir şey bulamadılar. Bir yıl geçti; iki yıl geçti; üç, dört, beş yıl böyle geçti ve altıncı yıla girildi. Derken 1992 senesinin bir yaz akşamında, Hawaii'nin Büyük Ada'sındaki Mauna Kea gözlemevinde çalıştıkları sırada bir gelişme oldu. Beş yıllık çabalarının boşuna olduğunu kabullenmeye çok yaklaştıkları bir anda, zorlukla seçilen bir nokta saptadılar. Noktanın belli belirsiz hareket ettiğini fark ettiler. "Bu gerçek olamaz," diye düşündü Jewitt.[33] Ama gerçekti. Jewitt ile Luu, Neptün'ün hemen ötesinde bulunan ve milyonlarca kuyrukluyıldız içerdiği anlaşılacak olan bir yörünge keşfetmişti. 1950'lerde böyle bir yörüngenin var olma ihtimali olduğunu ileri süren (ama ironik bir şekilde, var olmadığına inanan) Hollandalı astronomun anısına, yörünge Kuiper Kuşağı olarak adlandırıldı.

Kuiper Kuşağı'nda sürüyle kuyrukluyıldız saptanınca, içimizdeki suyun kökeni açıklığa kavuşmuş görünüyordu. Kuiper Kuşağı'ndan ve belki birkaçı da daha uzaktaki Oort Bulutu'ndan gelen kuyrukluyıldızlar, şu anda gezegenimizi kaplayan suyu Dünya oluştuktan bir süre sonra buraya taşımıştı.[34] Bu uçan buzdağı depoları, Dünya okyanuslarını doldurmaya yetebilirdi. Kuram kısa sürede kabul gördü ve böyle öğretilir oldu. Gizem çözülmüştü.

Yoksa çözülmemiş miydi? 1995'te yine sorunlar baş gösterdi. Arizona eyaletindeki Phoenix şehri yakınlarında yapılan bir gökyüzü gözlem etkinliğinde, bir çimento şirketinde bölüm şefi olarak çalışan Thomas Bopp arkadaşının teleskobuyla gökyüzüne baktığında, merceğin köşesinde belli belirsiz bir parıltı dikkatini çekti. O akşam New Mexico eyaletinin Cloudcroft kentindeki evinin önünden gökyüzüne bakmakta olan astronom Alan Hale de aynı nesneyi görmüştü. Böylece yeni keşfedilen ve o zamana dek görülenlerin en parlaklarından biri olan kuyrukluyıldıza Hale-Bopp adı verildi.

Ertesi yıl, Dave Jewitt'in de aralarında olduğu bir grup biliminsanı tekrar Mauna Kea gözlemevine gitti. Bu kez çok güçlü bir radyo teleskobu Hale-Bopp'a yönlendireceklerdi. 14.000 fit (yaklaşık 4300 metre) irtifanın rahatsız edici derecede seyrek havasında, geceleri on üç ila on altı saatlik vardiyalarda çalışarak spektrografik ölçümler aldılar. Ender rastlanan bir su biçiminin kuyrukluyıldızdaki oranını, Dünya okyanuslarındaki yüzdesiyle karşılaştırmak istiyorlardı.

Suyun farklı biçimleri olduğunu bilmiyor olabilirsiniz. Su çoğunlukla, çekirdeği tek bir protondan oluşan hidrojen atomları içerir. Fakat yüzde 10 daha ağır olan bir su biçimi daha vardır. Onun içerdiği hidrojen atomları, döteryum adı verilen hidrojen izotoplarıdır. Döteryum çekirdeği, bir protona ek olarak bir de nötron içerir. Daha ağır olan bu su biçimi nadirdir; okyanuslardaki her 6400 su molekülünden sadece biri ağır su molekülüdür. Bu nedenle, Mauna Kea ekibi Hale-Bopp'tan ölçüm almak için hazırlanırken, aynı oranda ağır su bulacaklarını düşünüyordu. Sonuçta Dünya'daki su kuyrukluyıldızlardan gelmişti.

Ama bekledikleri oranı bulmadılar. Hale-Bopp'taki ağır su oranı, okyanuslardakinden iki kat yüksekti. Bu ciddi bir sorundu. Daha önce başka astronomlar da Halley kuyrukluyıldızındaki ağır su oranının benzer yükseklikte olduğunu saptamış fakat bunu bir anomali olarak görüp üzerinde durmamışlardı. Ardından biliminsanları Hyakutake kuyrukluyıldızında da aynı yüksek oranı bulmuştu. Şimdiyse birbirleriyle tutarlılık gösteren ölçümlerin sayısı üçe çıkmıştı. Dolayısıyla, okyanuslardaki ağır su oranı ile kuyrukluyıldızlardaki ağır su

oranının uyumlu olmadığını gösteren kanıtları göz ardı etmek güçleşmişti.

"Hale-Bopp ölçümleri karşısında astronomların tepkisi nasıl oldu?" diye sordum Jewitt'e.

"Paniğe kapıldılar," dedi, ölçümlerin ne ima ettiğini anlamaya başlamışlardı ne de olsa. "Bir nevi 'bilinç uyanışı' gibiydi. New Age tarzı bir şey." Gülerek ekledi: "Keşke bunu söylemeseydim." Ne demek istediği açıktı; araştırmacılar hazırlıksız yakalanmıştı. Okyanusların sırf eriyen kuyrukluyıldızlardan oluşmuş olamayacağı bir anda netlik kazanmıştı. Her ne kadar Whipple kuyrukluyıldızların bolca su içerdiği konusunda haklı olsa da, okyanuslarımızın kökeni Güneş Sistemi'ndeki başka bir yerdi. Ama neresi?

Pek çok kişi gibi Jewitt de bu noktada buzlu kuyrukluyıldızları bir kenara bırakıp asteroitlere –uzayda süzülen devasa kayalara– yöneldi.

Muhtemelen bir kayayı sıkarak su çıkaramayacağınızı düşünüyorsunuzdur. Ama çıkarabilirsiniz; en azından bazılarından. Eğer taşsı meteoritleri yani Dünya'ya düşen asteroit parçalarını ısıtırsanız, bu meteoritlerin kristal yapılarının içine sıkışmış su moleküllerinden su buharı çıkar. Asteroitlerde su olduğunu ve bu kayalarda gizlenen suyun oranının çok değişken olabildiğini biliminsanları yıllardan beri biliyor. Mesela Güneş'e yakın bölgelerde oluşan asteroitlerin çoğunda hiç su olmuyor. Ama Mars'ın ötesindeki dondurucu soğukluktaki yerlerde oluşanlarda su oranı yüzde 13'e kadar çıkabiliyor. Jewitt ve diğer biliminsanları, Dünya'ya çarpan asteroitlerin yeterince büyük olduğu düşünüldüğünde, bunun *bol miktarda* suyun buraya ulaşması anlamına geldiğini fark etti. Dahası da var: Mars ile Jüpiter arasındaki Asteroit Kuşağı denen bölgede çok miktarda asteroidin yörüngede dolanmakta olduğu ve asteroitlerdeki ağır su oranının –kuyrukluyıldızlardakinden farklı olarak– okyanuslardaki ve vücudumuzdaki ağır su oranına uyduğu da biliniyor. Tüm bunlar, gezegenimizdeki suyun uzay kayalarından gelmiş olabileceğine işaret ediyordu.

Ama bu kanıtlara rağmen mesele çözülmüş değildi çünkü Asteroit Kuşağı 480 milyon km uzaktaydı. Orada durup Dünya'ya şişme bir top fırlatmaya çalıştığınızı hayal edin. Hedefi tutturmak için ina-

nılmaz derecede başarılı olmanız gerekir. Peki Dünya'yı suyla kaplamaya yetecek sayıda başarılı atış yapılmış yani doğru açıda asteroit gelmiş olma olasılığı nedir? Ve bunu bilme ihtimalimiz var mı?

1998 yılında Alessandro Morbidelli, Fransız Rivierası'nın kızgın kumlarına kısa bir mesafedeki Nice Gözlemevi'nde asteroit kuramını sınamanın yolunu bulduğu düşüncesindeydi. Teleskopla astronomik gözlemler yapmak yerine, Dünya'nın geçirdiği evrimi masasının üstünde yeniden yapılandıracaktı. Morbidelli gezegen evrimi oyununa yeni katılanlardan biriydi. Gezegen oluşumunun son evrelerini simüle etmek için kısa süre önce yeni ve çok sofistike bir bilgisayar programı hazırlamış olan George Wetherill ve John Chambers'dan etkilenmişti. Chambers'a onunla çalışmak istediğini söyleyen Morbidelli, çarpışarak Dünya'yı oluşturan tüm kaotik nesnelerin –asteroitler ve kuyrukluyıldızlar dahil– kökenlerinin izini sürmek için programı kullanmak niyetindeydi.

Sherlock Holmes'un ezeli rakibi –ve asteroitlerin karmaşık yörüngelerini hesaplayabilecek kadar kafası çalışan bir karakter– olan Moriarty gibi, Morbidelli de gereken matematik bilgisine sahipti.* İtalya'da özgüvenli bir lisans öğrencisi olduğu dönemde, ilkgençlik tutkusu olan gökyüzü gözleminin peşinden gitmek niyetindeyken öğretmenleri onu caydırmıştı. "Bana bundan vazgeçmemi öğütlediler hararetle. Sırf astronomi diplomasıyla iş bulmamın zor olacağını söylediler. Çok riskli olduğu konusunda uyardılar," diye anlatacaktı daha sonra Morbidelli. Böylece hayal kırıklığına uğrayarak fizik okumuş ve mezuniyetten sonra astronomi yüksek lisansı için üniversitesindeki profesörlerle konuşmuş ama hiçbiri onu kabul etmemişti. Beklentileri bir kez daha boşa çıkan Morbidelli, matematiksel fizik ve kaos kuramı alanında doktora yaparken, astronomiye geçebileceği bir im-

* Arthur Conan Doyle'un *Korku Vadisi* kitabında Holmes, Watson'a şöyle der: "*Bir Asteroidin Dinamikleri* kitabının ünlü yazarı değil mi o? Saf matematiğin nadir ulaşılan zirvelerine çıktığından, bilim yazınında kimsenin eleştirecek durumda olmadığı kitap hani?" Moriarty karakterini yaratırken Doyle'un aklında belki de ünlü Kanadalı-Amerikalı astronom Simon Newcomb vardı; asteroit yörüngelerinin incelikli dinamiklerine ilişkin sayısız makale yazmış ve "sevenlerinin sayısının ondan korkanlardan az olduğu" biriydi Newcomb.

kân kollamayı sürdürmüştü. Doktora sonrası araştırmalarında Morbidelli göksel mekanikle bağlantılı olan matematiksel problemlere odaklanmıştı. Bu çalışma Nice'teki astronomların dikkatini çekmişti, çünkü Asteroit Kuşağı'ndaki cisimlerin Dünya'ya nasıl ulaştığına ilişkin modellerine, kaos ve rastlantıyı da içeren daha sofistike bir matematik eklemek istiyorlardı. Morbidelli'ye iş teklif ettiklerinde, hiç tereddütsüz kabul etmişti.

Okyanusları oluşturacak miktarda su getirecek kadar asteroit veya kuyrukluyıldızın Dünya'ya çarpma olasılığını tahmin etmek için simülasyonlarını ayarlayan Morbidelli, Chambers ve çalışma arkadaşları, asteroitler için bunun çok muhtemel olduğunu buldular. Simülasyon sonuçlarına bakılırsa, Dünya'nın son oluşum aşamaları sırasında Mars ile Jüpiter arasında kalan Asteroit Kuşağı'nda bugünkünden çok daha fazla cisim vardı.[35] Devasa Jüpiter'in sabit bir yörüngeye yerleşmesi esnasında bir sürü asteroit her yana bilardo topu gibi savrulmuş ve bazıları tam bize doğru 500 milyon kilometrelik bir güzergâh izlemişti.

Morbidelli'nin kayda değer bulduğu bir diğer nokta ise Dünya'ya kuyrukluyıldız çarpma olasılığının, asteroit çarpma olasılığından çok daha az olmasıydı: "Makalenin bu kısmı sıklıkla gözden kaçırılıyor ama muhtemelen daha önemli; çünkü Jüpiter'in ötesindeki bir nesnenin Dünya'ya çarpma olasılığının *milyonda* birden az olduğunu ortaya koyduk." Aydınlanma ânı işte bu olmuştu. Çok daha uzakta yer alan Kuiper Kuşağı'ndan çıkan bir kuyrukluyıldızın Dünya'ya ulaşmak için o kadar fazla mesafe katetmesi gerekir ki, bize çarpma olasılığı aynı büyüklükte bir asteroidin çarpma olasılığından yüz kat daha azdır.

Böylelikle Morbidelli ve Chambers okyanuslardaki suyun çoğunun buzlu kuyrukluyıldızlar tarafından getirilmiş olmasının pek olası olmadığını gösterdiler. Kuyrukluyıldızlara ilgi azalırken, asteroitlere ilgi artıyordu. Durum yeterince açık görünüyordu. Vücudumuzdaki su, uzaydan gelen büyük kayalar tarafından Dünya'ya taşınmıştı.* Mesele artık kapanabilirdi.

Ama sonra tartışma bir kez daha başladı. Arizona Üniversitesi'nde çalışan Britanya doğumlu jeolog Mike Drake, Dünya'nın kimyasal bileşimi konusunda uzmandı ve yapılan açıklamayla ilgili hâlâ bazı kuşkuları vardı. Lisansüstü öğrenciliği sırasında masasının aşırı düzenli oluşundan ötürü arkadaşlarının dalga geçtiği Drake, karmakarışık bir kuramı da derleyip toplayabileceği kanısındaydı.[36] Asteroit Kuşağı'nın Dünya'ya uzaklığı 500 milyon km idi. İçimizdeki suyun büyük bölümü gerçekten o kadar uzaktan mı gelmişti? Belki asteroitlerin bize su getirmesine hiç ihtiyacımız olmamıştı. Belki de daha basit bir açıklama vardı.

Drake suyun Dünya'ya yaptığı yolculuğu, Güneş Sistemi'nin ilk günlerinden başlayarak zihninde canlandırdı. Engin bir toz ve gaz diskinde gerçekleşen çarpışmalar gezegenimizi oluşturmaya başladığı sırada bölgemizin nasıl göründüğünü düşündü. Bu diskte en bol bulunan gazlar hangileriydi? Hidrojen, sonra helyum, ardından da karbondioksit. Dördüncü en bol gaz hangisiydi peki? Su. Yani Drake'in bakış açısına göre, Dünya'yı oluşturan bulut temelde su buharıyla çevrelenmiş bir toz öbeğiydi.[37] Elbette Dünya'nın bulunduğu bölge o dönemde aşırı sıcaktı. Ama öyle olsa bile, tüm su gerçekten de uçup gitmiş miydi?

Sonra bir gün, güneşli Arizona'da sıkça yapıldığı gibi soğuk bir içecek içerken Drake'in dikkatini çeken bir şey oldu: Su damlacıkları bardağın dışında ince bir katman biçiminde yoğunlaşmıştı. O anda zihninde bir soru belirdi. Yoksa gezegenimizin en küçük yapıtaşlarının üzerinde de su damlacıkları aynı biçimde mi yoğunlaşmıştı? Yaptıkları çarpışmalar sonucunda Dünya'yı oluşturacak olan o minik toz

* Asteroitlerin komşularımıza da su getirip getirmediğini merak ediyorsunuzdur. Venüs'e muhtemelen Dünya'ya ulaşan kadar su ulaştı ve gezegen belki de yaşanabilir durumdaydı. Ama Güneş'e daha yakındı ve çok daha sıcaktı; bu nedenle su buharının konveksiyon akımları Venüs'ün atmosferinin çok yukarılarına çıktı ve oradaki morötesi (UV) ışınlar yavaş yavaş Venüs'ün su moleküllerini parçaladı. Mars'ta da okyanuslar vardı ama küçük olduğu için zayıf olan yerçekimi atmosferini güçlü tutamadı. Zayıf manyetik alanı da onu morötesi ışınlardan koruyamadı. Dolayısıyla onun yüzey suları da kademeli olarak yok olmaya açıktı. Yine de Mars'ın suyunun bir kısmı yüzeyde ve muhtemelen yüzeyin altında buz olarak hâlâ mevcut.

taneciklerinde de böyle ince bir su katmanı mı vardı? Eğer vardıysa, belki de asteroitlerin bize su getirmesine hiç gerek olmamıştı. Belki Dünya'daki suyun büyük bölümü ilk günden beri kayaların içinde saklıydı. Drake, Dünya'nın mantosundaki en yaygın kaya olan olivinin büyük miktarda su tutabileceğini bile hesapladı.

Ama hâlâ açıklaması gereken bir şey vardı: Su, Dünya'nın iç kısmına dağılmış vaziyetteki saklanma yerlerinden nasıl çıkabilmişti? Bu problemin çözümü daha kolaydı. Volkanik gazların yüzde 60'tan fazlası sudan oluşur. Mantonun üst kısmındaki kaya ısınıp eriyik haline gelirken, içinde saklı kalmış hafif su molekülleri bir araya toplanıp atmosfere yayılabilirdi. Jeolog Kevin Righter'la birkaç kez ortaklaşa çalışmalar yapmış olan Drake, Dünya oluşurken toz taneciklerinin okyanuslardaki su miktarının kat kat fazlasını tutabileceğini hesapladı. Bugün bile, Dünya'nın mantosu muhtemelen yüzeyinde olandan daha fazla, belki birkaç kat fazla su tutuyor.[38] Okyanuslardaki suyun çoğunun başından beri burada saklandığı Drake için açıktı. Toz taneciklerinin çarpışmasıyla oluşan kayaların içinde sıkışıp kalmıştı sadece.

Drake'in kuramını herkes çabucak benimsemedi. Morbidelli, Jewitt ve başka birçok astronom için bunu sindirmek zordu. Bir miktar suyun Dünya'ya bu şekilde ulaşmış olması elbette mümkündü, ama suyun büyük çoğunluğunun kökeni gerçekten de bu muydu? Hepsi bir yana, Morbidelli şunu merak ediyordu: Su buharı minik toz taneciklerı üzerinde yoğunlaştıysa bile, gezegenimiz oluşurken o taneciklerin geçirdiği sayısız şiddetli sıcak çarpışma sırasında hâlâ onlara tutunup kalmış olabilir miydi?

Biliminsanlarının çoğunluğunun bugün hangi kuramdan yana olduğunu Jewitt'e sordum. "Herkesin kuramı genel kabul görüyor, kendileri tarafından," dedi alaylı bir tonda. Birçok kişinin suyumuzun çok uzaklardaki çeşitli yerlerden geldiğine muhtemelen katılacağını ekledi. Drake'in öne sürdüğü gibi, küçük bir miktarın toz taneciklerı üzerinde yoğunlaşıp en başından beri Dünya'nın içinde olması muhtemel görünüyor. Kuiper Kuşağı'ndaki kuyrukluyıldızlardan da mütevazı bir miktar geldi. Daha az bir miktar da Güneş Sistemi'nin he-

men dışındaki uzak Oort Bulutu'ndan gelmiş olabilir. İçimizdeki suyun en büyük kısmıysa muhtemelen asteroitlerden geldi. Morbidelli'nin son simülasyonuna göre, söz konusu asteroitlerin Jüpiter'in yakınlarından geldiği görülüyor; Asteroit Kuşağı'ndan değil. Yönlerinin bize doğrulmasına ise Jüpiter'in yörüngesindeki bir değişikliğin ya da gezegenin büyümesinin neden olduğu anlaşılıyor.

Tüm su Dünya'ya ulaştıktan sonra okyanuslarımız nasıl oluştu peki? Kutsal kitaplardaki tufan kadar dramatik bir hikâye bu. Eğer Dünya'nın ilk günlerinde ona uzaktan baksaydınız, koyu kırmızı renkte parladığını görürdünüz. Gelgitlerle çalkalanan sıcak bir magma okyanusu tüm yüzeyi kaplamıştı. Aradan bir süre geçtikten sonra tekrar baktığınızdaysa, en dışta ince bir katmanın soğuduğunu ve koyu renk bir kaya kabuğuna dönüştüğünü görürdünüz. Kabuk kalınlaştıkça, aşağıdaki magmadan gelen su buharı bir sürü yanardağdan ve yarıktan dışarı çıkmaya devam ederek, Dünya'nın üzerinde huzursuz edici bir şekilde asılı duran yoğun kara bulutlar yarattı. Bu ilk günlerde bir yandan da asteroitler ve muhtemelen daha az sayıda kuyrukluyıldız Dünya'ya çarpmaya devam ederek, magma tarafından emilecek veya atmosfere saçılacak daha fazla su getirdi.

Dünya ve atmosfer soğurken o tehditkâr bulutlar o kadar büyüyüp ağırlaştı ki, sonunda tüm zamanların en büyük tufanı gerçekleşti – Nuh'u bile hayrete düşürebilecek ölçekte bir tufan. Şu anda vücudumuzun içinde bulunan su, bir zamanlar o korkunç sel felaketiyle sürüklenmişti. Binlerce, belki de on binlerce yıl boyu yağmur yağdı.[39] Magmadan çıkmayı sürdüren su buharı, atmosferden yağan suyun yerini alıyordu. Tektonik levha hareketlerinden önceki o günlerde, gezegenimizde yüksek dağlar ya da derin havzalar yoktu. Yağmur durduğunda, derinliği 1,5 km'yi aşan bir okyanus tüm dünyayı kaplamış durumdaydı.

Dünyanın erken dönemdeki durumunu yeniden canlandırmak herkesin cüret edebileceği bir iş değil. "O kadar eskiye uzanan hiçbir şey için kesin konuşulamaz," diyor jeolog John Valley.[40] Biliminsanları artık suyun gezegenimize nasıl geldiğini makul bir şekilde açıklayabiliyordu; ama yaşama uygun, durağan bir su kütlesinin ilk ne zaman

ortaya çıktığını anlamak, suyun kaynağını bulmak kadar zor oldu.

Başta kolay görünmüştü. 2001 yılına kadar çoğu biliminsanı olayın çözüldüğünü sanıyordu. Bilindiği gibi 4,5 milyar yıl önce Dünya ve Ay'ın oluşmasının ardından, asteroit ve kuyrukluyıldız bombardımanı Dünya'yı haşat etmeye devam etmişti. O sırada Dünya'nın yüzeyinde bulunan şanssız su molekülleri, muhtemelen devasa ateş toplarının darbeleriyle buharlaşmış veya sterilize edilmiş ya da sıcak magma tarafından emilmişti. Dolayısıyla 3,8 milyar yıl önce sona eren Geç Dönem Ağır Bombardıman bitmeden, sabit bir okyanus veya göl oluşamazdı.

Fakat bir kum tanesinden daha küçük olan çok eski kristallerde keşfedilen kimyasal işaretler, biliminsanlarının gezegen tarihine ilişkin derli toplu açıklamasını altüst etti. Yaşama elverişli bir okyanus çok daha erken bir zamanda –belki Dünya oluştuktan kısa bir süre sonra– ortaya çıkmış olabilir miydi?

Söz konusu kristallerin yüzeye ilk çıkarılışı, jeolog Simon Wilde'ın jeolojik bir araştırma kapsamında Avustralya'nın uzak bir bölgesini haritalaması sırasında oldu. Wilde arabasıyla çölden geçerek, Perth'ün yaklaşık 650 km kuzeyindeki Cue adlı bir kasabaya gitmişti. Sonra Jack Hills olarak bilinen çalılıklı, kırmızı ve kahverengi tonlardaki bir dizi tepeye ulaşmak için asfaltsız bir yoldan 200 km daha ilerlemesi gerekmişti. Orada küçük bir tepenin haritasını çıkarırken, ender rastlanan bir kuvars çakıltaşı konglomerasının yüzeyde kalmış ve apaçık görünür durumdaki çıkıntısını fark etti; rengi yeşile çalan ve bir kenarı iki metre civarında olan çıkıntı onu müthiş heyecanlandırdı. Konglomeralar kum, çamur ve diğer kimyasal yapıştırıcılarla birbirlerine bağlanmış kayalardan oluşur. Wilde'ın karşılaştığı konglomera çeşidi ise insanı zengin etmesiyle meşhurdur. Eğer bir tane keşfedecek olursanız, zaman ayırıp araştırmaya değebilir. Güney Afrika'daki Witwatersrand adlı benzer bir oluşum, bugüne kadar çıkarılmış tüm altının yüzde 30 ila 40 kadarının kaynağıdır.[41]

Wilde, Jack Hills'de bulduğu konglomeranın en küçük zerrelerini özenle ayırıp süzdü. Kendisini zengin edecek hiçbir şey bulamadı ama –o sırada haberi olmasa da– bilimsel bir altın madeni bulmuştu. Çeşit çeşit kayanın arasında zirkon adı verilen inanılmaz derecede

dayanıklı bir mineralin de birkaç nadir kristali vardı. Bunların Dünya'daki bütün kayalardan çok daha yaşlı olduğu anlaşıldı. Yaşları 4,1 milyar yıl çıktı; sonradan bu tarih 4,3 milyar yıl olarak düzeltildi.

Bu büyük bir haberdi. Üstelik daha iyi bir haber de gelecekti.

On yıl sonra 1999'da Wisconsin Üniversitesi'nden jeolog John Valley ile lisansüstü öğrencisi William Peck, kadim kristalleri incelemek için Wilde'dan izin istemeye karar verdiler.[42] Bu minik kaya parçaları, kayanın sıcak magmadan kristalize olduğu zamanlarda yani Dünya'nın erken dönemlerinde mevcut olan koşullar hakkında kimyasal ipuçları barındırıyor olabilirdi. İskoçya'daki üniversitelerden birinde bulunan yeni iyon probunu kullanma izinleri olan Valley ve Peck, yanlarına Wilde'ın kristallerinden yüz tane kadar alarak Edinburgh'a gittiler. Bu cümlenin sonundaki noktadan büyük olmayan o kristallerin arasında, en eski tarihli olanlardan da beş adet vardı. Kristalleri incelemek için kullanacakları pahalı cihaz, araba boyutunda bir parçacık hızlandırıcıya benziyordu. Kristallere bir iyon demeti gönderilerek ve ufalanan moleküller incelenerek, içindeki oksijenin miktarı ve çeşidi açığa çıkarılabiliyordu. Alet aşırı hassas olduğundan, binada kimsenin olmadığı ve asansörün çalışmadığı gece saatleri daha uygundu; bu nedenle ekip on dört saatlik ölümüne vardiyalarda çalıştı. Onuncu gün, Valley sabahın üçünde en eski kristalleri incelemeye başladı. İçlerindeki oksijen izotoplarının, kristallerin çok yüksek sıcaklıklarda oluştuğu varsayıldığında olması gerekenden daha yüksek olduğunu hemen fark etti. Sabahleyin Peck elinde çayla çıkageldiğinde, Valley ona yatmadan önce içmeyi âdet edindiği bir şişe Britanya birasıyla eşlik etti ve birlikte sonuçlara kafa yordular. "Sonraki dört günü neyi yanlış yaptığımı anlamaya çalışarak geçirdik," diye anlatıyor Valley.

Akla gelebilecek her türlü hata kaynağını eledikten sonra, mümkün olan tek sonuçla baş başa kaldılar: Yaptıkları ölçümler doğru olmalıydı. Ender bir ağır oksijen izotopunun bu denli yüksek düzeyde mevcut olması ancak tek bir şekilde mümkündü (fazla karmaşık olduğundan nedenlerine burada değinmeyeceğiz): Zirkon, bir zamanlar

–çok erken bir tarihte– sıvı su da varken Dünya'nın yüzeyinde bulunmuş olan tortul kayaçtan oluşmuş olmalıydı.*

Elde ettikleri bulguyu çok geçmeden başka biliminsanları da doğruladı.[43] Her biri kum tanesi boyutunda olan bir düzineden az sayıdaki kristal, gezegenimizin tarihini baştan yazdı. Bilindiği kadarıyla sadece Avustralya taşrasındaki ufak kayalarda varlığını sürdürebilmiş olan bu kadim kalıntılar günümüzden 4,4 ila 4,2 milyar yıl önce –büyük bir çarpışmanın Dünya'yı yakıp Ay'ı yaratmasından yalnızca 100 ila 300 milyon yıl sonra– Dünya yüzeyinde halihazırda su bulunduğunu, muhtemelen bir okyanusun oluşmuş olduğunu ortaya koydu.

Dünya'nın ilk okyanusu, Geç Dönem Ağır Bombardıman bitene kadar yani 400 milyon yıl süresince devasa asteroitler tarafından tekrar tekrar buharlaştırılmış mıydı acaba? Yoksa yaşam için güvenli bir sığınak sağlamaya yetecek kadar korunan okyanus bölgeleri olmuş muydu? Gerçekçi biliminsanları buna ihtimal vermiyor ama Geç Dönem Ağır Bombardıman'ın sanılandan daha hafif geçmiş olabileceğini düşünen pek çok araştırmacı var artık. Bu da hücresel atalarımızın ilk olarak evrildiği okyanusun, Dünya oluştuktan çok kısa süre sonra belirmiş olabileceği anlamına geliyor.

Elbette yanıt bekleyen çok sayıda soru ve bilmediğimiz çok şey var hâlâ. Kesin olarak söylenebilecek olan şu: Damarlarımızda akan suyun bir kısmı, çarpışmaları sonucunda Dünya'yı oluşturan toz taneciklerinin üzerinde yoğunlaşan sudur. Bunun yanı sıra, içimizdeki su moleküllerinin bazıları kuyrukluyıldızların üzerinde yaptıkları uzun yolculukla Kuiper Kuşağı'ndan –Neptün ile Plüton arasındaki bölgeden– ve daha küçük bir kısmı da on binlerce yıllık bir seyahatle Oort Bulutu'ndan –Güneş Sistemi'nin en uç bölgelerinden– buraya geldi. Vücudumuzdaki suyun çoğu ise muhtemelen devasa kayalardan ibaret olan asteroitlerle Jüpiter'in yakınlarından Dünya'ya ulaştı. Farklı yerlerden gelen tüm bu su molekülleri 4,4 ila 3,8 milyar yıl önce –diğer bir deyişle Dünya oluştuktan 100 ila 700 milyon yıl sonra–

* İzotoplar, Dünya yüzeyindeki kayaların su tarafından parçalanarak kile dönüştüğünü ve bunun kildeki oksijen izotopu oranını da değiştirdiğini ortaya çıkardı. Kil tortul kayaya gömüldükten sonra yeraltındaki yüksek basınç kilden zirkon kristalleri oluşturdu.

engin bir okyanusta bir araya toplandı.

Bu çok eski dönemde, dalgaların arasından bazen tek tük adalar görünüyordu. Yanardağlar havaya durmaksızın gaz, lav ve kül püskürtüyordu. Parlak şimşekler gökyüzünü yırtıyordu. Uzaktan bakıldığında, Dünya artık erimiş kırmızı bir magma okyanusu ya da siyah ve gri volkanik kayalarla kaplı bir küre değildi. Artık mavi gezegenimizde su şırıl şırıl akıyor, çağlıyor, dalgalanıyordu. Sonunda moleküler atalarımız, içinde birbirleriyle buluşabilecekleri su dolu bir yuvaya kavuşmuştu. Canlılığın evrilmesi için sahne hazırdı artık – şayet bir yaşamsal bileşen daha bulunabilirse tabii.

6

En Meşhur Deney

Yaşamsal Moleküllerin Kökeninin Peşinde

Yaşamımın büyük bölümü moleküllerin
arasında geçti. İnsana iyi yârenlik ediyorlar.[1]

George Wald

1918'DE KOMÜNİST RUSYA'nın yeni başkenti Moskova'daki vatandaşlar yaşamlarını normalleştirmeye uğraşıyordu ama bu kolay değildi. Beyaz Ordu'yla Kızıl Ordu arasındaki acımasız iç savaş tırmanıyordu. Bir yandan da Batı'nın açtığı ticaret savaşı vardı. Başkent devrimci fikirlerle doluydu; eşitlik, adalet ve tarih konusunda yeni bakış açıları doğuyordu. Kaçmamış olan zenginler sıradan vatandaş statüsüne indirilmiş, servetlerini ve evlerini fakirlerle paylaşmaya zorlanmıştı. Tüm bu devrimci coşkuya rağmen, aklında birçok radikal bilimsel fikir olan genç biyokimyacı Aleksandr Oparin, hayal kırıklığı yaratan bir haber aldı. Sansür kurulu, salt kimyasal maddelerden canlılığın nasıl oluştuğuna ilişkin tahminler içeren makalesinin yayımlanmasına izin vermemişti. Bolşevikler çarı bir yıl önce devirmiş olsa da, devrimci ideolojileri henüz sansür kurulundakilere sirayet etmemişti; bunun nedeni belki de Rus Ortodoks Kilisesi'ni resmen karşılarına almaya henüz hazır olmayışlarıydı.

Yine de Oparin'in radikal fikirleri uzun süre bastırılmayacaktı. Bu fikirler, kadim kimyasal atalarımızın –yaşamın yapıtaşları olan organik moleküllerin– kökenini bulmaya yönelik araştırmaların başlamasını tetikledi. Bunun "canlılar dünyası"nı "cansızlar dünyası"na bağlama çabasının ilk adımı olmasını umuyordu Oparin.[2]

Doğup büyüdüğü yer olan Ugliç, ahşap evleri ve at arabalarının geçtiği çamurlu yollarıyla bir taşra şehriydi. Bitki koleksiyonculuğuna merak salan Oparin ağaçların, otların, çiçeklerin ve ladin, huş ve çam ormanlarında bulduğu böceklerin inanılmaz çeşitliliğinden büyük zevk alıyordu.[3] 1914'te botanik okumak için Moskova Üniversitesi'ne kaydoldu. Çara karşı olduğu için üniversiteden uzaklaştırılmış olan ama evinde öğretime devam eden karizmatik biyolog Kliment Timiryazev'in dersleri onda büyük bir ilgi uyandırdı. Timiryazev Darwin'den o kadar etkilenmişti ki, yirmi altı yaşındayken İngiltere'ye "hacca" gitmişti. Darwin kendisiyle görüşmeyi kabul edene kadar yani bir hafta boyunca, içine kapanık biliminsanının evine yakın bir *pub*'da takılmış ve gözünü evden ayırmamıştı. Timiryazev, Darwin'in popülerleşmesinde büyük bir rol oynamıştı; Darwinyen evrim ile Marksizmin kusursuz örtüştüğünü ve aynı bilimsel dünya görüşünü temsil ettiklerini söylüyordu.[4] Marksizm insan ilişkilerine bakışımızda, Darwinizm de biyolojik geçmişimize bakışımızda devrim yaratmıştı. Timiryazev'e göre, hem evrim hem de komünizm tarihin kaçınılmaz bir sonucuydu.

1917'de yani Bolşevikler'in iktidarı ele geçirdiği yıl, Oparin bitki fizyolojisi alanında lisansüstü eğitime başladı. Lenin'inkine benzeyen bir keçi sakalı ve bıyık bırakıp, seçkin biliminsanı ve devrimci Aleksey Bakh ile çalışmaya başladı. Bakh'ın geniş kesimlerce okunmuş ve tartışılmış olan iğneleyici risalesi *Tsar Golod* (Çar Açlık), devrimci sosyalizmi popülerleştirmişti. Oparin'in onun danışmanlığında yürüttüğü çalışması ise alglerde fotosentezi konu alıyordu.

Oparin daha fazla şey öğrendikçe, devrim niteliğindeki başka bir fikrin doğruluğuna giderek daha fazla ikna oldu: Kimyasal evrim, canlılığın kökenini açıklayabilirdi.

Türlerin Kökeni'nin yayımlanmasının üzerinden yarım asır geçtikten sonra bile bu fikre katılan çok az kişi vardı. İngiltere'nin önde gelen biliminsanlarının çoğu öteden beri dindar olagelmiş, vazifelerini Tanrı'nın yaratımının ihtişamını gün yüzüne çıkarmak olarak görmüşlerdi. Onların gözünde, cansız kimyasallardan canlılığın ortaya çıkabileceğini ileri sürmek kutsala küfürdü. Ama yeni Rusya'da, Oparin'in bu yöndeki tahminleri bilakis teşvik gördü (her ne kadar

sansür kurulu bu konuda biraz geriden gelse de).

Yine de Oparin, kimyasal kökenlerimizin izini sürmeye çalışırken göz ardı edilemeyecek bir problemle karşı karşıyaydı: Bizim vücudumuzdakiler de dahil olmak üzere herhangi bir canlıda bulunan moleküller, etraftaki kayalarda bulunan inorganik moleküllerden tamamen farklıydı. Eğer kendi bileşiminizi analiz ederseniz, yaklaşık yüzde 60'ınızın su olduğunu görürsünüz. Yüzde 1'lik kısım da sodyum, potasyum ve magnezyum gibi elementlerden oluşan iyonlardır.[5] Ama içinizdeki diğer her şey –tırnaklarınızdan tutun da iskeletinize, kaslarınıza ve beyninize kadar– tamamen organik moleküllerden oluşur; yani karbon zincirleri veya halkaları etrafında yapılanmış moleküllerden.

Karbona bir kişilik tipi atfedecek olursak, dışa dönük bir arabulucu olduğu söylenebilir. Aslına bakarsanız, çoğu biliminsanına göre şayet evrenin başka bir yerinde yaşam varsa onun da karbon temelli olması muhtemel. Karbonun çokyönlülüğü, en dış kabuğunda dört elektron bulunmasından gelir. Buna ek olarak bir de boyutunun küçük olması sayesinde, ustaca geometri numaralarıyla dört yönde birden kolayca bağ yapabilir ve uzun, sağlam halkalar ve zincirler oluşturabilir. Oluşturduğu bu yapılar, organik benliğimiz için omurga görevi görür. Şekerler, yağ asitleri, amino asitler ve nükleik asitler karbon temel üzerine inşa edilir. Bunlar da birbirlerine bağlanarak karbonhidratları, yağları, proteinleri ve büyük organik yapıtaşımız olan DNA'yı oluştururlar. Örneğin büyük bir kas olan kalp, içerdiği suyu saymazsak yüzde 70 oranında protein yani amino asittir.[6]

Fakat biliminsanlarının bildiği kadarıyla, organik molekülleri sadece canlılar üretebiliyordu. Ne kadar aranırsa aransın, kayalarda onlara rastlamak mümkün değildi (tabii organik maddeden meydana gelen tortul kayaçlar –mesela kömür– hariç). Bu da canlılığın kökeninin açıklanmasının önünde bir engel teşkil ediyordu. Sonuçta yaşamın yapıtaşlarının nereden çıktığı bilinmeden, canlılığın nasıl ortaya çıktığı tam olarak kavranamazdı. Biliminsanlarının bu konuda hiçbir fikri yoktu. Cansız kayalardaki inorganik moleküller ile canlılardaki karmaşık yapılı organik moleküller arasındaki uçurum o günlerde, beynimizdeki moleküllerin bilinci nasıl oluşturduğuna ilişkin

günümüzde süregiden tartışma kadar içinden çıkılmaz bir meseleydi. Çoğu kişi, organik moleküllerin ancak ve ancak "bir yaşam kıvılcımı"yla –yani sadece yaşayan organizmalarda bulunan açıklanamaz bir güçle– yaratılabileceğine inanıyordu.

Öğrenciliğim boyunca, vitalizm (dirimselcilik) adı verilen bu düşünceyi saçma bulurdum hep. Nasıl olur da bir biliminsanı böyle bir fikri dikkate alabilirdi? Ama kendinizi biliminsanlarının yerine koyarsanız, anlamak kolaylaşır. Aristoteles'ten bu yana, çok sayıda büyük düşünür vitalizmin bir biçimine inanmıştı. Eğer sizin de basit moleküllerin nasıl organik moleküllere dönüştüğü konusunda hiçbir kuramınız olmasaydı, hücreleri ve hücre içi yapıları gösterecek güçlü elektron mikroskoplarınız olmasaydı ve kalıtımsal aktarım hakkında da hiçbir fikriniz olmasaydı, o zaman cansız kimyasallardan canlı varlıklara geçiş pekâlâ sihirli görünebilirdi. Şunu düşünün: Bir taşı ikiye ayırırsanız, iki parça da öylece kalır. Ama planarya türü yassı solucanı ikiye bölerseniz, parçaların ikisi de rejenerasyonla eksiksiz birer bütüne dönüşür. Bunu nasıl açıklarsınız? "Görünüşe göre, elementlerin canlılar dünyasında uyduğu yasalar, cansızlar dünyasında uyduklarından farklı," diye yazmıştı 18. yüzyılda yaşamış İsveçli kimyacı Jöns Berzelius.[7] Cansız madde bir yaşam enerjisinden yoksun gibi görünüyordu. 19. yüzyılın parlak fizikçisi Lord Kelvin (havadan ağır uçan makineler yapmanın olanaksız olduğunu ilan etmesiyle de tanınır) şöyle yazmıştı: "Cansız madde, canlı maddenin etkisi olmadan canlanamaz. Bunu yerçekimi kanunu kadar kesin bir bilim öğretisi olarak görüyorum."[8] 20. yüzyılda, kuantum fiziğinin kurucularından Niels Bohr, yaşamı anlamak için yeni türde fiziksel fenomenler keşfetmemiz gerekebileceğini öne sürmüştü. Yeni canlı türlerinin nasıl belirdiğini ortaya koyan Darwin bile, canlılığın kimyasallarla dolu bir havuzdan ilk olarak nasıl belirdiği konusunda bir şey söyleyemiyordu. Botanikçi Joseph Hooker'a şöyle yazmıştı: "Şu anda yaşamın kökenini düşünmek saçmalıktan başka bir şey değil. Maddenin kökenine kafa yormak gibi bir şey bu."[9]

On dokuzuncu yüzyılda yaşamış biliminsanlarının bazıları öyle büyük bir hüsran içindeydi ki, havlu attılar. Lord Kelvin, çözümü evrenin ve yaşamın hep var olmuş olduğunu öne sürmekte buldu. Ünlü

biliminsanı ve felsefeci Hermann von Helmholtz da aynı görüşteydi. Yaşamın çok eski olduğuna, maddenin kendisi kadar eski olduğuna inanıyorlardı. Dünya'da ortaya çıkmadan çok önce evrenin başka bir yerinde var olmuş olmalıydı. Buraya nasıl gelebildiği gizemini koruyordu ama tahminlerine göre göktaşlarıyla ya da kuyrukluyıldızlarla ulaşmış olabilirdi. Helmholtz şöyle demişti: "Uzayın her yanında kaynaşan o cisimlerin, nerede yeni bir dünya varsa oraya yaşam tohumları saçıp saçmadığını kim bilebilir?"[10] Ama Kelvin'in, Helmholtz'un ve daha başka kişilerin de ortaya attığı panspermiya fikri ("her yandaki tohumlar" anlamına gelir) sorunu sadece uzaktaki başka bir yere konumlandırıyordu. Yaşamın kökenine ilişkin gizemin çözülmesine hiçbir faydası yoktu.

Oparin 1922'de –sansür kurulu tarafından reddedildikten birkaç yıl sonra– Moskova'da bulunan bir laboratuvarda Bolşevik kahraman Aleksey Bakh ile birlikte çalışıyordu. Ayrıca öğretim görevlisi olarak atanmıştı. Üniversitede etkileyici ve uyumsuz karakteriyle yarattığı güçlü izlenim uzun süre hafızalardan silinmeyecekti. Eğitim görmesi için kısa bir süreliğine yurtdışına gönderilmiş olan Oparin, öğrencilerinin yıpranmış eski kıyafetlerine tezat oluşturacak şekilde, Avrupai tarzda şık takım elbiseler giyiyor ve boynundan hiç eksik etmediği papyonu zarafet ve otorite hissi veriyordu.[11] Yeni işçi cennetinde yaşam koşulları zordu. Ekonomi perişan haldeydi ve Moskova'da pek çok kişi açlık çekiyordu. Oparin, ekmek ve çay üretimini geliştirmek için biyokimya bilgisinden yararlanmaya koyuldu.

Fakat bu büyük ihtiyaç zamanında bile daha derin bilimsel sorulara olan ilgisini kaybetmemişti. Darwin'in başyapıtı olan *Türlerin Kökeni*'nin "ilk bölümünün eksik" olduğunun o da farkındaydı ama bu konuda bir şeyler yapılabileceği kanısındaydı.[12] Başlangıç ilkelerine dönmeye karar verdi. Organik molekülleri sadece canlı organizmaların üretebiliyor olması gerçekten mümkün müydü? Eğer öyleyse, o zaman ilk hücre (enerji üretebilen ve çoğalabilen, zarla çevrili ilk molekül topluluğu) o kadar olağanüstü derecede gelişmiş olmalıydı ki, kendisini oluşturan malzemeleri de üretebilmeliydi. Bunun düşünülemeyecek kadar büyük bir evrimsel sıçrama olduğu açıktı. Oparin'e göre, ilk hücrenin etrafta halihazırda var olan organik mole-

küllerden doğduğunu varsaymak çok daha mantıklıydı. Peki ama o organik moleküller nereden gelmişti?

Oparin, yaşamın kökenini aldatıcı derecede basit gösteren bir gerçeği zaten biliyordu. Periyodik tabloda bir sürü element olmasına rağmen, kütlemizin neredeyse tamamının sadece altı elementten oluştuğunu 19. yüzyıl kimyacıları çoktan saptamıştı: karbon, hidrojen, oksijen, azot, kükürt ve fosfor.

Yağlarımız ve karbonhidratlarımız yalnızca karbon, hidrojen ve oksijenden meydana gelen molekül zincirleridir. Proteinlerimiz de karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürtten oluşur. DNA ise sadece karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfor içerir. Bu altı element, içimizdeki her şeyin kabaca yüzde 99'unu oluşturur. 70 kg olan bir insan kütle olarak 40 kg oksijen, 15 kg karbon, 6 kg hidrojen, 2 kg azot, 1 kg civarında fosfor ve 0,2 kg kadar kükürt içerir.

Bu altı element aynı zamanda evrende en bol bulunan elementler arasındadır. Hidrojen tüm elementlerin en yaygın olanıdır; oksijen üçüncü, karbon altıncı, azot on üçüncü, kükürt on altıncı ve fosfor on dokuzuncu sırada gelir. Bu da yaşamın kökenini anlama çabasını bir bakıma kimyasal bir *Scrabble** oyununa dönüştürür. Yapılması gereken, bu birkaç elementin nasıl birleşerek organik molekülleri oluşturduğunu açıklamaktan ibarettir.

Elbette bunu yapmanın son derece zor olduğu artık anlaşılmış durumda. Atomlar kime bağlanacakları konusunda çok seçicidir. Bu altı elementin olası birleşme şekillerinin sayısı ise akıllara durgunluk verecek kadar çoktur. Karbon o kadar sosyal ve eğilip bükülerek bağlanma konusunda o kadar beceriklidir ki, Dünya'da bilinen on milyondan fazla organik molekül mevcuttur.

Moscow Worker yayınevi 1924 yılında, artık halkı Tanrı'nın var olmadığına inandırmaya hevesli olan Kızıl Rusya'da, Oparin'in yetmiş bir sayfalık makalesini kapağında "Dünyanın Bütün Proleterleri, Birleşin!" sloganı olan bir kitapçık şeklinde yayımladı. O tarihten on iki yıl sonra, Oparin argümanını genişleterek ve yakın zamanlardaki keşiflerle harmanlayarak bir kitap yayımladı.

* Eldeki harflerle sözcükler oluşturulan bir oyun. –*ç.n.*

Oparin'in çığır açıcı fikirlerinin ilki, canlılığın nasıl ortaya çıktığını anlamak için milyarlarca yıl önceki Dünya'ya dair net bir tabloya ihtiyaç olduğuydu. İlginçtir ama canlılık konusunda düşünen neredeyse hiç kimse o zamana kadar bunu hesaba katmamıştı. Oparin, astronomi ve jeoloji alanındaki en son bulguları gözden geçirdikten sonra, ilk oluştuğu zamanlarda Dünya'nın bugünkü haline hiç benzemediğini fark etmişti.

En önemlisi, Dünya'nın o zamanlarda neyden yoksun olduğuydu. Çoğu biliminsanı oksijenin hep var olduğunu varsayıyordu ama Oparin atmosferdeki oksijenin fotosentezle üretildiğini anlamıştı. Yaşam ortaya çıkmadan önce atmosferde oksijen yoktu. Hiçbirimiz o dönemde bir an bile hayatta kalamazdık.

Oparin, Dünya'nın atmosferinin başlangıçta Jüpiter'inkine benzediğini ileri sürdü; Jüpiter'in atmosferinin amonyak ve metan dolu olduğu kısa süre önce keşfedilmişti. Oparin kayda değer bir şekilde, temel bileşenlerden –metan (CH_4) gibi basit hidrokarbonların yanı sıra amonyak (NH_4), hidrojen (H_2) ve sudan (H_2O)– daha karmaşık yapılı organik moleküllerin, proteinlerin ve yaşamın ortaya çıkmasını sağlayabilecek bir dizi detaylı kimyasal tepkimeyi kâğıt üzerinde özetledi. Yaşamı kimyasal evrimin doruk noktası olarak görmenin mümkün olduğu iddiasındaydı. Mütevazı bir tavırla, kitabına *Yaşamın Kökeni* adını verdi; Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nde anlattıklarının öncesini anlatan bir kitap için uygun bir isimdi bu.

Acaba ilk canlı nasıldı? Oparin'in çağdaşlarından bazıları, ilk canlıların fotosentez yapan algler olduğunu düşünüyordu.[13] Oparin'e göre bunun olanaksız olduğu besbelliydi. Bir bitki biyokimyacısı olarak, fotosentezin karmaşıklığının bilincine gayet iyi varmıştı. Evrimleşen ilk organizmaların halihazırda o kadar karmaşık olmasına imkân yoktu; bu aşırı büyük bir evrimsel sıçrama olurdu. Onun yerine, ilk yaşam formu olarak, okyanusta yavaş yavaş bakterilere dönüşen organik molekül kümelerini aday gösterdi.

İngiltere'de, renkli bir kişiliği olan özgür düşünceli evrimsel biyolog, biyokimyacı, matematikçi ve üretken yazar J. B. S. Haldane benzer bir kuramı bağımsız olarak geliştirmişti. *Rationalist Annual* dergisinde yayımlanan makalesini birçok biliminsanı başta "uçuk bir

spekülasyon" olarak görüp dikkate almamış ve Haldane de ilgisini büyük ölçüde başka önemli konulara kaydırmıştı.[14]

Ama Oparin kariyerinin geri kalanı boyunca yaşamın kökeni üzerinde çalışmaya devam etti. Sovyet biliminde büyük bir üne kavuştu ve aralarında Sosyalist Emek Kahramanı, Kızıl Emek Nişanı ve en yüksek sivil onur olan Lenin Nişanı'nın da bulunduğu bir sürü madalyayla ödüllendirildi. Sonraki yıllarda Batı'ya yaptığı ziyaretlerde de övgüyle karşılanacaktı.

Bununla birlikte, Sovyet biliminin zirvesine yükselişinin başka bir yönü gün ışığına çıktığında itibarı zedelenecekti. Oparin 1940'larda güce susamış biyolog Trofim Lısenko ile ittifak kurmuştu. Lısenko'nun ortaya attığı Marksist kalıtım kuramı son derece sorunluydu, fakat Stalin kuramı sevmişti. Lısenko'nun iddiasına göre, bitkilerin özellikleri –insanların özellikleri gibi– bulundukları çevre tarafından şekillendiriliyordu; varlığına inanmadığı "genler" tarafından değil. Lısenko, Mendel'in rakip genetik kuramını benimseyen herkese acımasızca zulmetti. Onun fikirlerini kabul etmeyi reddedenlerin çoğu işlerini kaybetti, Sibirya'ya sürüldü ya da ortadan kayboldu. Buna rağmen Oparin Lısenko'nun destekçisi ve arkadaşıydı. Hatta komşu daçaları (tatil evleri) bile vardı.[15]

Yıllar sonra yazar Loren Graham, Oparin'i Lısenko'ya verdiği destekle yüzleştirdi. "O yıllarda siz burada olsaydınız, düşüncelerinizi açıkça söyleyip Sibirya'da hapsedilmeye cesaret eder miydiniz?" diye yanıtladı Oparin.[16]

Stalin'in tehlikeli Rusya'sında konumunu ve canını korumak için ilkelerini çiğnese de, Oparin'in bilime yaptığı katkı çığır açıcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda bilimsel bir patlamayı da tetikledi.

Oparin yaşamın kökenini araştırmaya yönelik kuramsal bir çerçeve ortaya koymuştu ama kimse bunu sınamayı denememişti. Organik kimyasalları saptamak için mevcut teknikler sınırlıydı. Sonra 1951'de Şikago Üniversitesi'ne Stanley Miller adında gergin, hırslı bir lisansüstü öğrencisi geldi.

Şikago Üniversitesi, birçok seçkin biliminsanının atom bombası konusunda çalışmak için gelip kaldığı bilimsel bir güç merkeziydi.

Şans eseri, Miller okuldaki ilk döneminde ünlü kimyacı Harold Urey'in bir konferansına katıldı. Döteryumu (hidrojen bombası yakıtı olarak üretilen ve Dave Jewitt ile ekibinin sonradan kuyrukluyıldızlarda saptayacakları izotopu) keşfettiği için Nobel Ödülü alan Urey, Manhattan Projesi'nde uranyum izotoplarını ayırma programını yönetmişti, ama atom bombasının dehşetini üzerinden atamadığından nükleer silahların bir daha kullanılmasına karşıydı. *Collier's* dergisindeki bir yazısında şöyle demişti: "Tanıdığım tüm biliminsanları korkuya kapılmış durumda; hem kendi canları hem de sizin canınız için endişeleniyorlar."[17] "Solcu" görüşleri yüzünden FBI'da kabarık bir dosyası olan Urey, savaş karşıtları için daha uygun bir alana geçiş yapmıştı sonunda: gezegenlerin, Ay'ın ve Dünya'nın kimyası.

Urey'in erken dönem Dünya atmosferinin bileşimi hakkındaki görüşü Oparin'inkine oldukça benziyordu. Miller'ın katıldığı konferansta, birilerinin bir ara Oparin'in kuramını test etmeyi denemesi gerektiğini de laf arasında belirtmişti Urey.[18] Miller bunu bir kenara not etti ama herhangi bir girişimde bulunmadı. Taze bir doktora öğrencisi olarak, doktora tezi için bir problem arayışındaydı. Ama lisans öğrencisiyken yaptığı araştırma, ne pahasına olursa olsun deneylerden kaçınması gerektiğine onu ikna etmişti. Deneyler başa dert açıyor ve zaman tüketiyordu; üstelik Miller deneylerin kuramsal çalışmalar kadar önemli olmadıklarını düşünüyordu. Böylece elementlerin yıldızlarda nasıl üretildiğini araştırmak gibi harika bir fırsatı hevesle kabul etti. Tezini, bilim dünyasında tartışmalı bir figür olan fizikçi Edward Teller'ın yani "hidrojen bombasının babası"nın danışmanlığında hazırlayacaktı. Ama Teller sadece altı ay sonra Kaliforniya'daki Lawrence Livermore Laboratuvarı'na geçerek Miller'ı zor durumda bıraktı; orada yeni nükleer silahlar geliştirecekti. Geriye dönülüp bakıldığında, bunun Miller için bir şans olduğu anlaşılıyor. Çünkü Miller'ın tezi için seçtiği konuda, fizikçi Fred Hoyle ve ekibi çalışmalarını çoktan ilerletmişti; birkaç yıl sonra da elementlerin yıldızlarda nasıl üretildiğinin ayrıntılarını nefes kesici bir şekilde ortaya koyacaklardı. Miller zaten onlara yetişemezdi.

Teller'ın gitmesiyle Miller başladığı noktaya dönmüş oldu. Çalışılacak yeni bir konu ararken aklına Urey'in konferansı geldi ve Opa-

rin'in kuramını test etmek için onunla çalışmak istediğini söyledi. Miller'ın önerisi, Dünya'daki ilk atmosferi simüle etmekti. Böylece Oparin'in iddia ettiği şekilde organik molekülleri gerçekten elde edip edemeyeceklerini görebilirlerdi.

Urey'in bazı endişeleri vardı. "İlk önce beni vazgeçirmeye çalıştı," diye anlatacaktı sonradan Miller.[19] Durum çok riskli görünüyordu. Doktora sürecinin bir yıldan fazlasını geride bırakmış olan Miller'ın bir an önce tezini hazırlaması gerekiyordu; oysa kalkıştığı iş, onu sonuç vermeyen belalı deneylere yıllarca bağlayabilirdi. Çoğu kişinin milyarlarca yıl aldığını varsaydığı bir süreç, sırlarını yalnızca on iki ayda nasıl ortaya serebilirdi ki? Ama Miller ısrar etti. Alabileceği sonucun önemi düşünülürse, denemeden edemezdi. Daha güvenli ve sıkıcı bir konuyla uğraşmak hiç ilgisini çekmiyordu. Sonunda Urey pes etti ama bir şartı vardı. Miller'a sadece altı aydan bir yıla kadar süre verdi. Şayet o zamana kadar sonuç alamazsa, yeni bir konu seçip her şeye baştan başlaması gerekeceğini söyledi.

Miller bodrum kattaki "zindan" laboratuvarında, Dünya'daki ilk atmosferi yeniden yaratmaya başladı.[20] Başkalarının çılgınlık olarak gördüğü deneylere kendini adayan biliminsanları için o zamanlar – ve şimdi de– yaygın olan bir uygulama olarak, Urey çalışmaya finansman sağlamak için diğer projelerinden küçük miktarlarda para aktardı. Urey ve Oparin'in gözlerinde canlandırdıkları kadim dünyada devasa kara bulutlar vardı; volkanik patlamalarla beslenen ve parlak yıldırımlarla yarılan bu bulutlar, engin bir okyanusun üzerinde geziniyordu. Miller bu manzarayı, bir "çılgın biliminsanı"nın laboratuvarına yakışacak şekilde, uzun cam borularla birleştirilmiş cam odacıklar kullanarak simüle etti. "Okyanus"unu yani suyla kısmen doldurulmuş büyük yuvarlak bir kabı, "atmosfer"ine yani hidrojen, metan ve amonyak gazlarıyla (H_2, CH_4 ve NH_3) dolu başka bir kaba bağladı. Okyanusun altındaki küçük bir alevin ürettiği su buharı (H_2O) atmosfere yükseliyordu. Atmosferdeki bir yoğuşturucu buharı yeniden "yağmur"a dönüştürdüğünde ise su okyanusa boru aracılığıyla geri dönüyordu. Miller'ın laboratuvarını gezdirmek için Urey'in getirdiği Carl Sagan adlı genç bir lisans öğrencisi, gördüklerinden çok etkilenmiş ve heyecanlanmıştı.[21] Karmaşık organik moleküllerin

bileşenlerinin kendiliğinden bir araya gelmesi fikri hiç olası görünmüyordu ama Miller bunu deneyecekti.

1952 yılının bir sonbahar akşamının geç saatlerinde, Miller nihayet hazırdı. Laboratuvardaki arkadaşlarını uyardı ve onlar da –akıllıca davranarak– hemen dışarı çıktılar. Su buharı oluşturmaya başlamak için, Miller okyanusunun altındaki ateşi hafif açtı. Hemen ardından, güvenlik meselesini çok ciddiye almadığından, kelimenin gerçek anlamıyla elinde patlamayacağını umarak asıl darbeyi hazırladı: Atmosferinde yıldırımı simüle etmek için iki elektrot arasından 60 bin volt elektrik akımı geçirecek ve dalgalanan bir kıvılcım yaratacaktı – bunu Dr. Frankenstein görse hiç yadırgamazdı herhalde. Düzeneğin sorunsuz çalışacağını düşünüyordu; tabii eğer gazları eklemeden önce cam kaplardaki patlayıcı oksijeni tümüyle boşaltmayı başarabilirse ve içeri hiç sızıntı olmazsa. Cam düzeneğe en ufak bir oksijen sızıntısı olduğu takdirde, gazlardan ve havadan oluşan uçucu karışımın bomba gibi patlaması kaçınılmazdı.

Miller kıvılcımı yaratacak düğmeyi çevirdiğinde patlama olmayınca rahatladı. Birkaç saat boyunca cam kapları izledikten sonra geceyi geçirmek için oradan ayrıldı.

Şans ondan yanaydı. İki gün içinde "okyanus"undaki suyun rengi sarıya döndü ve elektrotların yanındaki kabın duvarlarında siyah bir katman oluştu. O kadar heyecanlanmıştı ki deneyin devam etmesini bekleyemedi; suyu analiz etmek için deneyi durdurdu. Vücudumuzdaki en basit amino asit olan glisini (NH_2-CH_2-COOH) elde ettiğini anlayınca şaşkına dönen Miller mutluluktan uçuyordu. Atmosferin en eski durumunu canlandıran simülasyonda, proteinlerimizin yapıtaşı olan bir molekülün bileşenleri kendiliğinden birleşerek o molekülü oluşturmuştu. Söz konusu molekül beynimizde nörotransmitter görevi görür ve kemiklerimizi, cildimizi, kaslarımızı, dokularımızı bir arada tutan kolajen liflerinin üçte birini oluşturur.

Analizin ardından, Miller heyecanla deneyi tekrarladı. Bu sefer, yanardağların daha fazla su buharıyla doldurduğu bir atmosfer simüle etmek için "okyanus"un altındaki ısıyı artırdı. Deneyin bir hafta boyunca devam etmesinde kararlıydı.

Okyanusundaki suyun rengi günden güne pembeye, koyu kırmı-

zıya, sonra da sarımtrak kahverengiye dönüşürken ve bu arada elektrotlardan siyah yağlı bir madde damlarken, Miller zor sabrederek düzeneği merakla izledi. Lisansüstü öğrencisi arkadaşlarından biri olan Gerald Wasserburg ise (yirmi yıl sonra Ay taşlarını tarihleyen kişi olacağını dördüncü bölümde görmüştük) deneyden pek etkilenmemişti. "Sinek pisliğine benziyor," diyerek alttan alta Miller'ın kapları tam olarak temizlemediğini ima etmişti ama sineklerin olayla hiç alakası yoktu.[22]

Miller projesine başladıktan sadece üç buçuk ay sonra analizini tamamladı. "İçi içine sığmıyordu," diye hatırlıyordu kardeşi.[23] Sanki bir garaja bir yığın keresteyle çivi atıp kapıyı kapatmış da, sonradan döndüğünde garajda yeni masa ve sandalyeler bulmuş gibiydi. Çok sayıda organik molekül yaratmıştı. Bunların arasında hücrelerimizin protein oluşturmak için birbirine bağladığı yirmi amino asitten ikisi de bulunuyordu; hatta belki daha fazlası. Çünkü yıllar sonra daha hassas cihazlar kullandığında, en az sekiz tane daha tespit edecekti.[24] Kıvılcımlardan gelen enerjiyle, organik bileşiklerin bileşenleri kendiliğinden birleşmişti. Üstelik oluşan amino asitler, Dünya'da ortaya çıkma sıralaması bakımından Oparin'in ilk oluşanlar olarak tahmin ettiği türdendi.[25]

Urey hayretler içindeydi. Sonuçlarını bir an önce yazması için Miller'ı teşvik etti ve bu hikâye her anlatıldığında vurgulandığı üzere, öğrencisini çalışmanın tek sahibi olarak göstermek gibi bir jest yaptı.* Bu asil davranış, Urey'in cömert doğasının bir yansımasıydı; tabii cömert olmayı göze alabilecek durumda olduğu gerçeğinin de. İsveç ödülünden Urey'de zaten vardı.

Nobel ödüllü biri olarak Urey, *Science* dergisinin editörüne telefon ederek Miller'ın makalesinin basımını hızlandırmalarını istemekte hiç zorlanmadı. Süreç yine de yavaş işledi. Editörün makaleyi incelemesini istediği bir biliminsanı Miller'ın sonuçlarını o kadar olasılık dışı buldu ki, yazılı yorum yapma zahmetine bile girmedi. Yayımlanma sürecinin uzaması nedeniyle Miller'ın endişesi gittikçe ar-

* Öğrencilerin tez çalışmalarında, genellikle danışmanları da çalışmanın diğer sahibi olarak geçer. *–ç.n.*

tıyordu. Başka birilerinin benzer sonuçlar elde edip makale yayımlamasından korktuğundan, makalesini *Science*'tan çekip daha az bilinen bir dergiye gönderdi. Fakat *Science* editörü makalenin çok yakında yayımlanacağı konusunda bizzat güvence verince, yeniden *Science*'a vermeyi kabul etti. O kadar beklenmedik sonuçlar elde etmişti ki, Miller sonradan şöyle diyecekti: "Eğer bunu *Science*'a kendi başıma sunmuş olsaydım, hâlâ makale yığının en altında bekliyor olurdu."[26]

Yirmi üç yaşındaki genç Miller, elde ettiği bulguları aynı yılın ilkbaharında, tıklım tıklım dolu koca bir konferans salonunda, aralarında Nobel ödüllü birkaç kişinin de bulunduğu Şikago Üniversitesi'nin seçkin biliminsanlarına gergin bir şekilde sundu. Dinleyiciler arasında yer alan lisans öğrencilerinden Carl Sagan, salondakilerin ilk tepkisi karşısında şok olmuştu. "Hiç ciddiye almadılar. Temiz çalışmamıştır, deyip duruyorlardı; laboratuvarın içinde sağda solda kalmış amino asitler olabileceğini düşünüyorlardı," diye yazacaktı sonradan.[27] Haberi bir meslektaşından duyan Oparin bile inanmamıştı.[28] Miller'ın sonuçları işte o denli olasılık dışı görünüyordu.

1953 biyoloji için mucizeler yılı olarak anılır çoğunlukla. O yıl, Jonas Salk çocuk felci aşısı geliştirdiğini duyurmuştu; bir beyin cerrahı, anıların oluşumunda beynin kritik bölgesinin hipokampus olduğunu saptamıştı; sperm hücresi başarıyla dondurulmuş ve yeniden çözdürülerek canlandırılmıştı. Miller'ın "Olası İlkel Dünya Koşullarında Amino Asitlerin Oluşumu" başlıklı makalesi de aynı yıl, Watson ile Crick'in DNA'nın yapısını ortaya çıkarmasından sadece birkaç hafta sonra yayımlanmıştı.

Miller'ın makalesi halkın hayal gücünü körükledi ve çok geçmeden biyolojinin en meşhur deneyi haline geldi. Miller'ın bir lise öğrencisinin bile yapabileceğini belirtmeyi sevdiği söz konusu deney, Dünya'daki ilk organik bileşenlerin –moleküler atalarımızın– prebiyotik bir çorbada zahmetsizce oluştuğuna işaret ediyordu.[29] O kadar kolay görünüyordu ki, Urey üniversitedeki meslektaşlarına şöyle demişti: "Tanrı eğer bunu bu şekilde yapmadıysa, iyi bir fırsatı kaçırmış demektir."[30]

O tarihten sadece dört yıl sonra, Oparin Miller'ı Birinci Uluslara-

rası Yaşamın Kökeni Konferansı'nda konuşma yapması için Moskova'ya davet etti. Oparin bir zamanlar şöyle yazmıştı: "Önümüzdeki yol zorlu ve uzun ama bu yolun bizi canlılığın yapısının nihai bilgisine ulaştıracağına kuşku yok. Canlı varlıkların insan eliyle yapılandırılması veya sentezlenmesi, bu yolun çok ilerilerinde olsa da ulaşılmaz bir hedef değil."[31] 1936 yılında bu bir hayalden fazlası gibi görünmüyordu. Fakat artık öyle değildi. Artık bir sürü biliminsanı, yaşamın nasıl başladığına ilişkin sırrı ortaya çıkarabilecekleri gibi sarhoş edici bir umudun havaya yayılmasıyla, laboratuvar tezgâhlarında cam tüplerden ve kaplardan oluşan düzenekler hazırlıyordu. Onlardan biri de, bilimin sadece Dünya'da yaşamın nasıl ortaya çıktığını değil, aynı zamanda evrende nasıl doğduğunu keşfetmenin de eşiğinde olduğuna ikna olan genç Carl Sagan'dı.

Ne yazık ki Miller'ın deneyini takip eden on yılda, beklentileriyle yüksekten uçan biliminsanlarının ayakları yeniden yere basmaya başladı. Yaşamın unsurlarını yaratmanın umduklarından çok daha zor olduğunu anlayarak hayal kırıklığına uğradılar. Tüm canlı organizmalarda protein oluşturmak için kullanılan yirmi amino asidin sadece yarısını elde etmeyi başarabilmişlerdi. Daha da kötüsü, DNA ve RNA'nın temel birimi olan nükleotit adlı molekülleri üretmekte ve birbirlerine bağlamakta büyük zorluk çekiyorlardı. Dünya'nın ilk zamanlarında mevcut olan bileşenlerle bunların nasıl yapılacağını bilen kimse yoktu.

Miller atmosferik gazlardan organik molekül sentezlemeyi denemeye devam etme niyetindeydi ama 1960'larda her şey tepetaklak oldu. Yeni kanıtlara bakılırsa, Dünya'nın ilk atmosferi Miller, Urey ve Oparin'in sandığının aksine hidrojen, metan ve amonyakla dolu *değildi*.[32] O gazların oluştuğu çıkarımını yapmış olmalarının nedeni, evrendeki en yaygın element olan hidrojenin bol miktarda bulunmasıydı. Fakat sonradan araştırmacılar hafif hidrojenin sürüklenmiş olacağının farkına vardı; bu arada diğer gazlar da çarpan asteroitler ve morötesi ışınlar dolayısıyla havaya uçup gidecekti. O halde Dünya'nın ilk atmosferi, volkanik gaz kökenliydi: birincil olarak azot, karbondioksit ve su buharı.[33] Ne yazık ki bu gazlar ısıtıldığında ürettikleri şey dumandı; yaşamın yapıtaşları değil. Miller'ın deneyi ne

kadar ilgi çekici olsa da, çok geçmeden bazı biliminsanları bu deneyin yaşamın gerçek kökenleri hakkında hiçbir şey ortaya çıkarmadığını iddia etti.

"Prebiyotik kimyanın babası" olarak anılan Miller kuramına sıkı sıkıya bağlı kaldı, fakat başkalarının kuramı bir kenara bıraktığını gördükçe bozuluyordu. Bu yeni çalışma alanına girmiş olanların çoğu, ne tarafa ilerleyeceklerini bilemez durumdaydı artık. Yaşamın yapıtaşlarının gezegenimizde nasıl ortaya çıktığını anlamak için başka bir yola ihtiyaçları vardı. Arayışlarını yeniden canlandırmak için yeni fikirlere, yeni bir umuda ihtiyaçları vardı.

O da beklenmedik bir şekilde, alanın dışındaki birinden gelecekti.

Eğer organik moleküller atmosferde yaratılmadıysa, o zaman nerede oluşmuşlardı acaba? 1960'ların ortalarına gelindiğinde, organik molekül aranacak en mantıksız yerin neresi olduğu konusunda çoğu biliminsanı hemfikirdi: uçsuz bucaksız uzay boşluğu. Böyle düşünmelerinin en basit nedeni, orada koşulların çok sert olmasıydı. Uzayda yüksek enerjili morötesi ışınım (UV radyasyon), X ışınları, gama ışınları ve Güneş ile yıldızlardan gelen tahripkâr parçacıklardan oluşan bir sağanak durmaksızın yağar ve kırılgan organik moleküllerin işini çabucak bitiriverir.

Dünya'da hayatta kalabiliyoruz çünkü iki devasa "gölgelik" tarafından korunuyoruz. İlki olan manyetosfer, Dünya'nın demir çekirdeğinin oluşturduğu geniş bir manyetik alandır; gezegenin etrafını sarar ve kozmik ışınlar denen tehlikeli atomaltı parçacıkları uzaklaştırır. İkincisi olan ozon tabakası ise (üç oksijen atomu içeren O_3 moleküllerinden oluşur) atmosferin yükseklerinde bulunur ve zararlı morötesi ışınımı emer. Ayrıca hücrelerimizde bu morötesi ışınlardan gelen kötü darbelerin birçoğunu bertaraf edecek akıllıca mekanizmalar gelişmiştir. Deri hücrelerimizin her birinde yüz binlerce enzim, kromozomlarımızın üzerinde işçi karıncalar gibi kaynaşır ve DNA zincirlerinin kırıldığı yerleri onarır.[34] Cildimizdeki DNA hasarı, melanin üretme zamanının geldiğini söyleyen bir kimyasal mesaj tetikler; çünkü melanin, morötesi ışınlar hasar yaratmadan önce onları

emebilen bir kimyasaldır. Cildiniz yazın bronzlaşıyorsa, bu durum DNA'nızın hasar gördüğünün ve vücudunuzun daha fazla hasarı engellemeye çalıştığının işaretidir (doktorların ve ebeveynlerin güneş kremi kullanma gerekliliğini ısrarla vurgulamasının nedeni budur).

Uzayın bu sert koşulları bilinmesine rağmen, 1950'lere gelindiğinde biliminsanları orada birkaç basit molekül aramıştı bile. Bunun nedeni, iki Hollandalı astrofizikçinin, Jan Oort (Oort Bulutu'na adı verilen kişi) ve çalışma arkadaşı Hendrik van de Hulst'un ilginç bir gerçeği fark etmesiydi. Şöyle ki, her molekül çeşidi kendine özgü bir dalga boyunda radyo dalgaları yayar. Moleküller çarpıştığında, onları oluşturan atomlarda titreşmeler ve dönmeler olur. Çok minik olduklarından ve onları birbirlerine bağlayan kuvvetler çok esnek olduğundan, atomlar saniyede *milyarlarca* kez ileri geri sallanarak minik elektromanyetik dalgalar yayarlar. (Bu inanılmaz ölçüde bir yaylanmadır. Bir milyar sayısının büyüklüğünü anlamak için şunu düşünün: Bir milyon saniye on bir gün ederken, bir milyar saniye otuz iki yıl eder.) Dolayısıyla, büyük bir molekül kümesinin radyo teleskopla algılanabilecek kadar güçlü sinyal yayabileceği şeklinde bir akıl yürütme yapılmıştı. Hakikaten de 1967 yılına gelindiğinde, birkaç basit – sadece iki atomlu– molekülden oluşan bulutlar uzayın derinliklerinde saptanmış durumdaydı. Ama daha büyük moleküllerin o zorlu koşullara asla dayanamayacağını biliminsanları biliyordu.

Fizikçi Charles Townes ise ne bildiğinden o kadar da emin değildi. Bir avukatın oğlu olan Townes on dokuz yaşında üniversiteden mezun olmuş, fizik alanında doktora yapmış ve önce Bell Laboratuvarları'nda sonra da Columbia Üniversitesi'nde çeşitli görevlerde bulunmuştu. Otuz beş yaşındayken ışıl ışıl bir bahar gününün erken saatlerinde, parktaki bir bankta otururken, sonradan ilahi bir deneyime benzeteceği bir "vahiy" aldı. Gaz moleküllerinin yaydığı zayıf dalgaları güçlendirecek bir alet yapmanın nasıl mümkün olabileceğini anlamıştı. Bu onu lazere ilham veren bir cihaz icat etmeye yöneltti, Nobel Ödülü sahibi yaptı ve bir yandan da uzaydaki gaz moleküllerinin yaydığı sinyallerin nasıl saptanabileceği konusunda düşünmeye itti.

Townes 1957 gibi erken bir tarihte, bir radyo teleskopla uzayda birtakım karmaşık yapılı moleküllerin varlığının nasıl saptanabilece-

ğini açıklayan bir makale yayımlamıştı; tabii eğer tuhaf bir nedenden ötürü orada öyle moleküller mevcutsa.[35] Hatta tam frekanslarını da öngörmüştü. Yıllar geçtikçe, neden kimsenin onları araştırma zahmetine girmediğini merak ediyordu.

Birkaç genç araştırmacının bunu istemiş ama vazgeçirilmiş olduğunu Townes bilmiyordu. Mesela Harvard'dan bir lisansüstü öğrencisi, büyük moleküllerden uzayda bozulmadan kalabilenler olsa bile saptanamayacak kadar az olacaklarına Nobel ödüllü bir biliminsanı tarafından ikna edilmişti.[36]

Townes 1965 yılında, elli yaşındayken yeni bir dala geçmeye karar verdi. Zihinsel becerileri körelmesin diye astrofizik okumaya başladı; Harvard'da birkaç derse devam etti (biri de Carl Sagan'ın dersiydi). Sonra da çok kaliteli teleskopları ve güneşli bir iklimi olan Berkeley'ye taşındı. Nobel ödüllü biri olarak araştırma fonu sıkıntısı çekmeyen Townes, orada yeni proje arayışındayken Jack Welch adında genç bir elektrik mühendisiyle tanıştı.

Kariyerinin büyük bir kısmını Berkeley'de geçiren Welch'e nasıl tanıştıklarını sordum. Şöyle yanıtladı: "Townes ilk geldiğinde, 'Radyo astronomide ilginç bir şeyler yapan var mı?' diye sorunca, birisi ona, 'Jack Welch molekül aramaya niyetli. Biliyorum, bir nevi çılgınlık,' demiş. Neyse, o da gelip benimle tanıştı."[37]

Welch o sırada üniversitenin yaklaşık 500 km kuzeydoğusundaki Hat Creek Gözlemevi'nde altı metrelik bir radyo teleskop kurma sürecindeydi. Teleskobu Dünya'nın atmosferini incelemek için kullanmayı planlıyordu ama başka umutları da vardı. Birkaç yıl önce Townes'ın makalesine rastlamıştı. Makale, yıldızların arasındaki boşlukta sürükleniyor olabilecek büyük moleküllerin bir radyo teleskopla nasıl saptanabileceği konusunda ufak bir sunum hazırlaması için Welch'e ilham vermişti. "Astronomlara o kısa sunumu yaptığımda, içlerinden biri sonradan bana şöyle dedi: 'Doğrusu konuşman biraz utanç vericiydi. Uzayda ikiden fazla atomdan oluşan molekül bulmanın imkânı yok ki.' Gerçekten zeki bir adamdı, ama bazen fazla akıllı olmak insana yaramıyor," diye anlatıyor Welch gülerek.

Welch, Townes'a sunumun aldığı tepkiyi anlattığında Townes da gülmüştü. Sonra Welch'e, Columbia'da genç bir profesör olarak araş-

tırma yürüttüğü dönemde, bölümündeki kodamanların baskınına uğradığını ve hem kendi zamanını hem de üniversitenin parasını boşa harcadığı yönünde uyarı aldığını anlatmıştı. "Bir işe yaramayacağını sen de biliyorsun, biz de. Boşa para harcıyorsun. Bırak artık!" demişlerdi ama Townes teslim olmamıştı.[38] "Biraz öfkelenmiş bir halde çıkıp gittiler. Beni durduramadılar." Townes, Nobel Ödülü'nü o araştırma sayesinde kazanmıştı. "Ne yaptıklarını bildiklerini sanan insanları dinleme," demişti Welch'e. Townes'ın alışılmadık felsefesinde, birinci sınıf fizikçilerden ve mühendislerden oluşan ekiplerle çalıştığı proje deneyimlerinin de payı vardı. Uzmanların, sahip oldukları bilgi yüzünden nasıl kör olabildiklerini görmüştü. Bildikleri konuda iyi bir kavrayışları olmasına karşın, bazen bilmedikleri ne çok şey olduğunu gözden kaçırıyorlardı. Bazı mühendislik sonuçları olasılık dışı görülüyordu çünkü uzmanlar neyin mümkün olduğunu zaten bildiklerinden fazlasıyla emindi.

Berkeley'de Townes hemen Welch'e, "Molekülleri aramakla ilgileniyor musun?" diye sordu ve Welch'in teleskobuna spektrometre kurmak için gereken parayı ödemeyi teklif etti. "Berkeley astronomlarının çoğunun fikrimi biraz çılgınca bulduğunu hissediyordum," diye anlatacaktı Townes daha sonra, durumu yumuşatarak.[39]

Spekülatif projeleri için bir doktora öğrencisi ve bir doktora sonrası araştırmacı işe alan Townes, dört atomlu amonyak molekülünü (NH_3) aramaya karar verdi. Bu molekül, organik moleküllerin öncüllerinden biriydi. Şayet amonyak binlerce ışık yılı öteden var olduğunu ilan ediyorsa, Townes'ın hesapladığı kesin bir radyo frekansında titreşiyor olmalıydı; işte bu frekansı yükseltecek bir cihaz inşa etmeye koyuldular.

1968'in bir sonbahar gecesinde, Hat Creek'te teleskoplarını gökyüzüne doğrultmaya sonunda hazırdılar. "Soru şuydu: Nereye bakacağız? Kimsenin hiçbir fikri yoktu," diye anlatıyor Welch. Böylece teleskobun galaksimizin merkezine yönlendirilmesine karar verilmişti.

Hiçbir sinyal yoktu. Ama oraya bakmaya devam ettiler. Birkaç gün sonra, teleskobu biraz ötedeki bir toz bulutu olan Sagittarius B2'ye yönlendirdiler. İşte oradaydı: uzayda yüzen büyük miktarda

amonyak. Muhtemelen buluttaki hidrojen ile azotun çarpışmasıyla oluşmuştu.

Keşfetmek niçin bu kadar kolay olmuştu? Ve neden bir sürü seçkin biliminsanı böylesine çarpıcı biçimde yanılmıştı? Çünkü molekül bulutlarının bu kadar büyük olabileceği uzmanların aklına gelmemişti; bulutlar öylesine genişti ki iç kısımlarındaki moleküller yıkıcı morötesi ışınlardan korunuyordu. Birkaç başıboş molekülün uzayda sağlam kalması zordu ama milyonlarca kilometre genişliğindeki bir bulutun içindeki toz taneciklerinin üzerinde bulunan muazzam sayıda molekülün bozulmadan kalması zor değildi. Biliminsanları ne kadar az şey bildiğimizi fark edememişti. "Bir Uzman Olarak, Hâlâ Bilinmeyen Ne Kadar Çok Şey Olduğunu Gözden Kaçırıyorum" önyargısının kurbanı olmuşlardı.

Ertesi yıl Townes'ın ekibi su aramak için frekans yükselticinin ayarını değiştirdi. Bu sefer Hat Creek'e gitmelerine bile gerek yoktu. Sadece teleskop operatörünü arayıp, suyun izini nasıl süreceğini söylediler. "Birdenbire karşımıza çıktı," diye anlatıyor Welch. Operatör aramaya başlar başlamaz su bulmuştu.

"O arada bütün radyo astronomi camiası gaza gelmişti," diyor Welch. Dünyanın her yanında teleskoplarına koşan astronomlar, çok geçmeden iki yüzden fazla organik molekül keşfetti.

Bu moleküllerin çoğu fazlasıyla tanıdıktı. Mesela oje çıkarıcı olarak kullanılan aseton (C_3H_6O) buldular; insan vücudu da yağ parçalarken bu molekülü üretir. Gazlı ocaklarda ve ısınma amaçlı kullanılan metan (CH_4), sirkenin başlıca bileşeni olan asetik asit ($C_2H_4O_2$), ısırganotuna dokununca veya karınca ısırınca derideki acı reseptörlerini uyaran formik asit (CH_2O_2) molekülleri de keşfedilenler arasındaydı. Suyla karşılaştığı zaman midenin yiyecekleri sindirmede kullandığı hidroklorik asit oluşturan hidrojen klorür (HCl) molekülü, uzayda bulunan bir diğer moleküldü. Ayrıca formaldehit (CH_2O) bulutları da uzayda geziniyordu. Formaldehit genellikle laboratuvarda cansız beden saklamak için kullanılır ama vücudumuz da günde yaklaşık 40 gram formaldehit üretir; üretilen formaldehit parçalanarak DNA'yı ve bazı amino asitleri oluşturmada kullanılan format adlı kimyasal üretilir. Özellikle gebe kadınların vücudunda DNA'nın ya-

pıtaşlarını oluşturmada kullanılan formaldehitin üretimi için folik aside (B9 vitamininin bir çeşidi) gerek vardır. (Fakat diğer formaldehit kaynaklarına maruz kalmak DNA'ya zarar verebilir, dolayısıyla bu bileşik iki ucu keskin bir kılıçtır.)

Uzaydaki tüm organik moleküller arasında en kötü şöhrete sahip olanı hidrojen siyanürdür (HCN). Doğada bitkiler bu molekülü kiraz ve şeftali gibi meyvelerin çekirdeğinde üretir (yaklaşık on şeftali çekirdeği, işinizi bitirmeye yetecek miktarda HCN içerir). Sarı benekli kırkayak, HCN salgılayarak yırtıcı hayvanlara yem olmaktan kurtulur. Nitekim 1880'lerde çiftçiler böcek ilacı olarak hidrojen siyanür kullanmaya başlamıştı. Hidrojen siyanür solunduğunda, oksijen taşıyan bir enzime engel olur. Kanın rengi kırmızıdan mora döner ve kişi oksijensizlikten ölür. İkinci Dünya Savaşı sırasında Naziler, Zyklon B adı verilen bir hidrojen siyanür çeşidi kullanarak bir milyondan fazla insanı gaz odalarında öldürmüştü. Oysa HCN, yaşam dostu elementler olan hidrojen, karbon ve azottan oluşur. Hidrojen siyanür, hidrojen sülfür (uzayda bulunan moleküllerin bir diğeri) ile bir araya geldiğinde bazı amino asitler, yağ öncülleri ve RNA'nın yapıtaşlarından biri oluşabilir.[40] Doğru koşullar altında, hidrojen siyanür aynı zamanda DNA'nın yapıtaşlarından biri olan adenin de üretir.

Yaşamın kökenini açıklamak için çırpındıkça dibe battıkları bir bataklıkta olan biliminsanları için, uzayın zengin bir organik molekül deposu olma olasılığı, yeni umutlar doğuran bariz bir soruyu gündeme getirdi. Eğer yaşamın ilk molekülleri, Stanley Miller'ın kanıtlamaya çalıştığı gibi atmosferde ve okyanusta oluşmuş değilse, acaba uzaydan gelmiş olabilir miydi?

Townes'ın ekibinin uzayda amonyak keşfetmesinden sadece birkaç ay sonra, 28 Eylül 1969 sabahı saat 10:45'te, sanki bu soruyu yanıtlamak istercesine, Avustralya'nın Murchison köyünün üzerinden gökyüzü boyunca parlak turuncu bir ateş topu geçti. "Patlama sesine benzer sesler duyduk," diye anlatıyordu bir kadın.[41] Bazıları da "ıslak yoldaki kamyon lastiği sesi" gibi bir tıslama duyduklarını hatırlıyordu.

Ağırlığı 110 kg'dan fazla olan bir uzay kayası başlarının üzerinde patlamış ve göktaşı parçaları 13 km² genişliğinde bir alana saçılmıştı.

Yumruk büyüklüğündeki bir parça, metal çatılı bir barakayı delip geçerek bir saman yığınının üzerine düşmüştü.[42] Bir temizleme solventi olan mavi ispirto gibi kokuyordu.[43] Köylüler saçılan yüzlerce parçayı toplamak için tarlalara akın etti. Taş parçalarını altının üçte biri fiyatına –30 gramı 10 dolardan– taş dükkânlarına sattılar. Bazı parçalar müzelere ve üniversitelere gitti. Birkaç tanesi de Kaliforniya'nın NASA Ames Araştırma Merkezi'ndeki jeokimyacı Keith Kvenvolden'ın eline geçti.

"Onları aldığımız için çok heyecanlıydık," diye anlatıyor Kvenvolden. Bunun nedeni, yüz yılı aşkın süredir birçok biliminsanının meteorlarda organik moleküller bulmuş olduklarını iddia ediyor olmasıydı. Fakat bu çok kuşkulu bir konuydu, çünkü meteorları dünyadan bulaşmış olabilecek her şeyden arındırmak, herkesin bildiği üzere zor bir işti. Şöyle hatırlıyor Kvenvolden: "Bir araştırmacı, bazı örneklerde bulunan amino asitlerin dağılımının, parmak izlerinde bulunanlara çok benzediğini belirtti. Sonuç olarak, Dünya dışı yaşam olduğunu düşündüğümüz şeyin aslında insan parmaklarının dokunuşundan ibaret olduğu anlaşıldı." 1960'ların başlarında, biliminsanları meteorların içinde canlılar olduğuna ilişkin kanıtlar üzerinde bile tartışıyordu. Bir mikrobiyolog gerçekten de bir uzay kayasından canlı bakteri yetiştirdi; bakterilerin uzaylı kökenli olduğunu düşünüyordu. Ancak dünyadan bulaşmış olma (kontaminasyon) olasılığını göz ardı edemeyeceğini de kabul ediyordu.[44] Göktaşlarında uzaylı yaşamına ait minik "mikrofosil"ler keşfeden araştırmacılar da oldu; bunların bazılarının New York şehrinde yetişen bir tür yakupotu olduğu ortaya çıktı.[45]

1969'da Murchison göktaşının parçaları NASA'nın Ames Araştırma Merkezi'ne ulaştığında, Kvenvolden Ay'dan yeni getirilen ilk kaya parçalarında organik bileşikler aramakla meşguldü. Sonuç hayal kırıklığı oldu. Ay taşlarında, çok küçük metan gazı izleri dışında organik maddeye ilişkin hiçbir iz yoktu. Bununla birlikte, yeni laboratuvarlar Ay örneklerine bir şey bulaşmasını önlemek üzere dikkatle tasarlandığından, Kvenvolden ile meslektaşlarının artık göktaşlarını analiz etmek için kusursuz temizlikte ve son derece gelişmiş bir teknolojiye sahip bir tesisleri vardı. Üstelik onlara el değmemiş parçalar

verilmişti; yıllardır müze raflarını çökerten küflü kayalar değil. Dolayısıyla yeni bir şey bulacakları konusunda büyük umutları vardı.

Beyaz steril önlükler giyerek, çatlakları en az olan en büyük parçaları seçtiler. Patlamadan çıkan ısı nedeniyle kayalar pürüzsüz ve simsiyahtı. İç kısımlarının da karbonun göstergesi olacak şekilde siyah olması cesaret vericiydi.

Grubun kimyasal analizi, göktaşının yaklaşık yüzde 2,5 kadarının organik olduğunu ortaya çıkardı. İçinde canlı organizmalar bulunduğunu veya molekülleri canlıların ürettiğini gösteren hiçbir şey yoktu. Ama ilginç bir şekilde, geniş bir yelpazedeki moleküllerin arasında amino asitler de vardı. Bunların birçoğu Dünya'da bulunmuyordu; bu da örneklere bir şey bulaştırmadıklarının güven verici bir işaretiydi. "Her biliminsanının hayalini kurduğu şeylerden biriydi. Muhtemelen hayatımın en heyecanlı dönemiydi. Bir keşif yapıyorsunuz ve sonuçtan haberi olanın sadece kendiniz ve ekibiniz olduğunu fark ediyorsunuz. Bu eşsiz bir deneyim," diye anlatıyor Kvenvolden. Bir o kadar şaşırtıcı olan da vücudumuzun protein ve enzim oluşturmak için kullandığı yirmi amino asitten yedisini tespit etmeleriydi; sonradan iki tane daha buldular.[46]

Göktaşlarıyla bu kadar çok ortak noktamız olduğu kimin aklına gelirdi? Uzaklarda, uzayın derinliklerinde vızır vızır dolaşan o kayalarda, bizim için yaşamsal önemde olan bir sürü molekül varmış meğer. Aralarında beynimizin serotonin düzeyini düzenlemeye ve kaslarımıza glikoz sağlamaya yarayan amino asit valin; testosteron ve başka hormonların yapımında rol oynayan uyarıcı bir transmitter olan aspartik asit; sinapslarımızın yüzde 80'inden fazlasında bulunan, beynimizdeki en yaygın uyarıcı nörotransmitter olan glutamik asit yer alıyor. Glutamik asit, öğrenmemize ve anılar oluşturmamıza yardımcı olur. Tuzlu, tatlı, ekşi ve acıdan sonra beşinci tat olan umami için de glutamik aside teşekkür borçluyuz. Soya sosu ve peynir gibi gıdaların tadı umamidir, tartışmalı ama lezzetli katkı maddesi monosodyum glutamatın da (MSG) tabii. Kahvaltıda ekmeğinin üzerine biraz göktaşı isteyen var mı?

İlginç bir şekilde, Kvenvolden'ın saptadığı amino asitlerin çoğu, Stanley Miller'ın laboratuvar deneylerinde ürettiği amino asitlerin

aynısıydı.[47] Dolayısıyla Miller, Urey ve Oparin'in bir zamanlar kadim Dünya'da meydana geldiğini düşündükleri tepkimeler uzayda kesinlikle gerçekleşiyordu; büyük ihtimalle buz içeren kayalar, çarpışmalar veya radyoaktif bozunma nedeniyle ısındığında. O zamandan bu yana, Murchison göktaşının parçalarını inceleyen başka kişiler, Miller ve diğerlerinin laboratuvar deneylerinde elde edemedikleri iki nükleotit (DNA yapıtaşı) buldular. Daha hassas cihazlar, on binlerce başka türde organik molekül saptadı. Biliminsanları, göktaşının daha başka milyonlarcasının silik izlerini içerebileceğini tahmin ediyor. Esas olarak kaya, metal veya her ikisinden oluşan çoğu göktaşı organik madde içermez ama Murchison, organik madde açısından zengin olabilen belirli bir türe aitti: karbonlu kondrit.

Uzay kayalarının organik bileşikler içerdiği netleşince, araştırmacılar buzlu kuyrukluyıldızlarda da organik madde aramaya başladı. Gönderdikleri uydular sayesinde, kuyrukluyıldızların daha da yüksek yoğunlukta, belki kütlelerinin yüzde 20'si oranında organik molekül barındırdığı ortaya çıktı.

Bu heyecan verici bir haberdi. Araştırmacılar –Kelvin, Helmholtz ve Hoyle yanılıyor olsa ve yaşam uzaydan gelmemişse bile– ilk organik moleküllerin, tıpkı su gibi, çok uzaklardan gelmiş olma ihtimalini değerlendirmeye başladı.

Bu mümkün görünüyordu, hatta birçokları için muhtemeldi; tabii eğer can sıkıcı bir sorun çözülebilirse. Astronomların yıldızların arasındaki boşlukta sürüklendiğini görmekten büyük mutluluk duyduğu organik molekül bulutları trilyonlarca kilometre uzaktaydı; yani buraya yolculuk edemeyecek kadar uzak mesafedeydiler. Az miktarda organik madde, kenarda köşede Murchison göktaşı gibi küçük kayaların içinde sağlam kalmış olabilirdi. Ama saçılan o kadarcık maddenin yaşam yaratmaya yetmesi çok güçtü. Saatte 60 bin kilometre hızla giden devasa kuyrukluyıldızlar veya asteroitler üzerindeki kırılgan organik maddenin ise –bol miktarda olsa bile– dünyaya çarpma sırasında erimiş sıcak magma ve aşırı ısınmış gaz nedeniyle sağlam kalması zordu. Dolayısıyla ortada rahatsız edici bir soru vardı: Uzaydan gelen yeterli sayıdaki organik molekül, Dünya'ya yaptıkları yolculukta nasıl sağlam kalmış olabilirdi?

1992'de astrofizikçiler Chris Chyba ve Carl Sagan, şapkadan bir tavşan çıkararak potansiyel bir yanıt ortaya attılar. Göktaşları ve kuyrukluyıldızlar, Dünya'nın her yerine sürekli yağan ufacık, göremeyeceğimiz kadar küçük toz taneciklerini etrafa saçar. Biliminsanları yağan bu uzay tozunu, emekliye ayrılmış U-2 casus uçaklarının kanat altına monte edilen özel tasarlanmış tepsilerle havada 2000 metre yükseklikten topladı. Gezegenlerarası toz tanecikleri denen bu görünmez zerreler o kadar küçüktür ki, Dünya'nın atmosferine hızla dalmak yerine paraşütleri varmış gibi yavaşça ve yanmaksızın inerler. Beraberlerinde de küçük organik maddeler getirirler. Dünya'ya her yıl 40 bin ton civarında kozmik toz yağar.[48] Birkaç yüz milyon yıllık bir süreçte, bu çok büyük bir toplam eder. Chyba ve Sagan'ın tahminlerine göre, genç Dünya'ya düşen gezegenlerarası toz miktarı, bugün tüm canlılarda bulunan bütün organik maddelerin kütlesinin on ila bin katı kadar olabilir.[49]

Uzaydan gelen organik maddelerin buraya nasıl varabileceği konusunda farklı bir fikir ortaya atanlar da oldu. "Bardağın yarısı boş, yarısı dolu" türünden bir hipotez bu. Şiddetli bir çarpışma sonucunda, büyük bir asteroit veya kuyrukluyıldızda bulunan herhangi bir organik madde muhtemelen parçalanır ama oluşan molekül parçaları kavurucu sıcakta yeni moleküller oluşturmak üzere tekrar birleşebilir.[50] Yani kozmik cisimler, organik molekülleri bir elle verirken diğer elle kısmen almış olur. Bazı laboratuvar deneyleri bu organik alma-verme hipotezini destekliyor gibi görünüyor. Yani gezegenlerarası toz yoluyla olmasa bile, büyük çarpışmalar sayesinde gezegenimize yaşam molekülleri ekilmiş olabilir.

Peki sorun çözülmüş oldu mu? Yaşamın ilk kez gökten düşen organik moleküllerden oluşmasının mümkün ve hatta muhtemel olup olmadığını tartışan bazı biliminsanlarının nasıl da heyecanlandığını fark edebilirsiniz. Çünkü eğer durum öyleyse, diğer gezegenlere de organik tohumlar serpilmiş ve başka yerlerde yaşamın var olma olasılığı artmış demektir. Fakat bu coşku, bertaraf edilemeyen bir sorunu örtüyor. Canlılığın potansiyel yapıtaşları buraya sağlam bir şekilde

ulaşmış olsa bile, ulaşanların yaşamı gerçekten de başlatan yapıtaşlarının ta kendileri olduğu kanıtlanamaz. Organik kimyasal atalarımızın buraya zorunlu iniş yaptığı ve canlılığı başlattığı iddiası, umut verici fakat kanıtlanmamış bir varsayım olmaya devam ediyor.

Öyleyse tüm bunlardan sonra nereye varmış olduk? Kesin olarak söyleyebileceğimiz şey şu: Organik moleküller her yerde bolca bulunuyor; evren organik molekül kaynıyor. Kimi araştırmacılar sıkıştırıldıklarında, yaşamın ilk yapıtaşlarının yani en uzak organik atalarımızın birden fazla kaynaktan gelmiş olabileceğini söylüyor. Bazılarının asteroitler, kuyrukluyıldızlar ve uzay tozuyla gelmiş olması mümkün. Bazıları ise göreceğimiz gibi tam burada, Dünya'da üretilmiş ev yapımı ürünler olabilir. Nitekim volkanik dumanlarda veya sıcak gayzerlerde, derin deniz bacalarında, yeni okyanus tabanının oluştuğu kıtasal levhalar arası çatlaklarda, hatta binlerce yıl boyu sıcak bir kuluçka merkezi olabilecek asteroit kraterlerinde bile organik molekül oluşmuş olabileceğini öne süren araştırmacılar oldu. İçimizdeki organik moleküllerin birçoğunun oluşumu o kadar da zor değil.

Araştırmacılar şu noktada hemfikir: Organik moleküllerin doğru bir karışımı suda bolca bulunduğu anda, bu moleküller yeni tip moleküllerle karşılaştı ve aralarındaki çekim kuvvetleri nedeniyle, atomlarının düzenlenişinde değişiklikler oldu; böylece hızla yeni moleküller oluştu. Sonra da canlılığa benzemeye başlayan yapılar belirdi.

Görünüşte mucizevi olan bu olayın nasıl meydana geldiği, evrendeki en büyük sırlardan biri. Kafaları uzun süredir kurcalayan bu soru, bilim dünyasında hararetli tartışmaları ve sert münakaşaları tetikliyor.

7

En Büyük Gizem

İlk Hücrelerin Muammalı Kökeni

Yaşam kozmik bir kaçınılmazlıktır.[1]
Christian de Duve

EĞER BİR AİLE YEMEĞİ düzenleyecek ve en uzak akrabalarınızı bile davet edecek olsaydınız, tür ayrımcılığı yapmayacağınızı varsayarsak yaklaşık bir kentilyon kişilik bir masa hazırlamanız gerekirdi; misafirlerinizin çoğu ise bakteriler olurdu. Bu bakış açısı için Darwin'e teşekkür edebiliriz; tüm canlılığın kocaman tek bir soy ağacı olduğunu onun sayesinde kavradık. Dünya üzerinde var olmuş her organizma, bir başka organizmanın soyundan gelmiştir. İncecik DNA zincirleri boyunca iz sürerek, çok eski soylara kadar bu sürekliliği takip edebiliriz. Moleküllerinizin sizi oluşturuncaya kadar izlediği yolları açanlar, daha önceki canlıların öncülük eden nesilleriydi. Peki acaba ilk hücrenin kökeni neydi? Hepimizin en eski büyükannesi olan ve yaşamın baş döndürücü karmaşıklığını doğuran o ilk hücre nereden çıkmıştı? Dünyadaki moleküller, canlılığın en temel birimini yaratma işini nasıl kotardı? Kendi varlığını sürdürebilen ve kendini kopyalayabilen bir hücre nasıl oluştu? Bu konu, görüşlerin en fazla çeşitlilik sergilediği ve tartışmaların en çekişmeli olduğu bilimsel araştırma alanlarından biri.

Önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, yaşamın kökenine yönelik araştırmalar 1953 yılında Stanley Miller'ın basit gazlar ve kıvılcımlarla bazı amino asitleri kolayca elde edebileceğini keşfetmesiyle çarpıcı bir ivme kazandı. Ne yazık ki başarıya ulaşmasındaki kolaylığın yanıltıcı olduğu ortaya çıktı. Miller'ın teknikleri, canlılarda bulunan

amino asitlerin hepsini üretemedi. Yine gördüğümüz gibi, Dünya'nın erken dönemlerindeki atmosfer de Miller'ın tarifinin gerektirdiği tüm malzemeleri içermiyordu; DNA'nın temel birimlerini –kırılgan nükleotitleri– oluşturmak ise daha da zor görünüyordu.

Aslına bakılırsa, James Watson ve Francis Crick'in DNA'nın yapısını keşfetmesinden on yıl sonra, bazı araştırmacılar yaşamın kökenini açıklamak için gereken kimyanın karmaşıklığı karşısında o kadar bunalmıştı ki pes ettiler. Hangi moleküllerle başlanacağı ya da bunların nasıl birleşmiş olabileceği belli değildi bir kere. Bir olay yerinin olaydan binlerce yıl sonraki durumu gibi, kanıtların çoğu silinip gitmişti. Dolayısıyla olay hiç de çözülebileceğe benzemiyordu.

İşte o moral bozucu günlerde, İngiltere'de çalışan araştırmacı Alec Bangham yapbozun ufak bir parçasını buldu. İri yapılı ve geniş yüzlü Bangham'ın dağınık kahverengi saçları ve bulaşıcı bir bilimsel coşku vardı. Çocukken okulda pek iyi notlar almıyordu. Öğretmenleri karnesine sıklıkla "daha iyisini yapabilir" notu düşüyordu. Tıp fakültesine kabul almadan önce yeterlilik sınavlarında iki kez başarısız olmuştu.[2] Birkaç yıl patalog olarak çalıştıktan sonra, taşkın merakı onu bu işten caymaya zorlamış[3] ve Cambridge yakınlarındaki Hayvan Fizyolojisi Enstitüsü'nde araştırma yapmaya yönelmişti. Kan uzmanı olarak eğitim gören Bangham, diğer hücrelerden farklı olarak alyuvarların neden birbirlerine yapışmadığı gibi bulmacalar üzerinde düşünmeye başlamıştı orada. Nasıl bağımsız kalıyorlardı? Bu soru onu hücre zarlarının özelliklerini araştırmaya yöneltmişti.

1961'de enstitü, yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan elektron mikroskoplarından bir adet satın aldı; Bangham da onu bir test sürüşüne çıkardı. İnceleyecek bir şey bulmak için ofisinde etrafına bakınırken, bir lipitte –hücre zarlarında bulunan lesitin adlı bir yağda– karar kıldı. Suya lesitin eklerseniz çok ilginç bir özelliği olduğunu görürsünüz: Lav lambalarındaki büyüleyici kabarcıklar gibi kürecikler oluşturur. Bangham yeni güçlü mikroskobuyla bu kürecikleri incelemeye karar verdi. Işıklarını söndürdüğü laboratuvarında yeşil yeşil parlayan görüntüleyiciye baktığında, küreciklerin ince duvarlı minik mikrokürelerden oluştuğunu görerek hayrete düştü. Bunlar hücre zarlarına çok benziyordu.

Bangham çok heyecanlanmıştı. Hücre zarının nasıl evrildiği, ilk hücrelerin kendi etraflarında yumuşak küreler oluşturmayı nasıl öğrendiği konusunda kimsenin hiçbir fikri yoktu. Şimdiyse bu apaçık ortadaydı. Zarlar kendi kendilerine oluşuyordu; çünkü bir lipitin uçlarından biri su tarafından çekilirken, diğer ucu itiliyordu. O nedenle lipitler suya koyulduğunda, su sevmeyen uçları derhal çubuk mıknatısların yaptığı gibi bir dönme hareketiyle savunma pozisyonunda birbirlerine dönüyordu; su seven uçları ise dışarı dönmüş oluyordu. Su sevmeyen uçlar, öteki uç çiftlerinin yanında hizalanarak kendilerini daha da fazla korumaya alıyordu. Bu çekme ve itmeler sayesinde ânında yoğun diziler oluşuyordu; her birinin su sevmeyen ucu ortada saklanan, iki molekül kalınlığında lipit küresi dizileriydi bunlar. Bangham hücrelerimizi çevreleyen zarların buna benzediğini fark etti. Hücre zarları, duvarları iki molekül kalınlıkta olan yağ küreleriydi; su seven ve su sevmeyen uçlarını memnun edecek biçimde sırt sırta diziliyorlardı.

"Önce zar oluştu," diye açıklamayı seviyordu Bangham.[4] Zar oluşumu o kadar kolaydı ki, bir hücrenin evrilen ilk parçası olmalıydı. Bangham tek hamlede, yaşamın kökenini gözümüzde canlandırmamızı kolaylaştırmış oldu. Doğru malzemeler mevcut olduğunda, bazı yapıların kendiliğinden çabucak oluşabileceği açıktı.

Fakat ilk hücrenin zarının oluşumu gayet basit görünse de, hücrenin içindeki her şeyin yapımı için aynısı söylenemezdi. Organik moleküllerden oluşan bir hücre enerji üretmek, yapılar inşa etmek ve çoğalmak için sürekli olarak içine yeni malzeme alır. Tüm bu işlerin yapılmasına ilişkin talimatları taşıyan molekül ise DNA'dır. (James Watson, Francis Crick ve Rosalind Franklin'in DNA'nın yapısını nasıl keşfettiğini sonraki sayfalarda göreceğiz.) DNA hücreye hangi proteinlerin üretileceğini söyler; proteinler de hücredeki diğer tüm işi yapar.

O noktada, kafa karıştırıcı bir tavuk-yumurta sorusu biliminsanlarını ilerlemekten alıkoydu. Hangisi önce gelmişti: DNA mı yoksa proteinler mi? Problem şuydu: Yaşam için çok önemli olan kopyalamaya dair talimatları taşıdığından, DNA'nın diğer her şeyden önce evrimleşmiş olması gerekirdi. Ama DNA'nın kendisi proteinlerden oluşuyordu ve bu da bir kısırdöngü yaratıyordu. DNA protein üretim

talimatlarını içerir; proteinler ise DNA'yı oluşturur. Biri olmadan diğeri elde edilemez. O zaman nasıl oldu da ortaya çıktılar? Böyle düşününce, insan canlılığın nasıl mümkün olabildiğine şaşırıyor.

1960'ların ortasında biyolojinin ağır toplarından üçü imdada yetişti. Carl Woese, Leslie Orgel ve Francis Crick birbirlerinden bağımsız olarak aynı çözüme ulaştılar. İlk hücrenin DNA merkezli değil, onun küçük kardeşi RNA merkezli oluştuğunu ileri sürdüler; kritik önemdeki kendini eşleme (replikasyon) yetisine RNA da sahipti.

O zamana kadar RNA daha az önemli sayılmıştı; ikinci plandaydı çünkü DNA çok daha uzundu ve çok daha fazla bilgi içeriyordu. RNA ise sadece aracı rolünde gibi görünüyordu. DNA tüm kalıtsal bilgimizi üç milyar nükleotitten oluşan inanılmaz uzun bir dizi biçiminde içerir. Buna karşılık, bir RNA molekülü sadece bir genin kopyasıdır; DNA'nın çok ufak bir kısmının, yalnızca bin nükleotit civarı uzunluktaki bir bölümünün kopyasından ibarettir. Dahası, bir RNA molekülü çekirdekte üretildikten sonra kimyasal bir fabrikaya gider ve orada taşıdığı kod okunarak, protein oluşturmak üzere amino asit zinciri üretilir. Ama hücre bu sıkıcı ve sadık RNA moleküllerini saklama zahmetine bile girmez. Kodladıkları proteine ihtiyaç kalmayan RNA'lar yok edilir. Bir biliminsanı, RNA'ların ömrünün "Yunan tragedyası" gibi geçtiğini söylemişti çünkü daha doğdukları anda ölüm fermanları çıkarılıyordu.[5]

Woese, Orgel ve Crick ise artık RNA'ya yeni bir saygıyla bakmaya başlamıştı. DNA merkezde birleşen iki sarmaldan oluşan uzun bir ikili sarmal iken, RNA yalnızca tek bir sarmaldır. Dolayısıyla RNA'nın oluşması çok daha kolaydı. Ayrıca biliminsanlarının dikkatini bir şey daha çekmişti: Kısa süre önce RNA'nın, origami sanatındaki gibi katlanarak kendisini farklı biçimlere sokabildiği keşfedilmişti; tıpkı molekülleri birleştiren ve kimyasal tepkimeleri hızlandıran kritik önemdeki proteinlerin yani enzimlerin yapabildiği gibi. Enzimler hücrelerimizdeki tepkimelerin inanılmaz derecede yüksek hızlarda gerçekleşmesini sağlar; milyon ila milyar yılda bir olabilecek tepkimeleri, saniyede yüz kez mertebesine çekerler.[6] Onlar olmadan var olmamız pek mümkün olmazdı. Böylece bu üç biliminsanı, ilk hücrelerin ortaya çıktığı o eski günlerde, RNA dediğimiz bu minik yar-

dımcılarımızın aslında çifte güç sahibi süper kahramanlar olduğu tahmininde bulunarak, çözülemeyecek gibi duran bu problem için bir açıklama sunmuş oldu. Onlara göre, şu anda DNA'nın yaptığı replikasyon talimatnamesi taşıma işini de, enzimlerin yaptığı tepkime hızlandırma işini de o zamanlar RNA yapıyordu. Beş parmağında beş marifet vardı.

Yaşamın kökeni konusunda kafa yoranların çoğu rahat bir nefes aldı. Sonunda tavuklar ve yumurtalar hakkında konuşmayı bırakabildiler. Yeni bakış açısı, yaşamın nasıl evrildiğine ilişkin her türlü senaryoyu büyük ölçüde basitleştiriyordu. İlk hücrenin ne DNA'ya ne de proteinlere ihtiyacı vardı. Oluşumunun merkezinde RNA vardı. Çift sarmallı DNA (RNA'dan bir milyon kat daha stabildir) ve enzimler (RNA'dan çok daha verimlidirler) ancak çok sonraları ortaya çıkmıştı. Canlılığın ilk günlerinde RNA tek kullanımlık bir yardımcı değildi. Yaşamı ateşleyen moleküldü; hepimizin büyük-büyükannesiydi.

Fakat bir kez daha, tüm bu heyecan çok geçmeden sönecekti. Sonuçta hiç kimse RNA'nın kimyasal tepkimeleri başlatıp hızlandırarak bir enzim gibi davrandığını görmemişti. Çünkü proteinlerden oluşan daha verimli enzimler ortaya çıktığında RNA muhtemelen bu rolü kaybetmişti; bu da RNA'nın geçmişte kalmış süper güçleri hakkındaki her türlü tahminin spekülasyon olmaktan öteye geçmesini engelliyordu.

On yıl kadar sonra, 70'lerin sonlarında, o sırada Colorado Üniversitesi'nde doçent olan otuz bir yaşındaki Thomas Cech yaşamın kökeni problemine pek ilgi duyuyor sayılmazdı. O heyecan verici günlerde araştırmacılar, yeni yeni olgunlaşmakta olan genetik mühendisliği alanı aracılığıyla, genetik koddan protein üreten karmaşık mekanizmaları ortaya çıkarıyordu. Cech üniversitede kadroya yeni katılmıştı ve Rocky Dağları'ndaki karla kaplı parkurlarda kayak yapmadığı zamanlarda, RNA moleküllerinin DNA iplikçiklerinden nasıl kopyalandığının ayrıntılarını anlamaya çalışıyordu. Kolaylık olsun diye, su birikintilerinde yaşayan tekhücreli protozoa *Tetrahymena thermophila*'nın (yedi ayrı cinsiyeti ve insanlar kadar geni olan ilginç bir canlıdır) genleri üzerinde çalışıyordu. Bu tekhücreli canlıların hızlı ürüyor olması işleri kolaylaştırıyordu; belirli RNA çeşitlerini el-

de etmek Cech için zor olmuyordu çünkü *T. thermophila* bir sürü RNA üretiyordu.[7]

Cech, bir *T. thermophila*'nın belirli bir RNA dizisini üretmesi için hücrenin öncelikle RNA molekülünün ortasındaki gereksiz, kısa bir nükleotit dizisini kesip çıkarması gerektiğini keşfetmişti. Hücrenin bunu nasıl yaptığını öğrenmeye karar verdi ve fazlalık olan dizilimi çıkaran enzimi aramaya başladı; bunun yaşamın kökeni arayışında çığır açıcı bir gelişmeye yol açacağından tamamen habersizdi. Sinir bozucu bir şekilde, orijinal RNA zincirinin tamamını yalıtmaya çalıştığı her seferde, ortadaki fazladan parça çoktan çıkarılmış oluyordu. Cech gereksiz kısmı ortadan kaldıran enzimin RNA'ya çok sıkı bağlanmış olması gerektiği sonucuna vardı, böylece çalışma arkadaşlarıyla beraber o enzimi tekrar tekrar aradılar ama sonuç hep aynıydı. Enzimi bulamadılar; nerede hata yaptıklarını da anlayamadılar.

Cech bir yıl süresince kafası karışmış vaziyette, giderek artan bir hırsla probleme dönüp durdu; akıl sağlığı cevabı bulmasına bağlıydı sanki. Yeni planı, gizli enzimi işini yapmadan önce sakatlamaktı. Ekip RNA'yı kaynattı; deterjan ekledi; diğer enzimleri yok eden bir enzim ekledi. Ama bir türlü orta kısmı sağlam bir RNA molekülü yalıtamadılar. "Umudumuz gitgide tükeniyordu," diye anlatacaktı Cech sonradan.[8] Nihayetinde bir çözüm yolu arayışıyla, "neredeyse çaresizlikten mevcut hipotezin tam karşıtına doğru" sürüklendiler.[9] Böylece RNA molekülünün tüm işi kendisinin yapıp yapmadığını merak etmeye başladılar. Acaba RNA kendi kendine akrobatik bir şekilde bükülüp, fazlalık olan orta bölümünü kesip çıkarıyor ve sonra kendini yeniden birleştiriyor olabilir miydi? Bu acayip hipotezi sınamak için RNA'nın yapay bir kopyasını yaptılar; enzimlere hiç maruz kalmadığından emindiler. Cech'in anlatımıyla: "Hemen işe yaradı. *Tetrahymena*'dan gelen RNA'nın yaptığı tepkimenin tıpatıp aynısını yaptı. 'Çok şükür' dedik çünkü başka alternatifimiz kalmamıştı. Tek açıklamamız buydu." RNA tıpkı bir enzim gibi davranıyordu. Kimyasal bir tepkimeyi başlatıyor ve hızlandırıyordu.

Sonuçlar yayımlandıktan kısa süre sonra Cech, Kaliforniya Üniversitesi Los Angeles yerleşkesindeki Yaşamın Kökeni Kulübü'nde konuşma yapmaya davet edildi. "O sırada yaşamın kökeni araştırma-

sının ne olduğunu bile bilmiyordum," diye anlatacaktı daha sonra.[10] "O konu üzerinde pek düşünmemiştim. Yaşamın kökenleri topluluğundan o kadar kopuktum ki mevzuyu gerçekten anlamamıştım. Bütün akşam tepkimenin kimyasal mekanizması hakkında bir şeyler anlatıp durdum; onlarsa 3,8 ya da 3,9 *milyar* yıl önce olup bitenlerle ilgileniyordu."[11] Yaşça büyük biyologlar Woese, Crick ve Orgel'ın, keşfedileceğini çok önceden tahmin ettikleri şeyi doğrulamış olduğunu öğrendiğinde, Cech çok şaşırmıştı: "Bizim hiç haberimiz yoktu ama bir yerlerde tam da bunu bekleyen bir grup insan varmış meğer. Günün birinde bu keşfin yapılacağını, ömürleri yeterse bunu göreceklerini biliyorlardı sanki."[12] Bir yıl sonra Yale Üniversitesi'nden biyokimyacı Sidney Altman, başka bir RNA molekülünün daha enzim gibi davrandığını duyurdu. Altman ve Cech ortaklaşa Nobel Ödülü aldı.

O zamandan bu yana, hücrede enzim gibi davranan bir düzineden fazla RNA molekülü çeşidi bulundu. Bunlar muhtemelen, atalarımızda proteinler yokken RNA'nın hücresel yaşamı yürütmedeki rolünün kalıntılarıdır. Vücudumuzdaki B1 vitaminlerinde ve riboflavinde kısa RNA birimleri bulunur. Dahası beklenmedik bir şekilde, protein üreten hücresel fabrikalar olan ribozomların merkezinde uzun RNA bölümlerinin yer aldığı keşfedildi. Bunlar yok olup gitmiş moleküler atalarımızın yaşamlarını açığa çıkarabilir. Moleküler biyolog Walter Gilbert'ın meşhur ifadesiyle, bizler "RNA dünyası"ndan geldik; geçmişte kalmış o dünyadaki ilk hücreler RNA sayesinde işliyordu.

Hikâyemizin bu noktasında bulutların dağılması ve aniden parlak bir güneşin belirmesi lazım herhalde. Ne de olsa sonunda biliminsanları yaşamın kökenini açıklama işine girişebilecekti. Artık yapmaları gereken, ilk RNA'nın –ya da proto-RNA'nın– nasıl evrildiğini ve bir zar tarafından nasıl yakalanarak ilk hücreyi oluşturduğunu açıklamaktı sadece. Bir de RNA kendini eşlerken oluşan küçük kopyalama hatalarının nasıl aşama aşama yeni molekül çeşitlerini ve nihayetinde proteinleri oluşturduğunu çözmeleri gerekiyordu.

Ama kimya tanrıları, biliminsanlarının işini kolaylaştırmayacaktı. İlk RNA molekülünün nasıl oluştuğunu açıklamak hâlâ çok zordu; onun etrafında bir hücrenin nasıl evrildiği ise tam bir muammaydı. Stanley Miller'ın çığır açan ilk deneyinden çeyrek yüzyıl sonra, ya-

şamın kökenini araştıran biliminsanlarının çoğu havanda su dövdüklerini hissediyordu.

Ama sonra rüya gibi yabancı bir dünya keşfedildi ve bir sürü yeni olasılığı beraberinde getirdi.

Şubat 1977'de, bilimsel bir keşif gemisi Panama Kanalı'ndan geçti ve Pasifik Okyanusu'nda, Galapagos Adaları'nın 400 km kuzeydoğusunda bulunan bir varış noktasına doğru ilerledi. Belirlenen noktaya vardıklarında, bilim ekibinin lideri Jack Corliss her yöne baktı ama gökyüzü ve ışıltılı sulardan başka bir şey görmedi. Oregon Eyalet Üniversitesi'nden iri yapılı, genç bir jeokimyacı olan Corliss'in emrinde üç araştırma gemisi vardı. Bunlardan ilki, birkaç bilimsel laboratuvar, mutfak, yemek odası, kütüphane ve makine atölyesiyle donatılmış 85 metrelik *Knorr*'du. İkincisi, üçüncü gemi olan ünlü *Alvin*'in suya indirilmesi için platform görevi gören *Lulu* adında büyük bir katamarandı. *Alvin* ise derin deniz tabanındaki kemik kıran basınçlara dayanabilen, Woods Hole Oşinografi Enstitüsü'ne ait 7 metre uzunluğunda bir denizaltıydı. Jeolojik keşif ekibinde, sonradan *Titanik*'i bulacak olan denizaltı kâşifi Bob Ballard'ın yanı sıra yirmiden fazla jeolog ve jeofizikçi vardı; fakat hiçbiri biyolojide son zamanların en önemli buluşlarından birini yapmayı beklemiyordu.

Buraya hatırı sayılır bir masrafla yaptıkları yolculuğu, Ulusal Bilim Vakfı finanse etmişti; böylece hâlâ tartışmalı olan kıta kayması kuramına kanıt bulmak için okyanusun derinliklerini inceleyebileceklerdi. Eğer kuram doğruysa, okyanusun altında geniş tektonik levhalar ayrılıp yayıldıkça, suyun yeni oluşan çatlaklara sızması beklenirdi. Jeologlar suyun aşağıdaki sıcak magmaya ulaşana kadar dibe ineceğini, o noktada aşırı ısınacağını ve okyanus tabanına geri fışkıracağını tahmin ediyorlardı. Okyanusun altında sıcak su kaynağı keşfedilmesi hem levha tektoniği kuramını destekleyecek, hem de Dünya'nın soğurken ısıyı nasıl dışarı attığını açıklamaya yardımcı olacaktı.[13] Ama okyanusun derinliklerini araştıran hiç kimse böyle bir sıcak su kaynağı görmemişti. Acaba gerçekten var mıydı?

Corliss okyanustaki bu adrese yelken açmıştı çünkü bir yıl önce Scripps Oşinografi Enstitüsü'nün gemilerinden birindeki jeologlar

okyanus tabanı boyunca bir cihaz gezdirmiş ve suyun sıcak olduğu bir bölge saptamıştı. Kameralarında ortam ıssız görünüyordu; sadece bir noktada, ilginç bir şekilde, bir yığın kocaman boş istiridye kabuğuna rastlamışlardı. Burası bir sıcak su bacası alanı olabilir miydi? Aynı yerde bir de teneke bira kutusu vardı; bu da istiridye kabuklarının bir gemi eğlencesinin ardından suya atılmış artıklar olabileceğini akla getiriyordu.[14] Bölgeye Clambake adı verildi ve uydu alıcılarıyla işaretlendi.

O tarihten bir yıl sonra, Corliss'in ekibi araştırma için hazırdı. 17 Şubat günü şafak vakti Corliss, jeolog Tjeerd van Andel ve pilot Jack Donnely idrar torbalarını boşaltıp, dar kaptan köşkünden geçerek *Alvin*'e indiler. Küçük lombozların yanına çömelip, 6300 ton/m^2 basınca dayanacak şekilde yapılmış titanyum denizaltıyla 3000 metrelik dalışa hazırlandılar. Kalın camın ardından, etraflarındaki dalgalı suyun aniden hareketsizleştiğini gördüler. Işık azalırken suyun rengi yeşilimsi maviden laciverde, koyu laciverde, sonra da simsiyaha döndü. Bir buçuk saat boyunca hiçbir şey göremediler; sadece ara sıra biyolüminesanslı (ışık yayan) bir canlının hayalet gibi geçerken yanıp sönen ışığı parıldıyordu.

Ve en sonunda dibe ulaştılar.

İlk anlarda projektörlerin tabanda aydınlattığı tek şey siyah yastık lavlardı: erimiş kayanın soğuk deniz suyuyla karşılaştığında oluşturduğu yapılar. Ekip Clambake konumuna yaklaşınca, o zamana kadar hiç kimsenin görmediği bir şey gördü. Etrafta su sıcaklığı 2°C yani neredeyse dondurucu olmasına rağmen, karşılarında minerallerle parıldayarak okyanus tabanından yükselen bulanık bir mavi su vardı. Bazı noktalarda sıcaklığın 17°C olduğunu öğreneceklerdi; ezici basınç olmasa, dalış giysisi giymeden yüzülecek kadar ılıktı. İlk kez bir hidrotermal baca bulmuşlardı.

Corliss lombozdan baktığında belleğinde sonsuza kadar yer edecek bir manzara gördü. Akustik telefonunu kullanarak yukarıda, *Lulu*'da bulunan yüksek lisans öğrencisi Debbie Stakes'i aradı.

"Debra, okyanusun derinliklerinde ortamın çöl gibi olması gerekmiyor mu?"[15]

Stakes, jeolog arkadaşlarına hızlıca danışıp yanıtladı: "Evet."

"Şey, burada bir sürü hayvan var da," dedi Corliss.

O sırada yemek tabağı genişliğinde istiridyelere, dev midyelere, albino ıstakozlara, turuncu ve beyaz yengeçlere bakıyordu.[16]

Bu çok tuhaftı. 2500 metre derinlikteydiler; yukarıdan gelen tüm güneş ışığından ve yiyeceklerden uzakta. Corliss ile van Andel telaşla veri toplamaya ve *Alvin*'in robotik koluyla birkaç örnek yakalamaya çabaladılar.

Sonraki dalışlarda daha fazla baca ve daha da tuhaf canlılar ortaya çıktı: spagetti benzeri solucanlar, büyük pembe balıklar ve çiçekler gibi yavaşça salınan kırmızı tüylü iki metrelik tüp solucanlar. Araştırma gemisi *Knorr*'a dönünce, biliminsanları bulguları merakla inceledi. Keşif gezisinin seyir zabiti Kathy Crane, bu garip canlıların tanımlanmasına yardımcı olmaları için Woods Hole'daki biyologlara telsizle haber verdi. Yardımcı olamadılar.

Hayretler içindeki jeologların elinde, örnekleri saklamalarını sağlayacak pek bir şey yoktu; sadece bir lisansüstü öğrencisinin getirdiği küçük bir kavanoz formaldehit ile Panama'dan satın aldıkları bir miktar Rus votkası vardı.[17] Neticede örnekleri plastik saklama kaplarına ve naylon poşetlere koymak zorunda kaldılar. Bir süre sonra, keşif liderlerinden biri Woods Hole'dan bir mesaj aldı: "DERHAL LİMANA DÖNÜN... BİYOLOGLAR GELİYOR."[18] Elbette Corliss öyle bir şey yapmadı. Bu keşfi başkalarına kaptırmaya hiç niyeti yoktu.

Keşif ekibindekiler bilinmeyen yaşam formlarıyla dolu bir vaha bulmuş olduklarını kavradıkça, gemideki atmosfer giderek daha coşkulu bir hal aldı. Dünya'nın yüzeyindeki hayvanlardan ve bitkilerden farklı olarak, bu canlılar güneş ışığına ve fotosenteze bağımlı değildi. Onun yerine, Dünya'nın derinliklerinden gelen minerallere ve ısıya dayalı bir yaşamları vardı. Araştırmacılar *Knorr*'daki laboratuvarda örnek kavanozlarından birini açtıklarında, işin kokusu (gerçek anlamda) çıktı. Odadakiler çürük yumurta kokusu yüzünden lombozlara doğru koşarken, klima da bu nahoş kokuyu mürettebatın geri kalanıyla paylaşıyordu. Hidrojen sülfürün kokusuydu bu. Çok geçmeden anladılar ki, neredeyse Mars'ta olabilecek yaşam kadar yabancı, eşsiz bir ekosistem bulmuşlardı. John Edmond'ın daha sonra anlattığına göre: "Hepimiz hoplayıp zıplamaya başladık. Deli gibi dans ediyor-

duk. Tam bir curcunaydı. O kadar beklenmedik, öylesine yepyeni bir şeydi ki millet dalış kavgasına başladı."[19]

Bundan birkaç yıl sonra, Harvard'da mikrobiyoloji lisansüstü öğrencisi olan Colleen Cavanaugh, Smithsonian'dan solucan küratörü Meredith Jones ve Woods Hole'dan mikrobiyolog Holger Jannasch ile ortaklaşa çalışarak, okyanus tabanındaki bakterilerin fotosenteze benzer bir süreçle enerji ve şeker ürettiğini gösterdi. Güneş'ten enerji almak yerine, hidrojen sülfürdeki bağları kırarak enerjiyi serbest bırakıyorlardı. Ardından tıpkı fotosentezde olduğu gibi bu enerjiyle karbondioksit ve suyu birleştirip şeker oluşturuyorlardı. Kısacası bakteriler, baca altlarındaki sıcak magma ile deniz suyunun etkileşimi sonucu oluşan hidrojen sülfürü yiyerek enerji elde ediyordu. Derinlerdeki bu ürkütücü besin zincirine dahil olan diğer tüm canlılar, yaşamlarını sürdürmek için bu mütevazı kimyasal yiyicilere bağımlıydı.

O unutulmaz manzara Corliss üzerinde derin bir etki yaratmıştı. Alan değiştirerek jeokimyadan biyolojiye geçti. Lisansüstü öğrencisi Susan Hoffman ve mikrobiyolog John Baross ile birlikte yeni bir kuram geliştirdiler: Onlara göre, en eski atalarımız yani ilk canlılar hidrotermal bacalarda evrilmişti.

Bu kuram yaşamın kökeni hakkındaki fikirlerimizi altüst etmeye yetti. Canlılığın belirdiği yerin Dünya yüzeyi olduğu düşünülmüştü hep. Stanley Miller'ın senaryosunda, yıldırım ve morötesi ışınlar, atmosferdeki organik moleküllerin oluşumunu tetiklemişti. Sonra o moleküller okyanusa veya su birikintilerine düşerek, içinde yaşamın belirdiği prebiyotik bir çorba yaratmıştı. Ama Corliss ve çalışma arkadaşları, canlılığın Dünya yüzeyinde evrilmediğini ileri sürüyordu. Yaşam, okyanusun kapkaranlık derinliklerindeki ezici basınç altında belirmişti.

Yeni kuramın bariz avantajları vardı. Bir kere, gezegenimizin doğumundan yüz milyonlarca yıl sonraki Geç Dönem Ağır Bombardıman sırasında, devasa asteroitler ve kuyrukluyıldızlar Dünya yüzeyini haşat etmişti. Okyanusun derinlikleri belki de bombardımana karşı korunaklı bir barınak olmuş, yukarıdaki yıkıcı darbelerin erişemeyeceği bir sığınak sağlamıştı. Başka bir keşif de bu iddiayı çarpıcı biçimde güçlendirdi. On küsur yıl önce, çok yüksek sıcaklıklarda –me-

sela Yellowstone'un 73°C'ye ulaşan bunaltıcı kaplıcalarında– yaşayan mikroorganizmalar keşfedildiğinde biyologlar şaşkına dönmüştü.[20] Yine ilginç bir şekilde, araştırmacıların geçmişe doğru izini sürdüğü en eski genler, derin deniz bacalarının yakınlarındaki yüksek sıcaklıklarda yaşamış olan ve Son Evrensel Ortak Ata olarak adlandırılan bir organizmaya aitti.

Bununla birlikte, Corliss ve çalışma arkadaşlarının makalesi saygın *Nature* ve *Science* dergileri tarafından kesin olarak reddedildi. Nihayet bir yıl kadar sonra, *Oceanologica Acta* adlı pek bilinmeyen bir dergide yayımlandı.[21] Böylelikle ufak bir kıvılcım çakmış oldu. Derken yaşamın hidrotermal bacalarda ortaya çıktığı yönündeki iddialar gittikçe alevlenerek bütün bilim camiasına yayıldı. Tam da ilerlemenin durduğu bir dönemde, yaşamın kökenleri hakkında düşünmenin heyecan verici yeni bir yolu ortaya atılmıştı.

1979'da yeni bir tür derin deniz bacası olan "siyah dumanlı baca" nın keşfi, heyecan yangınını körükledi. Bu yeni bacalar çok daha sıcaktı: 340°C civarı. Ayrıca çok büyüklerdi. Godzilla adı verilen bir baca tepesi 12 metre genişliğindeydi ve okyanus tabanından on beş katlı binaya eşdeğer bir yüksekliğe kadar uzanıyordu. Sıcak su, mineraller ve çözünmüş gazların birbirine karıştığı bu sarp, hantal, baca benzeri kulelerin, organik moleküller üreten biyoreaktörler olabileceğini hayal etmek zor değildi. Çevrelerindeki yaşamın bolluğu kesinlikle sersemleticiydi. Nüfus yoğunlukları, mercan resiflerinin zenginliğine rakip olacak ölçüdeydi.

Fakat bu çalışma alanının kurucusu olan Stanley Miller'a göre, yaşamın derin deniz bacalarındaki aşırı yüksek sıcaklıklarda evrilebileceği fikri uçuktu. Miller muhaliflerin önünü kesmeye çalıştı.[22] Şayet bacalarda herhangi bir kırılgan organik molekül oluşursa, oradaki yoğun sıcaklığın onları hızla parçalayacağına emindi. RNA, amino asitler ve şekerler gibi moleküller yüksek sıcaklıklarda bozunduğundan, Miller ve çalışma arkadaşı Jeffrey Bada, "Bacalar ilkel okyanuslardaki organik bileşiklerin üretiminden ziyade, yıkımında önemli rol oynamış olabilir," diye yazdılar.[23] Böylece "Millercılar" ile "bacacılar" arasındaki mücadele başladı.

Tabii Miller'ın kuramında ölümcül olabilecek bir kusur olduğunu

da hatırlarsınız. Biliminsanları, Miller'ın ilk amino asitleri oluşturduğuna inandığı hidrojen, amonyak ve metanın, Dünya'nın ilk atmosferinde bulunmadığını keşfetmişti; ancak Miller, bu bileşenlerin mevcut olduğu bazı yerler olması gerektiğinde ısrar ediyordu. Bu nedenle başka biliminsanları, Dünya'ya organik molekülleri ilk getiren gezegenlerarası toz ya da kuyrukluyıldız ve göktaşı çarpması olabilir mi diye düşünmeye başlamıştı.

Bazı biliminsanlarına göre derin deniz bacaları, yaşamın doğum yeri olmak için çok daha muhtemel bir adaydı artık. Dünyanın ısısı, mineraller ve gazlar açısından zengin olan aşırı ısınmış suyun okyanus tabanından fışkırmasına neden olmuştu. Ayrıca çeşitli kimyasallar bacaların etrafında farklı sıcaklıklarda karışarak, organik bileşiklerin evrilmesine elverişli koşullar yaratabilirdi. Ama biliminsanları organik bileşiklerin ve yaşamın nasıl ortaya çıktığının ayrıntılarını açıklama konusunda hâlâ baskı altındaydı.

İşte 1980'lerin sonlarında böyle bir noktada, yaşamın kökeni konusuna meraklı olan Günter Wächtershäuser adında bir patent avukatı devreye girdi; yaşamın okyanusun altında belirdiği yönündeki çekici fikri, göz ardı edilmesi zor ve ayrıntılı bir kurama dönüştürdü. Wächtershäuser, Münih'teki hukuk bürosunda tam zamanlı çalışıyordu. Hobi olarak, evrim ve bilim felsefesine dalmaya karar vermişti. "Fikirler ortalıkta uçuşuyor, bir beyin arıyorlar ve genellikle en meşgul beyni buluyorlar," diye açıklıyor durumu.[24] Bir patent vekilini mantıklı diye nitelemek, bir kralın kraliyet ailesi mensubu olduğunu söylemeye benzer. Tanımı gereği zaten öyledir. Çalışma arkadaşları, Wächtershäuser'in tartışmacı ve kavgacı olduğu kanısındaydı; bunlar her avukatın işine yarayacak niteliklerdi. Patent başvurularında açık bulmak da ona eğlenceli geliyordu. Ayrıca yirmi yılı aşkın süre önce hukuk uğruna terk ettiği organik kimya alanında doktora derecesine sahipti. Yaşamın kökenine ilişkin mevcut kuramları ise hiç de ikna edici bulmuyordu.

Wächtershäuser, Avusturya'daki bir bilimsel yaz okulunda tanıştığı bir arkadaşının görüşlerinden oldukça etkilenmişti. Bu arkadaş, tanınmış bilim felsefecisi Karl Popper'dı. Bilindiği üzere Popper, bir kuramın bilimsel olması için yanlışlanabilir olması gerektiğini ileri

sürmüştü. Yani bir kurama bilimsel denebilmesi için, en azından ilkesel olarak kanıtlarla çürütülebilecek öngörülerde bulunması lazımdı. Bu şekilde düşünüldüğünde, Wächtershäuser'e göre yaşamın kökenine ilişkin geçerli kuramların hiçbiri aslında bilimsel sayılmazdı. Kimyasal madde öbeklerini karıştırıp enerji yükleyerek, ortaya ne çıktığına bakan deneyler onu heyecanlandırmamıştı. Görünüşe bakılırsa, "prebiyotik çorba"nın varsayımsal temel bileşenleri, biliminsanlarının üretebildiği moleküllere bağlı olarak sürekli değişiyordu.[25]

Durum böyle olunca, gözünden bir şey kaçmayan bu avukat, yaşamın nasıl ortaya çıktığı konusunda yanlışlanabilir bir kuram geliştirmeye koyuldu; hem evinde hem de Münih'in ortaçağdan kalma sur kapılarının olduğu Tal Caddesi'ndeki hukuk ofisinde bu konuyu düşünüyordu. Antibiyotik patentleriyle ve diğer anlaşmazlıklarla ilgili davalardan kalan zamanda, yaşam moleküllerini yaratmış olabilecek en olası tepkimeleri bulmaya uğraşıyordu. Okyanus tabanının hemen altında bulunan bileşenlerin hangileri olduğunu dikkatlice incelemeye karar verdi.

Wächtershäuser, o konumun yaşam için harika bir doğum yeri olacağı sonucuna vardı; çünkü gereken maddelerin hepsi orada vardı. İlk olarak, Dünya'nın derinliklerinden sızan sıcak suda organik moleküllerin öncülleri mevcuttu: hidrojen sülfür, amonyak, karbondioksit gibi gazlar ve hidrojen siyanür. Üzerlerindeki basınç tepkimelerin tetiklenmesine yardım edebilirdi. Sonra bakterilerde ve bizim kendi hücrelerimizde tepkimeleri hızlandıran enzimlere baktığında başka bir şey keşfetti. Enzimlerin reaktif çekirdeklerinde demir, nikel, çinko ve molibden gibi metaller bulunuyordu. Bunların hepsi de okyanus tabanı civarında bol miktarda olabilecek elementlerdi; özellikle de demir sülfür (FeS). İlginç bir şekilde, demir-kükürt kümeleri en kritik enzimlerimizin birçoğu için elzemdir ve hücrelerimizin enerji santrali olan mitokondrilerin merkezinde yer alır. Dolayısıyla, demir-kükürt kümeleri yapma yetisini baltalayan genetik kusurlar kalp hastalığına ve kas zayıflığına yol açar. Wächtershäuser, okyanus tabanının hemen altında bulunan minerallerin, biz de dahil tüm canlılar için yaşamsal önemde olmasının tesadüf olup olmadığı üzerine kafa yordu.

Bir diğer önemli nokta da, orada oluşan demir sülfit mineralleri-

nin –enayi altını da derler– yüzeyinin artı yüklü olmasıydı. Bu durum onları kimyasal açıdan yapışkan yapıyordu; böylece orada doğan herhangi bir organik molekülün o yüzeylere tutunması beklenirdi. Sürüklenip gitmek yerine orada duracak ve diğer moleküllerle etkileşecekti.

Wächtershäuser'e göre, okyanus tabanı canlılığın doğum yeri gibi görünüyordu. Doğru koşullar altında, orada yapıları giderek karmaşıklaşan moleküller belirmiş ve temel bir metabolizma –yaşamı sürdürmek için enerji elde etmenin ve kimyasalları işlemenin bir yolu– ortaya çıkmıştı. Wächtershäuser amino asitlerin, proteinlerin ve RNA'nın nasıl oluşmuş olabileceğini bile tahmin ediyordu. İddiasına göre, okyanusun altındaki moleküler atalarımız giderek gelişmiş ve sonunda çevreleri zarla sarılmıştı. Orada evrilen gözüpek hücreler daha sonra evlerinden ayrılmıştı. Kısaca özetlersek, Wächtershäuser'in iddiasına göre canlılık okyanus tabanının altında bulunan enayi altını gibi minerallerin yüzeyinde evrilmişti.

Fakat Wächtershäuser makale yayımlamak konusunda isteksizdi. Bir amatör olarak, alaya alınmaktan korkuyordu. "Ben camia dışındandım; hatta avukat olarak görülüyordum ki bu da pek olumlu karşılanan bir unvan sayılmaz," diye anlatıyor alaylı bir tonda. Ama sonunda Popper'ın ve diğer bazı kişilerin cesaretlendirmesiyle, bir makale yazmaya cüret edebildi. Başkalarının kuramlarında gördüğü sorunları gözler önüne sermekten çekinmedi. Hatta makalesine sağlam bir eleştiriyle başladı ve açılış salvosu olarak şöyle yazdı: "Prebiyotik çorba kuramı, mantıksal açıdan paradoksal olduğu, termodinamikle uyumsuz olduğu, kimyasal ve jeokimyasal bakımdan akla yatkın olmadığı, biyoloji ve kimyada süreklilik sergilemediği için yıkıcı eleştiriler aldı ve deneysel olarak çürütüldü."[26]

Bekleneceği üzere, Stanley Miller ve Jeffrey Bada bu hücumdan hoşnut olmadı ve fikirleri de değişmedi. Bada, hidrotermal baca kuramını çürütmek için *Science* dergisinde "Bazıları Sıcak Sever, Ama İlk Biyomoleküller Değil" başlıklı bir makale yayımladı. Her şeyden önce bu kuramın neden kaale alındığını sorguluyorlardı. "Baca hipotezi tam bir saçmalık. Bunu neden tartışmamız gerektiğini hiç anlamıyorum," diye sızlanıyordu Miller bir gazeteciye.[27] Bada'ya göre,

Wächtershäuser'in modeli "bildiğimiz şekliyle yaşamın kökeni sorusuyla alakasız" idi.[28] "Kâğıt üstü kimyası"ydı; yani bazı araştırmacıların varsayımsal kimyasal tepkimeler yazıp, bunların canlılığın ilk zamanlardaki durumuyla bir ilgisinin olduğunu iddia etme eğiliminin bir örneğiydi.[29]

Ama kürsüdeki bir tanığı perişan etmek üzere olan bir avukatın ölçülü sakinliğine sahip olan Wächtershäuser, saldırılara nasıl direneceğini biliyordu. Bir gazeteciye, "Bana kalırsa çorba kuramı, kuramdan çok efsane; çünkü hiçbir şeyi açıklamıyor," demişti.[30] Yıllar sonra onunla konuştuğumda, bu çekişmeleri şaşırtıcı bir ılımlılıkla hatırladığını fark ettim. "Hamleleri karşılayıp rakibinin hata yapmasını bekleyen bir sporcu gibiydim. Bilim, tartışma yapılan bir alandır. Eğer bilimsel bir konuda tartışma yoksa, bilim yok demektir. Bu yüzden, kötü muamele gördüğümü söyleyemem. Biliyorum, insanlar bana saldırdı ama" –bu noktada sesi eğlendiğini belli eden bir tonda yükseldi– "bir de benim *onlara* ne yaptığımı düşünün!"

Miller ve Bada'nın tüm çabasına rağmen, "baca hipotezine yönelik kontrolden çıkmış coşku" olarak gördükleri şeyi durdurmalarının yolu yoktu.[31] Wächtershäuser'in kuramı, moleküler atalarımızı bulma çabalarına yeni bir soluk getirdi. Dahası yaşamın kökenlerinin anahtarını gün yüzüne çıkaracak bir başka kuramı tetikleyecekti.

Jeolog Mike Russell, Wächtershäuser'in tasarısını çok takdir etmişti ama daha iyisini yapabileceğini düşündü. 2018'de kendisiyle yaptığım görüntülü konuşma sırasında, NASA'nın Jet İtme Laboratuvarı'ndaki ofisindeydi; orada başka gezegenlerde yaşam arayışı konusunda çalışıyordu.[32] Konuşurken sık sık elini başına koyup, Shakespeare oyunları sergileyen aktörleri hatırlatan pozlar veriyordu. Bunları seyirci için (yani benim için) değil, kendi düşüncelerinin yoğunluğunu tam olarak hissedebilmek için yapıyor gibiydi. Coşkusu ve fikirleri zihninden taşıyordu. Hayatın sırrını bulduğunu bilen bir adamın tutkusuyla konuşuyordu.

Saha jeoloğu olarak yıllarca cevher tetkik ve aramaları yapmış olan Russell, 1980'lerde kendini yeniden akademik dünyada bulmuştu. Bakır ve uranyumdan altına, madenciliği yapılan çoğu madenin eskiden derin deniz bacası ve sıcak su kaynağı olan alanlarda bulun-

duğu şeklindeki çekici –ve o sıralarda tartışmalı– fikri incelemek istemişti.

O dönemde Glasgow Üniversitesi'nde olan Russell, bir kurşun madeninde bulunan ve çok eski zamanlardaki sıcak su kaynaklarının meydana getirmiş olabileceğini düşündüğü ilgi çekici oluşumları inceliyordu. Tuhaf bir şekilde, kayaların minik deliklerle dolu olduğunu görmüştü. Bir akşam evde, on bir yaşındaki oğlu Andy bir akvaryumda bilimsel kimya kitiyle oynuyordu. Minerallerin çözeltiden çökeldiğinde oyuklu kayalık yapılar oluşturduğunu görünce Russell heyecanlandı. Oluşuma baktığında, kurşun madeninde gördüğü kayalardaki deliklere benzediklerini fark etti ve bir anda kadim yapıların nasıl oluştuğunu kavradı.

Ertesi gün Russell ve bir çalışma arkadaşı, yapıların oluşumunu laboratuvarda yinelediler. Bazı derin deniz bacalarının, bunlara benzer –siyah dumanlı bacalardakilerden farklı– oluşumlar ortaya çıkarması gerektiği tahmininde bulundular. "Alkalin baca" adını verdikleri bu baca çeşidinde, kayanın küçük oyuklarla dolu olması lazımdı. Alkalin bacalar on yıl kadar sonra keşfedildi. Russell çok mutlu olmuştu; özellikle de bu bacalar yaşamın kökenini zihinde canlandırmayı çok kolaylaştırdığı için.[33]

Her şeyden önce, alkalin bacalar siyah dumanlı bacalardan çok daha serindi. Buralarda 150°C gibi fokurdatan sıcaklıklar yerine 15°C civarı gibi ılımlı sıcaklıklar söz konusuydu; dolayısıyla kırılgan organik moleküllerin orada oluşabileceğini hayal etmek daha kolaydı. Ayrıca alkalin bacalar, bir başka can sıkıcı sorunu –herkesin bucak bucak kaçtığı konsantrasyon ya da bir arada kalma problemini– çözüyor gibi görünüyorlardı. Yaşamın kökeniyle ilgilenen tüm araştırmacıların karşı karşıya olduğu zor bir soruydu bu: Şayet yaşam molekülleri ilk olarak büyük bir su kütlesinde ya da hatta bir su birikintisinde ortaya çıktıysa, onları birbirlerinden uzağa sürüklenip hiçbir şey üretmemekten ne alıkoymuştu? Wächtershäuser'e göre, moleküller elektriksel yük taşıyan mineral yüzeylerin etrafında oluşmuştu, dolayısıyla o yüzeylere tutunabilir ve suda sürüklenip gitmek yerine birbirleriyle etkileşebilirlerdi. Ama Russell, alkalin bacaların organik molekülleri daha da kolay bir şekilde yakalayabileceğini fark etti. Ba-

calar odacıklardan oluşmuştu; odacıkların ince duvarlarında da gözenek açıklıkları vardı. Bu ufak odacıklar moleküllerin toplanıp yoğunlaşması için idealdi; tıpkı hücreler gibi.

Russell alkalin bacaların bir avantajı daha olduğunu fark etti. Wächtershäuser'in katalizör görevi gördüğüne inandığı metallerin aynılarına sahiptiler; üstelik içlerinde bir şey daha vardı: bol miktarda hidrojen gazı. Russell ve biyokimyacı William Martin, bu bolluğun yaşamın kökenine ilişkin çok önemli bir anahtar sunduğunu öne sürdüler.

İddialarına göre, odacıkların zar kalınlığındaki duvarlarının iki tarafı üzerindeki proton –yani artı yüklü hidrojen iyonu– konsantrasyonları arasındaki küçük farklar, elektriksel potansiyel yaratıyordu; dolayısıyla organik bileşik oluşturmak için kullanılabilecek bir enerji vardı ortada. İlginç bir şekilde, bu senaryo kendi hücrelerimizin enerji elde etme şekline oldukça benziyordu. Hücrelerimiz, ATP (adenozin trifosfat) adı verilen dolaşım halindeki ufacık güç paketlerine dayalı bir yaşam sürer. Tek bir hücre, ortalama olarak her saniye on milyon ila yüz milyon arasında ATP tüketir.[34] Üstüne üstlük, bacaların ince odacık duvarlarındaki gözeneklerden akan yüklü hidrojen iyonlarının, hücrelerimizin ATP üretmek için kullandığına benzer bir elektrik akımı oluşturduğu anlaşıldı. Russell ve Martin bacalardaki bu akımların, kimyasal döngülerin gelişmesi için bir zamanlar enerji sağladığı sonucuna vardı.[35] Bu yolla, karbondioksit ve hidrojeni organik moleküllere dönüştürmüşlerdi. Bunların yan ürünleri ve tesadüfi kombinasyonları yeni döngüler doğurmuş ve karmaşıklıkları arttıkça malzemelerin tamamını meydana getirmişlerdi: amino asitler, RNA ve canlılığın tüm aksamı. Russell ve Martin'in görüşüne göre canlılığın ilk silik izleri, bize şu anda güç sağlayanla aynı türden bir elektrik akımıyla başlamıştı.

İlk canlı hücre hakikaten de bu tür bir bacada oluşmuş olabilir miydi? Jeologlar, alkalin bacalar okyanusun altında oluştuktan sonra sadece yüz bin yıllık ömürleri olduğunu düşünüyor. Russell'a göre buna takılmaya hiç gerek yok. Şöyle açıklıyor: Hücrelerimizin her birinde her saniye bir milyon ila bir milyar elektron hareket ediyor. Elektron düzeyinde zaman yıl, gün, dakika ya da saniye cinsinden ölçül-

mez; hareketler mikrosaniye ve pikosaniye (saniyenin milyonda biri ve trilyonda biri) mertebesindedir. Bu zaman ölçeğinde, doğru bileşenlerin mevcut olması durumunda, yüz yıl bile bir kimyasal sistemin hayata geçmesi için son derece uzun bir süredir.

Pek çok kişi bu kuramı ikna edici buluyor. Yaşamın kaynaklandığı akımın, hâlâ tüm canlıların faaliyetlerini yönlendiren akım olduğu düşüncesi kesinlikle şiirsel. Russell ve Martin dünyanın derinliklerinden yükselen minerallerin, gazların ve suyun etkileşiminde, cansız moleküllerin enerji üreterek moleküler buluşlar çağlayanını tetikleyişinin ilk izlerini görüyor. Sayısız kuşaklar boyu taşınmış bir Olimpiyat meşalesi gibi, canlılığı başlatan enerji kaynağı hâlâ içimizde akıyor. Kısacası, Russell ve çalışma arkadaşları sonunda yaşamın sırrını açıklayabileceğimize inanıyorlar.

Ama dikkat etmiş olabileceğiniz üzere, konu yaşamın kökeni olunca hep bir bakış açısı daha oluyor. Birbirleriyle rekabet eden kuramların sayısı 1990'lardan bu yana arttı. Kuramların çoğu, canlılığın okyanusun kilometrelerce altında değil, yine Dünya yüzeyinde doğduğunu öne sürüyor. *New Scientist* dergisinde yaşamın kökeniyle ilgili güncel manşetleri aratırsanız karşınıza şöyle sonuçlar çıkıyor: "Yaşamın Beşiği Okyanuslar Değil, Su Birikintileri", "Rusya'daki Sıcak Su Kaynakları Yaşamın Kayalık Kökenine İşaret Ediyor", "Volkanik Yıldırım Dünyadaki Yaşamı Tetiklemiş Olabilir", "İlk Yaşam Donmuş Bir Dünyadaki Buzlu Denizlerde Oluşmuş Olabilir", "Balçığın Çöpçatanlığı Yaşamı Tetiklemiş Olabilir" ve benzeri.

On biyologla konuşursanız, muhtemelen on bir farklı görüş duyarsınız. Hidrotermal bacalar, gelgit havuzları, su birikintileri, volkanik lagünler, radyoaktif bir kumsal, Antarktika gölleri; hepsinin kendi destekçisi var. Bazıları hayatın doğduğu yerin bir su havuzundan ziyade kil parçası olduğunu düşünüyor; çünkü kildeki kristal örüntüler organik bileşiklerin toplanıp yoğunlaşmasına ve daha uzun zincirler yapmalarına yardım etmiş olabilir. Yellowstone'daki gibi sıcak su kaynaklarının yani gayzerlerin de savunucuları var; çünkü Dünya'nın derinliklerinden gelen sıcak su, derin deniz bacalarındakine benzer mineraller taşıyor. Bu sıcak su kaynakları dönem dönem

kuruduğunda, orada oluşan organik moleküller havuz kenarlarında toplanıp yoğunlaşmış ve birbirlerine karışmış olabilir.

RNA'nın yaşamı nasıl başlatmış olabileceğine odaklanan araştırmacılar da var. RNA'nın oluşumu öteden beri bir bilmeceydi. Ama Britanyalı kimyacı John Sutherland, hidrojen siyanürü (kuyrukluyıldızlarda bol miktarda bulunur) ve hidrojen sülfürü (Dünya'da yaygındır) nükleotitlere, RNA'ya, hatta amino asitlerin ve lipitlerin öncüllerine dönüştüren birkaç adımlı bir reaksiyon zinciri buldu.[36] Sutherland farklı ortamlarda oluşan çeşitli moleküllerin bir su kütlesinde buluştuğunu ve yaşamın orada ortaya çıktığını düşünüyor.

Bazı biliminsanları ise farklı senaryoların birleştirilmesinden yana. Mesela bir kuyrukluyıldızın Dünya'ya organik madde öncülleri taşıdığını, meydana getirdiği kraterin sıcak bir kuluçka ortamı halini aldığını, oluşan çatlaklardan fışkıran sıcak su gayzerlerinin ise bu ortama başka moleküller eklediğini öne sürenler oldu. Jeokimyacı George Cody, "Tüm olasılıklara açık olmalıyız," diyor. "Bu alanda ne kadar insan varsa, o kadar farklı hipotez var. Bu durum insanı alçakgönüllüğe sevk ediyor. Zihni açık tutmak lazım."[37]

Yaşamın ortaya çıktığı yerin Dünya olmadığı şeklinde bir azınlık görüşü de var. Bu kuramı ilk olarak saygın jeofizikçi Jay Melosh'tan duymuştum. Şöyle diyerek beni şaşırtmıştı: "Benim düşünceme göre eğer yaşamın kökeni için bir konum bulunacaksa, en muhtemel yer Mars'tır."[38] Ben bunun marjinal bir kuram olduğunu varsayıyordum ama epey destekçisi var; hatta anaakım olduğu söylenebilir. Antarktika'da kar motosikletiyle dolaşarak göktaşı avına çıkan biliminsanlarının iki kiloluk bir kaya parçası keşfetmesiyle, kuram ilgi odağı oldu. Bu meteorite, Allan Tepeleri'nde (Allan Hills) bulunduğu için ALH 84001 adı verildi. 1996 yılında NASA biliminsanlarından oluşan bir ekip, ALH 84001'in Mars'tan gelmekle kalmayıp, görünüşe göre fosilleşmiş bakteri izleri ve bakteriler tarafından üretilenlere benzeyen manyetik mineral kırıntıları içerdiği sonucuna vardı. Hatta Başkan Bill Clinton, Beyaz Saray brifinginde bu keşfi duyurdu. Mars'ta yaşama dair bu bulgu tartışıldı ve hâlâ da tartışılıyor; çoğu biliminsanı tarafından kabul görmüyor, ama Melosh'u böyle bir uzay yolculuğunun mümkün olup olmadığını araştırmaya teşvik etmişti.

Krater oluşumu konusunda uzman olan Melosh'un önceden yaptığı hesaplamalara göre, Mars büyük bir darbe aldığı takdirde, civardaki kayaların bazıları buharlaşmadan veya erimeden kalmış olabilirdi. Bazı kaya parçaları uzaya fırlayıp Dünya'ya yönelmiş olabilirdi, tıpkı tabağa düşen bir köftenin havaya sıçrattığı sos parçaları gibi. Acaba o kaya parçalarının çatlaklarında gizlenmiş canlıların sağ kalması mümkün müydü? Olabilir. Ben Weiss ve Joe Kirschvink adlı jeologlar Mars göktaşını analiz ettiler ve taşın manyetizmasına bakarak, hiçbir zaman 40°C üzerinde sıcaklıklara maruz kalmadığını anladılar.[39] Yani sıcak bir günde Arizona'nın Phoenix şehrinde karşılaşacağınızdan daha serin bir ortamdı; bir canlının ölmesine neden olma olasılığı pek yoktu. Ayrıca yolculuğun uzay boşluğunda gerçekleşmesi de sorun teşkil etmiyordu.[40] Yapılan bir deneyde, Uluslararası Uzay İstasyonu'nun dışında 553 gün geçiren bakterilerin sapasağlam kaldığı saptanmıştı.[41]

Şaşırtıcı derecede popüler olan bu inanışı destekleyen en güçlü kanıt, gezegenimizde yaşamın Dünya oluştuktan çok kısa bir süre sonra belirmesidir. Dünya 4,5 milyar yıl önce doğdu. Yaşamın o tarihten 300 milyon yıl sonra çoktan gelişmiş olduğunu düşünenler var. Bazı biliminsanları canlılığın 3,8 milyar yıl önce ortaya çıkmış olabileceğini düşünüyor; ama genel olarak yaşamın 3,5 milyar yıl önce kesinlikle var olduğu kabul ediliyor.[42] Bu inanılmaz derecede çabuk; özellikle de o zamana kadarki sürenin büyük bölümünde Dünya yüzeyinin devasa asteroitlerin rahatsız edici bombardımanıyla (Geç Dönem Ağır Bombardıman) haşat olduğu düşünülürse. Melosh şöyle diyor: "Dünya'da yaşamın belirme tarihi giderek daha geriye, çok erken zamanlara çekiliyor. Bilmece şu: Tüm o karmaşık yapısıyla yaşam o kadar az zamanda nasıl ortaya çıkabilir?"

Melosh'un görüşüne göre, Mars'ta yaşamın gelişmek için daha fazla vakti olmuş olmalı. Mars yüzeyi daha uzun süre boyunca sakin kaldı çünkü Ay'ı oluşturan Büyük Darbe gibi bir olay orada yaşanmadı. "O zamanlar yüzeyde çok fazla su bulunuyordu ve hava daha sıcaktı. Hidrotermal sistemler mevcuttu. Dünya'da ortamın sulu ve ılımlı hale gelmesinden çok önce, Mars'ta istikrarlı bir ortam vardı," diyor Melosh. Mars'ta yaşam, Dünya'da mevcut olan –volkanik göl-

lerden derin deniz bacalarına kadar– herhangi bir ortamda gelişmiş olabilir. Jeolog Joe Kirschvink'in buna ek olarak, erken dönemde Mars'ın yüzeyinin yaşamın evrilmesine daha elverişli bir kimyaya sahip olduğunu düşünmek için bazı karmaşık nedenleri var.[43]

Bakteriyel atalarımız şayet bir Mars kayasının çatlaklarına ya da oyuklarına sığınmış idiyse, onları Dünya'ya getirecek tehlikeli yolculuktan sağ çıkabileceklerine inanmak için başka sebepler de olduğunu belirtiyor Melosh. Araştırmacılar bakteriyel sporların uzay boşluğundaki ölümcül morötesi ışınıma ve susuzluğa dayanmasını sağlayabilen çok sayıda gen keşfetti. "Koşullar sertleştiğinde DNA'larının etrafını, DNA'yı stabilize eden proteinlerle sarıyorlar. Sonra da uykuya dalıyorlar. Böylece sağ kalıyorlar," şeklinde açıklıyor Melosh. Eğer o ve Kirschvink haklıysa, hepimiz Marslıyız.

Sonuç olarak, ortada o kadar az kanıt var ki en eski hücresel atalarımızın tam olarak nasıl ve nerede ortaya çıktığı sorusu hâlâ çözümlenebilmiş değil. Dünya'daki yaşamın Mars'ta mı yoksa burada mı ortaya çıktığını kimse kesin olarak söyleyemiyor. Bunun şans eseri gerçekleşen beklenmedik münferit olaylar sayesinde mi, yoksa evrenin her yanında zaten kaçınılmaz olarak gerçekleşen bir süreçle mi meydana geldiğini de kimse söyleyemiyor. Yaşamın evrilişi çabucak mı oldu, yoksa yavaş yavaş mı? Bizler "Yaşam 2.0" mıyız; yani atalarımızın Dünya'yı kolonileştirmesinden milyonlarca yıl önce, korkunç darbelerle yeryüzünden silinip giden bir (veya birkaç) eski yaşam formu var mıydı? Bilmiyoruz, ama şu âna kadar Dünya'nın tüm köşelerinde bulunan bütün yaşam formlarının tek bir soydan türediğini net olarak söyleyebiliriz. Hepimizin temel biyokimyası aynı ayırt edici özellikleri taşıyor. DNA'mızda ve RNA'mızda aynı nükleotitlere, proteinlerimizde aynı yirmi amino aside sahibiz; ATP kullanımına dayanan enerji elde etme yöntemimiz de aynı.

Rekabet halindeki tüm kuramların ve sık sık yapılan tartışmaların ortasında, bilimin ne kadar *ilerlediğini* gözden kaçırmak kolaydır. İşin aslı, zaman makinesi icat edilmedikçe, Dünya'daki yaşamın nasıl başladığını kesin olarak açıklayıp açıklayamayacağımız belli değil. Yine de çoğu araştırmacı, en olası senaryoya yaklaştığımızı hissedi-

yor. Artık hücre zarının, amino asitlerin, RNA'nın ve DNA'nın nasıl oluşmuş olabileceğine, dahası ilk metabolizma ve replikasyonun nasıl başlamış olabileceğine ilişkin ayrıntılı (ama hâlâ eksikleri olan) kuramlara sahibiz. Yaşamın kimyasal kökeni artık o kadar da imkânsız ya da anlaşılmaz görünmüyor.

Çoğu kişinin düşüncesine göre en olası senaryo şu: Organik karmaşıklık –Dünya'nın herhangi bir yerinde ya da bir ihtimal Mars'ta– evrilir evrilmez, birkaç molekülün etrafı zarla çevrildi. Bu zarlar başka bazı moleküllerin girebileceği kadar geçirgendi; bu da replikasyon için ve yakıt olarak kullanılacak hammaddeyi sağladı. Zarın tutamayacağı kadar büyüdüğünde bu proto-hücre iki küçük parçaya ayrıldı; sonra onlar da büyüyüp bölündükçe sayı arttı. Bu ilkel yaşam baloncuklarının bazılarının içinde, RNA'ların (veya proto-RNA'ların) düzenlenişinde tesadüfen gerçekleşen kopyalama hataları, daha verimli yapılar üretti; sonunda proteinler, DNA ve giderek karmaşıklaşan ve incelikli hale gelen hücre mekanizmaları ortaya çıktı.

Yavaş yavaş, yeryüzü canlılarla doldu; çoğu da bize o kadar yabancı değildi. İlk yaşam formu ne olursa olsun, biliminsanları onun iki çeşit tekhücreli organizmaya evrildiğine inanıyor: bakteriler ve yine onlara benzer görünümlü olan arkeler. Bakterilere elbette aşinasınız ama arkeleri bilmiyor olabilirsiniz. Arkeler genellikle ekstrem ortamlarda yaşar; sıcak su kaynakları, asit gölleri ve insan bağırsağı gibi (bağırsağımızda sindirimin gerçekleşmesinde arkelerin de payı vardır; orada oluşan gazın bir kısmını da onlar üretir). Bizler o ilk mikropların torunlarıyız. Gezegene yayılmayı sürdürdükleri milyarlarca yıl boyunca, yeryüzündeki neredeyse her şeyi yeniden şekillendirdiler.

III. KISIM

GÜNEŞ IŞIĞINDAN TABAKLARIMIZA

Bu kısımda, önce fotosentezin büyüsünü keşfedeceğiz. Ardından, bu kozmik enerji dönüşümünün gezegenimizi nasıl yaşanabilir duruma getirdiğini göreceğiz. Son olarak da, "zeki" bitkilerin kıtaları nasıl kolonize ettiğini ve bizim yapıtaşlarımızı üretmeye nasıl başladıklarını öğreneceğiz.

8

Işıkla Gelen Güç

Fotosentezin Keşfi

Yiyecekler depolanmış güneş ışığından
başka bir şey değildir.[1]

John Harvey Kellogg

1779 YILININ YAZINDA, kırk dokuz yaşındaki Hollandalı hekim ve doğa felsefecisi Jan Ingenhousz, özenle taranmış saçlarıyla, İngiltere kırsalında kiraladığı bir malikâneye gitmek üzere Londra'dan at arabasına bindi. Aslında ilk önce, yaz "inzivası" sırasında tıbbi uzmanlık alanı olan çiçek hastalığı aşılarıyla ilgili bir kitap yazmayı planlamıştı. Fakat bir süre sonra, çok daha heyecan verici bir plan devreye girdi. Uşağı Dominique ile beraber Londra'dan ayrılırken, at arabasına yükledikleri çarşaf, koltuk minderi, yarım düzine çatal bıçak ve dört masaya ek olarak, yanlarında hava kalitesini ölçen cam bir aleti de içeren deney ekipmanları vardı. Ingenhousz'un içinden bir ses, bir şeyler bulacağını söylüyordu. Ama var olabileceğini henüz hiç kimsenin hayal bile etmediği görünmez bir süreci keşfetmek üzere olduğunu bilemezdi. Biraz şaşırtıcı bir durum bu, çünkü keşfettiği şey Dünya'daki belki de en önemli biyokimyasal süreçti: fotosentez.

Canlılık, gezegenimizin yüzeyindeki en büyük değişikliği tek bir ilerlemeyle gerçekleştirdi: Fotosentez sayesinde, hücreler Güneş'in enerjisinden yararlanmaya başlayabildi. İçtiğimiz su ve yemeklere kattığımız tuz Dünya'nın yüzeyinde mevcut; ama içimizdeki neredeyse tüm diğer moleküller, fotosentez yapan bitkiler (veya o bitkileri yiyen hayvanlar) tarafından üretilmiş ya da edinilmiştir. Fotosentez

düşünülenden çok daha önemli bir kimyasal tepkime dizisidir. İlerleyen sayfalarda göreceğimiz üzere, bu tepkime dizisi gezegenimizde büyük değişiklikler gerçekleştirdi. Örneğin bitkiler fotosentezin ana ürünü olan şekeri, çevremizdeki yeşillikleri yaratan ve bizler gibi kara hayvanlarının varlığını mümkün kılan çok sayıda farklı maddeye dönüştürür. Ahşabı, kauçuğu, kömürü, doğalgazı ve petrolü fotosenteze borçluyuz. Fotosentez, moleküllerimizin bizi oluşturmak için katettiği yolun çok kritik bir dönemeci oldu. Ama gezegenimizi derinden değiştiren bu kudretli süreci, etrafa öylece bakarak fark etmek mümkün değildi. Aslında bu süreçle ilgili göze çarpan hiçbir şey yoktu. Peki biliminsanları fotosentezin varlığından ve olağanüstü çalışma şeklinden nasıl haberdar oldu?

Doktor Ingenhousz bitkilerin atmosferi dönüştüren gizemli bir operasyon yürüttüğüne ilişkin kanıt bulmak için bir ormana girseydi, belli belirsiz birkaç ipucu bulabilirdi sadece. Bitki örtüsü yeşilin sayısız tonunu sergilerdi. Eğer mevsim sonbaharsa, süzülerek yere inen yapraklar olurdu; bu da ağaçların görünmez faaliyetlerini durdurmaya ve kış uykusuna yatmaya karar verdiklerine işaret ederdi. Doktorun çevresinde, doğanın en hayranlık uyandırıcı numaralarından birinin sessizce dünyayı dönüştürmekte olduğunu belli eden başka çok az şey olurdu.

Görgülü, bilgili ve bazen burnu havada biri olan Ingenhousz, ciddiyetiyle sosyal ortamlarda pek ilgi görmüyordu ama epey akıllıydı. On altı yaşındayken Hollanda'da üniversiteye girmiş, Yunanca ve Latince bilgisiyle öğretmenlerini şaşırtmıştı. Daha sonra Breda adlı küçük bir şehirde –belki eczacı olan babasının kazancını yükseltmek için– hekimliğe başlamış ve başarılı olmuştu.[2] 1764'te babasının ölümünün hemen ardından, zamanın en yetenekli hekimlerinden eğitim almak için Londra'ya gitti. Çok geçmeden, o günlerde en çok can alan hastalıklardan biriyle mücadele çabalarında onlara katıldı: Çiçek hastalığı, yüz kurbanından yirmi ila otuzunu feci ölümlere götüren bir illetti. Ingenhousz tartışma yaratan yeni bir tedavi yönteminin geliştirilmesine yardım etti. İnokülasyon olarak adlandırılan bu yöntem için yaradan canlı mikrop alıp, sağlıklı insanlara uygulayacak cesareti olan doktorlar lazımdı. (Ölü veya zayıflatılmış mikropların kullanıl-

dığı modern aşı uygulamalarının çıkmasına daha vakit vardı.) İnokülasyon işleminin yapıldığı kişilerin aşağı yukarı yüzde 1'i ölüyordu; ama yüzde 20-30'lara kıyasla bu daha iyi bir orandı. Avusturya İmparatorluğu imparatoriçesi Maria Theresa, yetkinliği dolayısıyla Ingenhousz'u Habsburg kraliyet ailesine inokülasyon uygulaması için –kendi kraliyet hekimi kuşkuyla karşılamasına rağmen– davet etti. İmparatoriçe çiçek hastalığı geçirip iyileşmişti ama hastalığa yakalanan çocuklarından birkaçı kurtulamamıştı. Sağ kalan çocuklarını kurtarmak için başka çaresi yoktu.[3] Ingenhousz'un ödülü, ömür boyu dolgun maaşlı bir kraliyet hekimliği pozisyonu oldu. Bu sayede kavuştuğu boş vakti bilimsel çalışmalarını sürdürmek için kullandı.

Ingenhousz tam bir Aydınlanma Çağı biliminsanıydı. Benjamin Franklin'den ilham alarak elektrikle ilgili deneyler yaptı. Franklin'in yaşadığı Londra'ya taşındığında, ikisi arasında hayatlarının sonuna kadar sürecek bir dostluk başladı. İnsanların Tanrı'nın kötülere gönderdiği cezaya müdahale etmesine karşı çıkan din adamlarının olduğu bir dönemde, Ingenhousz Franklin'in paratonerlerini savundu.[4] Ingenhousz ve Franklin yaptıkları yazışmalarda, başka konuların yanı sıra araştırmaları sırasında kazara maruz kaldıkları ciddi elektrik şoklarına ilişkin hikâyeleri de paylaşıyorlardı.

Bir keresinde elektrik şoku Ingenhousz'u bayıltmıştı; belki de elektroşok terapisi böyle doğmuştur. Sonrasında Franklin'e şöyle yazdı: "Sersemliğim hiç geçmeyecek diye korktum."[5] Ama ertesi sabah, kendini her zamankinden daha canlı ve düşüncelerini daha keskin hissederek uyandı. Öyle ki, birkaç "deli doktoru"na hastalarına zihinsel yetilerini geri kazandırmak için elektroşok kullanmayı denemelerini tavsiye etti. Kısa süre sonra Londra'daki bazı doktorlar bunu yaptı.[6]

Ingenhousz, tabancada barut yerine hidrojen gazı ile havanın patlayıcı bir karışımını kullanma girişimi de dahil olmak üzere, çok çeşitli araştırmalar yürüttü. 1779'da kırk dokuz yaşındayken, farklı bir çığır açmak umuduyla tüm yaz için izin aldı.

Londra'dan at arabasıyla iki saat uzaklıkta bulunan, gözlerden uzak bir taşra malikânesi kiraladı. Orada, kendi evine sık sık gelip giden misafirler dikkatini dağıtmadan, Joseph Priestley'nin önemli

bir keşfini geliştirmeye çalışacaktı. Britanyalı bir doğa felsefecisi ve kimyacı olan Priestley sodanın mucidi olmasıyla ünlüdür; bu harika buluşu için ona daima müteşekkir olacağız. Aynı zamanda ünitaryenizmin kurucularından olan Priestley, siyasi ve dini açıdan ateşli bir radikaldi. Konu gazların bilimsel olarak araştırılmasına geldiğinde ise yaratıcı bir dehaydı. Bir mumun üzerini cam bir kapla kapattığında, tuhaf bir şekilde, sanki havadaki bir madde tükenmiş gibi mumun çok geçmeden söndüğünü keşfetmişti. Daha da ilginci, kabın içine bir "nane dalı" koyarsa, dal "kötü hava"yı tazeleyerek mumun yeniden yanmasını sağlıyordu. Tıpkı mum alevi gibi, bir fare de kapalı bir kapta uzun süre hayatta kalmakta zorluk çekiyordu. Ama bir nane dalının (veya daha büyük olasılıkla tam bir bitkinin) ortama eklenmesi, farenin harekete devam etmesini sağlıyordu. Görünüşe göre, Priestley bitkilerin atmosferdeki "kötü hava"yı "iyi hava"ya dönüştürerek, soluduğumuz görünmez havayı bize uygun duruma getirdiğini keşfetmişti.

Ama Priestley'nin kafası karışmıştı. Bitkiler kabındaki havayı bazen tazeliyordu, bazen de tazelemiyordu. Bunun nedenini anlayamamıştı. Ayrıca İsveçli kimyacı Carl Scheele'nin Priestley'nin deneylerini yineleme girişimleri bütünüyle başarısız olmuştu.[7] Scheele, filizlenen bezelyelerin köklerini bir kavanoz suya koyup üzerini cam fanusla kapattığında, havada iyileşme olmamıştı. Scheele, Priestley'nin iddialarının hiçbir dayanağının olmadığını açıklamıştı.

Konu Ingenhousz'un ilgisini çekmişti. Acaba bitkiler gerçekten de "atmosferi temizliyor" muydu? Geniş bahçeli taşra malikânesine yerleşip, kendi araştırmasına başladı. Zamanı kısıtlı olduğundan, durup dinlenmeksizin çalıştı. Önce yere düşmüş bitki yapraklarının üzerini cam kavanozlarla kapatıp, kaptaki "iyi hava" miktarında herhangi bir değişim olup olmadığını ödiyometre (*eudiometer*) adı verilen aletle ölçtü. Bir süre sonra, suya batırılmış dal ve yaprak parçalarının bulunduğu kavanozlardaki havayı analiz etmenin daha kolay olduğunu fark etti. Elinin altında çok çeşitli bitki türleri vardı: elma, ıhlamur, armut, dut, söğüt, karaağaç, çalı fasulyesi, enginar, patates, aksöğüt, yaban yasemini. Ingenhousz bunların hepsini ve daha nicesini test etti. Yapraklar, kökler ve sürgünlerle deneyler yaptı; bitkileri sabah, öğ-

len, akşam ve gece saatlerinde dikkatle izledi.

Başladıktan kısa bir süre sonra, "Çok önemli bir hadiseyi fark etmeye başladım," diye yazdı. Doğa ona öyle bir sırrını açmıştı ki, bu neredeyse kurşunu altına çevirmeyi öğrenmek kadar heyecan vericiydi. Yaprakların "bozuk hava"yı sadece birkaç saat içinde "iyi hava"ya dönüştürebildiğini keşfetmişti; *ama* bunu yapabilmeleri için güneş görüyor olmaları lazımdı. İçinde suya batırılmış bitki parçaları bulunan bir kavanozu ışığa koyduğunda, yaprağın altından sürekli bir akış halinde yükselen kabarcıkları anlık olarak görebiliyordu. Kavanozdaki yaprağı ateşin yanına koyarak ısıtmak aynı etkiyi yaratmıyordu. İşlem güneş ışığı gerektiriyordu.

Ingenhousz daha fazlasını öğrenmek ve tespit ettiği "sıhhatli" havanın başka bir kaynaktan gelmediğinden emin olmak için haftanın yedi günü, gündoğumundan günbatımına kadar detaylı deneylerine devam etti. Üç aydan kısa bir sürede beş yüz deney yaptıktan sonra sonuca vardı. Sonbaharda, henüz kır evinden ayrılma vakti gelmeden, uzun bir ad verdiği bir kitap yayımladı: *Experiments upon Vegetables: Discovering their great Power of purifying the Common Air in the Sun-shine and of Injuring it in the shade and at Night, to which is joined a new Method of examining the accurate Degree of Salubrity of the Atmosphere* (Sebzeler Üzerine Deneyler: Güneş Işığında Havanın Arıtılmasını, Gölgede ve Gece Havanın Bozulmasını Sağlayan Muazzam Güçlerinin Keşfinin Yanı Sıra, Atmosferin Sıhhatlilik Derecesini Doğru Biçimde Ölçmek İçin Yeni Bir Yöntem).

Ingenhousz "bitkilerin gizli operasyonlarını" keşfetmiş olduğu için çok mutluydu.[8] Onların sessizce nefes alıp verdiklerini bulmuştu. Yani (bizim karbondioksit dediğimiz) "kötü hava"yı içlerine çekiyor ve (kimyacı arkadaşı Antoine Lavoisier'nin çok geçmeden oksijen adını verdiği) "iyi hava"yı dışarı veriyorlardı.

Doğrusunu söylemek gerekirse, bu fenomeni ilk saptayan Priestley idi. Ama o, bitkilerin sadece yeşil kısımlarının havayı "arındırabildiğini" ve bu sürecin ışığa bağlı olduğunu anlayamamıştı.

Ingenhousz'un beklediği övgüler gelmedi. Kitabının İngilizce, Fransızca, Hollandaca ve Almanca baskılarını hızla yayımladı. Ne yazık ki bu, eski arkadaşı Rahip Priestley'nin, Hollandalı eczacı Wil-

lem van Barneveld'in ve İsviçreli botanikçi Jean Senebier'nin fotosentezi ilk keşfeden kişi olduklarını iddia etmelerini engellemeye yetmedi. Öfkeli Ingenhousz, Hollandaca çevirmenine, "Bir kemik için iki köpek kavgaya tutuştu mu, üçüncüsü kemiği kapmaya gelir," diye içini dökmüştü.[9] Van Barneveld ve Senebier tanınmamış kişilerdi; bu yüzden kamuoyu önünde onların iddialarını çürütme zahmetine girmedi. Ama Ingenhousz'un "yaratıcı deha" diyerek övdüğü ünlü Priestley'nin iddiası büyük ilgi görebilir ve başına çok iş açabilirdi.

Ingenhousz'un durumdan rahatsız olduğunu duyan Priestley, ona bir mektup yazarak kendisinin de aynı günlerde ışığın rolünü keşfettiğini ve bunu başkalarına ilettiğini belirtti. Yine de *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (Farklı Hava Türleri Üzerine Deneyler ve Gözlemler) adlı kitabının ikinci baskısını yayımlayacağı zaman Ingenhousz'un çalışmalarından bahsedeceğine söz verdi.[10] Ama Ingenhousz iki yıl sonra yeni baskıyı incelediğinde, deneylerine hiçbir atıf bulamadı.[11] İyice sinirlenen Ingenhousz, bir arkadaşına, besbelli bozum olan ve kıskançlığa kapılan Priestley'nin, "tahtına rakip olabilecek kimseye katlanamayan bir padişah" gibi davrandığını söyledi.[12] Priestley'nin kitabının yıllar geçtikçe yapılan yeni basımlarında çığır açan buluşuna hâlâ yer verilmediğini gören Ingenhousz'un hayal kırıklığı daha da arttı. En sonunda Ingenhousz, Priestley'ye elde ettiği bulguları ilk olarak nerede yayımladığını açıklaması için hararetle meydan okudu. "Eğer bu doktrini gerçekten benden önce yayımladıysanız, bunu kamuya duyurmayı borç bilirim. ... Makalenizin hangi derginin kaçıncı sayısının kaçıncı sayfasında bulunduğunu açık ve net bir şekilde bana belirttiğiniz takdirde hemen bu esere atıfta bulunacağım."[13] Priestley ona hiçbir zaman öyle bir kanıt göndermedi. Ingenhousz'un çalışmalarını tanıdığını belirten bir beyanı da olmadı.

Bu görmezden gelmenin sonucunda Priestley baskın çıktı. Deneyleriyle haklı olarak meşhur olmanın ötesinde, toplumca tanınmak için uğraşmaya gönüllü olan üretken bir yazardı. İçine kapanık Ingenhousz ise ilgi odağı olmaktan hiç hoşlanmıyordu ve muhtemelen o kadar atılgan bir figürle kavga etmekten çekinmişti. Priestley'nin iddiasına ilişkin itirazlarını sadece kitabının ikinci Fransızca baskı-

sında ve bir de deneylerinden on yedi yıl sonra yayımlanmış bir İngiliz hükümet raporunun ekinde ifade etti.[14] O yüzden, çoğu anlatımda fotosentezin kâşifi olarak Priestley'nin adının geçmesine şaşmamalı. Yakın zamana kadar Ingenhousz büyük ölçüde unutulmuştu; çok önemli bir biliminsanıydı ama adı hiç duyulmamıştı.

Ingenhousz fotosentezin varlığını keşfetmişti ama sürecin doğası hâlâ bir sırdı. Acaba bitkiler "kötü hava"yı (karbondioksiti) "iyi hava"ya (oksijene) nasıl dönüştürüyordu?

Yanıtın bir kısmı, biliminsanlarını uzun süredir yanlış yönlendirmiş olan aldatıcı derecede basit bir sorudan gelecekti: Bitkiler ne yer? Bitkilerin bizim gibi yemek yemediğini herkes bilir. Onlar öğle yemeğinde başka canlıları yemezler (Venüs sinekkapanı ve diğer birkaç tür hariç). Peki binlerce kilogram ağırlığındaki devasa bir ağacın tüm o kütlesinin kaynağı ne olabilir? Başka bir deyişle, bir ağacı meydana getiren nedir?

Yüz elli yıl önce, bir başka Jan bu gizemi ilk araştıranlar arasındaydı. İspanyol Engizisyonu, Flaman simyacı Jan Baptist van Helmont'u zındık olduğu gerekçesiyle ev hapsine mahkûm etmişti. Bir asilzadenin oğlu olan van Helmont, gerçeğin ve aydınlanmanın alışılmadık derecede ateşli bir takipçisiydi. 1590'larda Louvain Katolik Üniversitesi'nde mantık, astronomi ve doğa felsefesi okumuş, fakat öğretmenlerinin doğal dünyaya ilişkin sunduğu açıklamaları yeterli bulmamıştı. Galileo gibi o da, Aristoteles'in ve diğer antik dönem düşünürlerinin saf akıldan yola çıkarak –doğal dünyayı yakından gözlemlemeden– oluşturdukları kuramları anlamsız buluyordu. Kendisine öğretilenlerin değersiz olduğuna ve hâlâ hiçbir şey bilmediğine ikna olmuştu. Peşine düştüğü şeyin "gerçeğin ve bilginin suretleri değil asılları" olduğunu söylüyordu.[15] Diplomasını kabul etmeyerek, simya ve büyü eğitimi veren bir Cizvit kolejine girdi.[16] Profesörü, iyi niyetli "beyaz büyü" diye bir şeyin olmadığını, yalnızca şeytani büyü olduğunu söylüyordu. Van Helmont oradan da bir şey öğrenmediğini hissederek ayrıldı.

Ne yazık ki yayımlanan ilk eseri olan "Yaraların Manyetik Yolla İyileştirilmesi Üzerine" Engizisyon'un dikkatini çekti. Kilise, azizlere ait kutsal emanetlerin iyileştirici gücünün, biliminsanı olma yo-

lundaki birinin "manyetik etkiler" olarak adlandırdığı doğal nedenlerden kaynaklanabileceği görüşünü hiç hoş karşılamamıştı. Ayrıca van Helmont'un, Cizvit ilahiyatçıların doğa bilimleri alanında çalışmaya uygun olmadığını söylemesi de pek sempati uyandırmamıştı.[17] (Gerçi van Helmont'un kendi bilimsel yaklaşımı da pek örnek teşkil edecek düzeyde değildi. Mesela farelerin kendiliğinden oluşumuna ilişkin tarifi biraz şüpheliydi: "Bir kavanoza terli iç çamaşırı ile buğday koyun. Bekleyin. Bir fermantasyon döneminden sonra, yetişkin fareler çıkacaktır."[18]) 1623'te Louvain Üniversitesi bünyesindeki tıp fakültesi onun eserini "korkunç bir kitapçık" olarak kınadı.[19] Van Helmont Engizisyon tarafından yakalandı. Galileo'nun ev hapsi aldığı yıl, o da tövbe ettikten sonra ev hapsine mahkûm edildi. Adının dört yüz yıl sonra bile ders kitaplarında geçmesini sağlayan ağaç deneyini o süreçte yapmış olabilir.

Van Helmont'un yanıt aradığı soru, bir ağacın kütlesinin nereden geldiğiydi. Bilime meyli olan diğer pek çok kişiye göre yanıt zaten çoktandır ortadaydı. Bitkiler toprakla besleniyordu. Cüsseleri büyük ölçüde topraktan geliyor olmalıydı. Van Helmont bu kuramı test etmenin vaktinin çoktan geldiğine karar verdi. (Yüz elli yıl kadar önce benzer bir deneyi öneren Alman âlim Nicolaus Cusanus'tan ilham almıştı belki de.) Van Helmont büyük bir varil kuru toprağı dikkatlice tarttı. Sonra varile 2 kg'lık bir söğüt ağacı dikip düzenli olarak suladı. Beş yıl sonra ağacı söküp tekrar tarttı. Tartı 75 kg gösteriyordu ama toprak sadece 0,05 kg kaybetmişti.[20] Van Helmont'a göre varılacak sonuç belliydi. Ağacın o koca kütlesi, aldığı sudan gelmiş olmalıydı. Bitkiler büyük ölçüde sudan oluşuyordu; topraktan değil.

O tarihten yüz elli küsur yıl sonra, kimya artık çok daha ilerlemiş bir bilim dalıydı. Ingenhousz, fotosentezi keşfetmesinden on yedi yıl sonra 1796'da, bitkilerin içlerine çektiği "kötü hava"nın karbon ile oksijenden (karbondioksit dediğimiz molekülden) oluştuğunu biliyordu. Ayrıca bitkilerin bol miktarda karbon içerdiğini biliyordu. Dolayısıyla bir bitkinin temel besininin sudan değil de havadan geldiği onun için açıktı.[21] Kısa bir süre sonra Nicolas de Saussure, bir bitkinin kütlesine büyük ölçüde katkıda bulunan diğer tek maddenin su olduğunu ortaya koydu. Jean Senebier ise bitkilerin dışarı verdiği "iyi ha-

va"nın oksijen olduğunu saptadı. Böylece 1800'lerin ortalarında, biliminsanları moleküler formülleri öğrenmeye başladıklarında, fotosentez konusunda temel bir kavrayışları vardı. Bitkilerin aslında çok az şeyle yaşadığı açıktı. Sadece karbondioksit (CO_2), su (H_2O) ve güneş ışığı kullanarak kendi besinlerini yapıyorlardı. Glikoz ($C_6H_{12}O_6$) adlı bu besini amino asitlere, yağlara ve sofra şekeri olarak bilinen o iki şekerli moleküle yani çok sevdiğimiz sukroza dönüştürüyorlardı. Dahası bitkiler atık olarak bizim soluduğumuz oksijeni üretiyordu. Doğanın etkileyici, neredeyse mucizevi bir numarasıydı bu.

Ama nasıl gerçekleştiği bilinmiyordu.

İçimizdeki moleküllerin çoğunun kaynağı olan fotosenteze ilişkin bilgimiz seksen küsur yıl daha aynı noktada kaldı. Bunun nedeni çaba gösterilmemesi değil, araştırmacıların elinde daha fazlasını öğrenebilecekleri araçlar olmamasıydı.

Ufak ufak ilerlemeler oldu. Bitkilerin fotosentez yaparak elde ettikleri şekeri hem enerji üretip depolamak, hem de yağ ve protein yapmak için kullandıkları keşfedildi. Ayrıca fotosentezin nerede gerçekleştiği anlaşıldı. Yaprakların içinde bulunan kloroplast adlı küçük yeşil yapılarda fotosentez yapılıyordu. Klorofil pigmentinin Güneş'ten enerji emmesiyle başlayan süreç, kloroplastların içindeki iki ayrı tepkime merkezinde meydana geliyordu.

Fakat bütün besin zincirimizin fotosenteze bağımlı olmasına rağmen biliminsanları ebeveynlerinin geçimlerini nasıl sağladığından habersiz çocuklar gibiydi. Bizi besleyen ve oluşturan şekeri üreten kimyasal tepkimeler hakkında neredeyse hiçbir şey bilmiyorlardı. Bitkilerin havadan karbon, sudan da hidrojen çektiğini biliyorlardı fakat acaba şekerdeki oksijenin kaynağı neydi? Oksijen, karbondioksitten mi (CO_2) yoksa sudan mı (H_2O) geliyordu? Kimyasal tepkimeler mikroskopla görülemez. Dolayısıyla fotosenteze neyin girip neyin çıktığı saptanabiliyor ama sürecin kendisi saklı kalıyordu.

Araştırmacılar, atomun içini görme konusunda umutsuzluğa kapılan fizikçileri kurtaran parçacık fiziğinin biyologları da kurtaracağından habersizdi. Çığır açan buluşlar iki ayrı bilim ekibinden geldi. Ekiplerden ilki, olağanüstü güçlü yeni bir araç yaratmak için çabaladı

ama onu kullanma fırsatından mahrum kaldı. Fotosentezin varoluşumuzun temelini nasıl oluşturduğunu nihayetinde çözmek de bu aracı miras alanlara düştü.

İlk büyük adımı atanlar, Martin Kamen ve Sam Ruben adında hırslı ve tarihe geçmeye hevesli iki kafadar biliminsanı oldu. Kimyacı Kamen kısa boylu ve siyah saçlıydı; 1920'lerde Şikago'da büyümüştü ve makineli tüfek gibi konuşurdu. Ayrıca mükemmel şekilde keman ve çello çalan bir müzik dehasıydı; Isaac Stern ve Yehudi Menuhin ile ömür boyu sürecek dostluklar kuracaktı. Fakat Şikago Üniversitesi'ndeki ilk yıllarında, ülkedeki ekonomik buhran nedeniyle aile servetinin yok olup gitmesine tanıklık etmişti. Müzik kariyeri ya da İngilizce diploması yoksulluğa düşmenin emin yolları olacak gibiydi. Bu arada babası, *Popular Mechanics* gibi dergilerin reklamlarında kısa yoldan zengin olma yolları arar olmuştu. Bir gün Kamen'e bir reklam gösterip okumaya başladı: "Kimyacı ol ve milyonlar kazan."[22] O tarihten altı yıl sonra –1936'da– Kamen nükleer kimya alanında doktorasını tamamladı; sonrasında ne yapacağı konusunda ise hiçbir fikri yoktu.

Şikago'nun Güney Yakası'ndaki caz konserlerinden kazandığı birkaç yüz dolarlık birikiminin çoğunu riske atarak, San Francisco'ya tren bileti almaya karar verdi. Gönüllü çalışmayı teklif ederek Berkeley'deki Radyasyon Laboratuvarı'na kapağı atmayı planlıyordu. İkinci Dünya Savaşı'ndan önceki yıllarda, bu laboratuvar oraların en büyük, en havalı bilim projesiydi; İnsan Genomu Projesi ve Hubble Uzay Teleskobu gibi günümüzün devasa girişimlerinin öncüsüydü. Kamen doğru zamanda doğru yere gelmişti.

Laboratuvarın fikir babası, siklotron adı verilen ve atomaltı parçacıkları o zamana dek görülmemiş hız ve enerjilere ivmelendirebilen dâhice makineyi on yıl önce icat etmiş olan fizikçi Ernest Lawrence'tı. O sırada makinenin dördüncü sürümü kullanılıyordu; her sürüm bir öncekinden daha büyüktü.[23] Lawrence'ın dairesel parçacık hızlandırıcısı, günümüzün en büyüğü olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın (BHÇ) atası sayılabilir. Tabii Lawrence'ın hızlandırıcısının çapı, İsviçre'deki CERN'de bulunan BHÇ gibi devasa boyutta değildi; henüz 94 cm'ye çıkabilmişti. Önceden mühendislik binası olarak kul-

lanılan ve daha sonra adı Radyasyon Laboratuvarı olarak değiştirilen eski, iki katlı, ahşap omurgalı bir yapıya rahatlıkla sığabilecek kadar küçük bir makineydi. Kamen oraya gittiğinde, Lawrence siklotronu parçacık fiziği araştırmalarında kullanmak üzere gönüllü lisansüstü öğrencileriyle desteklediği bir ekip kurma sürecindeydi. Ayrıca tıp alanında yeni araçlar olarak kullanılabilecek yeni radyoaktif izotoplar yapmayı umuyordu. Örneğin kanser hücrelerini yok etmek için radyoaktif fosfor kullanmayı denemek istiyordu.

Radyasyon Laboratuvarı'na ayak bastığı bulutlu ve yağmurlu günde, Kamen araştırmada yer almak için gönüllü oldu ve bu yüksek güçlü siklotronun bakımına yardım etme görevini üstlendi – pis ve çok uğraştıran bir iş. Ama altı ay sonra Kamen mutluluktan havalarda uçuyordu, çünkü Kamen'in doktora çalışmasının nükleer kimya ve fizik alanında olduğunu öğrenen Lawrence, ona radyoizotop üretimini denetlemesi için maaşlı bir pozisyon teklif etmişti. Kamen'in artık son teknolojinin uygulandığı bir programda önemli bir işi vardı.

Gelişinden kısa bir süre sonra, bilimsel çalışma ortağı olacak genç ve enerjik kimyacı Sam Ruben'le tanıştı. Köşeli kaşlarının sürekli sorgulayan bir görünüm verdiği Ruben, şapkacılıktan marangozluğa geçen Polonyalı bir göçmenin oğluydu. Berkeley'de büyümüş, gençlere yönelik bir boks kulübünde Jack Dempsey tarafından çalıştırılmış, lisedeyken de basketbol yıldızı olmuştu.[24] Kamen'in tasvirine göre son derece zeki, entelektüel açıdan kendine güvenen, hatta "lafını esirgemeyen, iğneleyici ve çatışmadan korkmayan" biriydi.[25] Ruben'in doktora çalışması yürüttüğü Berkeley'nin aşırı rekabetçi kimya bölümünde tutunabilmesi için o cesarete ihtiyacı vardı. O zamanlar Ruben'in çalışma arkadaşlarının çoğu biyolojiye burun kıvırıyordu; ikinci sınıf beyinlere göre olan ikinci sınıf bir alandı biyoloji. Ama Ruben, Kamen'e biyolojik süreçleri incelemek için radyoaktif izotopları kullanmak üzere birlikte çalışmayı önerdi. Biyokimyayı yeni bir araçla araştıran ilk kişiler olabilirlerdi. Bu araç, Radyasyon Laboratuvarı'nda yeni oluşturulan karbon-11 izotopuydu. Kamen siklotronunda karbon-11 üretecek, Ruben de izotopun kullanılacağı biyolojik araştırmayı yönetecekti.

Çekirdeğinde altışar tane proton ve nötron taşıyan, karbon-12 de-

nen vücudumuzdaki bildik karbon değildi bu. Lawrence'ın Radyasyon Laboratuvarı'ndaki ekibi, bor elementine (periyodik tabloda karbondan hemen önce gelen element) bir atomaltı parçacık demeti ateşleyerek, bor çekirdeğine fazladan bir proton sızdırabileceklerini keşfetmişti. Bor, beş proton ve beş nötrona sahiptir. Fazladan bir proton ekleyerek, ekip onu yeni bir elemente dönüştürmeyi başarmıştı. Böylece altı protonlu ama sadece beş nötronlu bir karbon izotopu yani karbon-11 elde ettiler. Fakat protonların ve nötronların bu birleşimi stabil değildi, kararsızdı. Bir süre sonra bir proton kaybedecek, yeniden bora dönüşecek ve radyoaktivite açığa çıkacaktı. Kamen ve Ruben bunun işe yarayabileceğini fark etti. Başlangıçtaki planları karbon-11'i fotosentezle alakasız bir sorunu çözmek için kullanmaktı. Laboratuvar farelerinin şekeri nasıl metabolize ettiğini öğrenmek istiyorlardı. Fikir basitti: Fareleri radyoaktif karbonla yapılmış şekerle besle, sonra da bir kimyasal bileşikten diğerine geçerken karbonu takip et.

Uygulamaya gelince, önce radyoaktif şeker yapmak için bitkilere radyoaktif karbon vermek gerekiyordu. Ardından hayvanın "fırından yeni çıkmış" şekeri yemesi, sonra da şekerin hayvanın vücudunda hangi yeni bileşiklere dönüştüğünün bulunması lazımdı. Tabii tüm bunların radyoaktif karbon bozunmadan yapılması zorunluydu. Çok geçmeden bunun düşündüklerinden daha zor olduğu anlaşıldı. Birkaç hafta içinde hevesi kırılan Ruben, Kamen'e teknik zorlukların yıldırıcı olduğunu söyledi.

Kamen daha sonra şöyle anlatacaktı: "Bu sorunlardan konuşurken Sam aniden durdu; gözlerini kocaman açarak, 'Ne diye farelerle uğraşıyoruz ki? Yahu biz birlikte çalıştık mı, iki günde fotosentezi çözeriz,' deyiverdi."[26]

Biyolojinin en büyük gizemlerinden birini çözme –bitkilerin varlığımızı mümkün kılan şekeri nasıl ürettiği sorusunu yanıtlama– şanslarının olduğunu bir anda fark etmişlerdi. Ingenhousz'un fotosentezi keşfetmesinin üstünden yaklaşık yüz elli yıl geçmişti ama fotosentezin kimyasal yolaklarının işleyişi konusunda biliminsanlarının en ufak bir şey bildiği yoktu. Kamen ve Ruben, o yolakları nihayet ortaya çıkarabilecek bir araca sahip olduklarını artık anlamıştı.

Tek yapmaları gereken radyoaktif karbondioksit üretip bitkilere vermek, sonra da tepkimeleri farklı zamanlarda durdurarak radyoaktif karbonun hangi yeni bileşiklere girdiğine bakmaktı. Sevinç içindeydiler.

Karbon-11 üzerinde pratikte tekelleri vardı; dolayısıyla hızlı hareket ederlerse, kendilerine rakip çıkmasından korkmalarına gerek olmayacaktı. Ayrıca yapılacak işin çok net ve basit olduğunu, dolayısıyla çözüme ulaşmanın en fazla birkaç ay süreceğini fark ettiler.[27] Onları bekleyen sıkıntılardan ve hayal kırıklığından habersiz biçimde hemen çalışmaya giriştiler.

Kendilerine gereken radyoaktif karbonu üretmek için Kamen laboratuvarda çalışan fizikçilerin eve gitmesini beklemek zorundaydı; fizikçilerin araştırması daha önemli görülüyordu. Dolayısıyla akşam saat dokuzdan sonra, seksen tonluk bir mıknatısla çevrili siklotrona bor yerleştiriyordu. Ardından bir kontrol konsolunun arkasına oturup, proton-nötron çiftleriyle bor elementini saatlerce bombalıyordu.[28] Radyoaktif karbon-11 oluşur oluşmaz, ara yollar ve merdivenlerden ibaret karanlık bir labirent boyunca birkaç yüz metre koşarak, Ruben'in Sıçan Evi denen ahşap kaplı harap binadaki laboratuvarına ulaşıyordu. Gerçekten de koşmak zorundaydı çünkü karbon-11'in yarı ömrü yirmi dakikadan biraz fazlaydı. Yani yirmi dakika sonra radyoaktif elementin yarısı bozunmuş oluyor, bir saat sonra da sadece yüzde 10 kadarı kalmış oluyordu. Sabahın erken saatlerinde Kamen depar atarken, Ruben de hazırladığı kimyasallar, pipetler, kurutma kâğıtları, sıcak su kapları ve karbon-11'i bitkilere verip ilerleyişini izlemesi için gereken diğer her şeyle, sabırsızlıkla bekliyor oluyordu. Kamen, deneylerini çılgınca yürütürlerken biri görse, onları "tımarhanede koşuşan deliler" sanacağını söyleyecekti daha sonra.[29] Ruben'e göre günde on sekiz saat çalışmayan herkes tembeldi. Onların çabalarının yakıtı uyku değil heyecandı.

Yeni biyokimyasal teknikler geliştirmeyi başardılar. Arada bir mütevazı keşifler de yapıyorlardı. Ama uykusuz üç yılın ve sabahın erken saatlerinde yapılan yüzlerce deneyin ardından, ilerlemelerini gözden geçirmek için Sıçan Evi'nde buluştuklarında, fotosentezin ilk

kimyasal adımını bile belirlemede çok az aşama kaydettiklerini üzülerek kabul ettiler. Sorun, çok kısa ömürlü ateşböceklerini kovalıyor olmalarıydı. Uygulamada, karbon-11 kimyasal tepkimeleri takip etmeye olanak vermeyecek kadar çabuk bozunuyordu.

Kamen, karbonun başka bir izotopu olan karbon-14'ün de mevcut olabileceğinden şüpheleniyordu; onun daha uzun ömürlü olması mümkündü. Kuramsal fizikçi Robert Oppenheimer ona bu olasılığın neredeyse sıfır olduğunu söyledi.[30] Yine de Kamen o izotopu üretmeyi hayal ediyordu; özellikle de Lawrence çapı 152 cm olan daha güçlü bir siklotron yaptığından beri. Fakat Kamen kendisini, yanından geçen kurtarma gemisini öylece izleyerek boğulmakta olan bir adam gibi hissediyordu. Siklotronlardan birini uzun bir süre tekeline alması gerekecekti, ama projeleri buna izin verecek kadar önemli görülmüyordu. İkili bir kez daha çıkmaza girdi.

Kamen toplantıdan hüzünle ayrılırken, Lawrence onu çağırdı. Fizik binasının merdivenlerini tırmandığında, Kamen büyük adamı ofisinde tedirgin bir durumda buldu. Lawrence ona, doğal döteryumu keşfeden (ve daha sonra Stanley Miller'a yaşamın kökenini araştırması için ilham verecek olan) Harold Urey'in, tıp araştırmalarında yararlı olabilecek karbon, oksijen, azot ve hidrojenin doğal kararlı izotoplarını üretme konusunda büyük ilerleme kaydettiğini söyledi. O zamana dek Radyasyon Laboratuvarı'nın bu elementlerin işe yarar yeni izotoplarını yapma girişimleri başarısızlıkla sonuçlanmıştı; şimdi de Urey, Lawrence'ın siklotronlarının asla başarılı olamayacağını ilan ediyordu. Ona göre bu elementlerin daha uzun ömürlü yeni izotoplarının var olması muhtemelen fiziksel olarak olanaksızdı. Lawrence Kamen'e, şayet Urey haklıysa bunun bir felaket olacağını söyledi. Çok daha güçlü siklotronlar inşa etmek için finansman bulmak istiyordu ama 1930'larda Ulusal Bilim Vakfı ya da Atom Enerjisi Komisyonu yoktu; fizikçilere büyük bağışlar yapacak hiçbir federal kurum yoktu. (Manhattan Projesi fiziğin özellikle savaş için pratikte fayda sağlayabileceğini gösterdikten sonra bu durum değişecekti.) Lawrence'a göre, biyomedikal araştırmalarla ilgilenen vakıflar önemli miktarda finansman sağlayabilecek tek kaynaktı. O âna kadar Lawrence'ın araştırmalarını ayakta tutmuşlardı, ama şimdi Urey çıkmış,

siklotronların asla biyolojik açıdan önemli izotoplar oluşturamayacağını iddia ediyordu. Lawrence umudunu yitiriyordu. Kamen'e, o izotopları yapmanın bir yolunu bulamazlarsa daha büyük siklotronlar inşa etme planlarının suya düşeceğini söyledi. Ona siklotronlara sınırsız erişim izni verdi ve gerek duyduğu her şeyin sağlanacağını ekledi. Tek istediği bir an önce uzun ömürlü radyoaktif karbon, azot ve oksijen izotopları üretmesiydi.

Kamen bu kadar şanslı olmasına şaşarak, sersemlemiş halde odadan çıktı. Lawrence adında bir sihirli lamba cini, onun en büyük dileğini yerine getirmişti. Hemen yeni izotoplar yapmayı denemek için aklına gelen bütün yöntemlerin bir listesini çıkarmaya başladı. Listenin en başında karbon-14 izotopu vardı. Eylül 1939'un sonlarında, her zamanki gibi yağ ve gresten kararmış bir laboratuvar önlüğü giyip, pantolonunun fermuarına ve cebindeki bozuk paralara bulaşan radyoaktif maddelerden habersiz olarak deneylerine başladı.

Simyacı Jan Baptist van Helmont yaşayıp görse, bu çalışmayı mutlaka çok takdir ederdi; sonuçta Kamen bir elementi diğerine dönüştürmenin peşindeydi. Lawrence'la buluştuktan sadece birkaç gün sonra, 94 santimetrelik siklotronun kumanda paneline geçti ve bor atomlarına alfa parçacığı (iki proton ve iki nötrondan oluşan helyum çekirdeği) ateşlemeye başladı.[31] Bor çekirdeğinde halihazırda bulunan beş proton ile beş nötrona, bir proton ile üç nötron ekleyerek, bor atomunu karbon-14'e dönüştürmeyi umuyordu. Ama iki tam gün süren çabanın ardından, iyon odacığı adı verilen cihazda numuneyi test ettiğinde, önemli hiçbir şeyin oluşmadığını anladı. Daha güçlü olan 152 santimetrelik siklotrona geçerek tekrar denedi; bu kez döteron (bir nötron ve bir protondan oluşan döteryum çekirdeği) ateşledi. Ama yine hiçbir ilerleme kaydedemedi.

Ardından farklı bir yöntem denedi. Karbondan daha hafif bir elemente atomaltı parçacıklar eklemek yerine, azottan bir proton ve bir nötron çıkararak karbon-14 yapmaya çalıştı (azot, periyodik tabloda karbondan hemen sonra gelen elementtir).

Bu yaklaşım da hayal kırıklığı yarattı.

Sonra daha büyük olan 152 santimetrelik siklotron onarım için durduruldu. O sırada deneyler başlayalı birkaç ay olmuştu. Kamen

umutsuzluğa kapılmaya başlamıştı. Tüm çabalarının beyhude olabileceğine işaret eden sinir bozucu gerçeklerle karşı karşıyaydı.

Son çare olarak daha küçük olan 94 santimetrelik siklotrona geri döndü ve karbonun kendisini bombalamayı denemeye karar verdi. Bir proba yumuşak bir karbon formu olan grafit sürdü; çekirdeğine iki nötron daha sızdırmak amacıyla grafiti döteron yağmuruna tutmayı planlıyordu. Yoğunluğu en üst düzeye çıkarmak için grafiti doğrudan siklotronun bağlantı noktalarından birine soktu; gücü cesaret edebildiği kadar artırdı ve bir ay boyunca her gece grafiti döterönlarla bombaladı. Son aşamada arka arkaya üç gece uyanık kaldı. Yetmiş iki saatlik uykusuzluktan sonra, 15 Şubat sabahı erken saatlerde yanmış grafiti kazıyarak bir şişeye aldı. Sıçan Evi'ne gitti ve numuneyi Ruben'in masasına bıraktı.

O sabah şafak vaktinde yağmur Berkeley sokaklarını döverken, mahallede devriye gezen polis Kamen'in ağır aksak yürüdüğünü fark etti. Hapisten kaçan bir mahkûm saatler önce birkaç cinayet işlemiş ve henüz yakalanmamıştı. Kıpkırmızı gözleri, tıraşsız çenesi ve dağınık kıyafetleriyle Kamen şüpheli görünüyordu. Kimyacı olduğunu ve saatlerce "siklotron" adı verilen bir şeyle çalıştığını iddia etti. Ama polisler onu içeri aldı. O korkunç olaydan sağ kurtulan şoktaki bir kişiye teşhis etmesi için Kamen'i gösterdiler; ardından da serbest bıraktılar. Kamen eve vardığı anda derin bir uykuya daldı.

On iki saat sonra uyandı ve laboratuvarda bulunan Ruben'e telefon etti. Sonunda cesaret verici bir haber gelmiş gibi görünüyordu. Ruben zayıf radyoaktif sinyaller tespit ettiğini düşünüyordu ama emin değildi. Kamen sevinç içinde laboratuvara koştu; artık tamamen uyanıktı ama üç günlük maratondan sonra o kadar radyoaktif hale gelmişti ki, Ruben onun yaklaşmasını da yardım etmesini de yasakladı. Birkaç gün içinde Ruben ve Kamen, Robert Oppenheimer'ın onlara var olmasının imkânsız olduğunu söylediği bir izotop --çok uzun ömürlü radyoaktif karbon-14 atomları– yaptıklarını doğruladılar.

Lawrence haberi duyduğunda evindeydi; yatağında soğuk algınlığını atlatmaya çalışıyordu. Ama ayağa fırladı ve mutluluktan dans etmeye başladı. Urey'in yanıldığını kanıtlamışlardı. Biyolojik araştırmalar açısından değerli olan izotoplar yaratabileceklerini göster-

mişlerdi. Lawrence, siklotronu icat etmesi ve yapay radyoaktif izotoplar yaratması dolayısıyla bir hafta sonra Nobel Ödülü alacaktı. Yeni haberle birlikte, artık daha güçlü siklotronlar inşa etme konusunda daha da sağlam bir iddiası vardı. Törende fizik bölümü başkanı kürsüden çekildi, kolunu kaldırdı ve dramatik bir şekilde Kamen ile Ruben'in yeni bir izotop bulduklarını duyurdu: karbon-14. Üstelik yarılanma ömrü karbon-11 gibi dakika mertebesinde değildi; binlerce yıldı (şu anda bildiğimiz kadarıyla 5730 yıl).*

Karbon-14, fotosentezdeki önemli kimyasal tepkime zincirini tam olarak çözmenin anahtarı olacaktı. Ama tepkime zincirinin açığa çıkarılmasından önce Kamen ve Ruben, iki diğer meslektaşlarıyla birlikte bulmacanın küçük ama önemli bir bölümünü çözdü. Radyoaktif oksijen-18 kullanarak, fotosentezde şeker ($C_6H_{12}O_6$) yapmak için kullanılan oksijenin kaynağını sonunda keşfettiler. Oksijen çoğu kişinin sandığının aksine sudan değil karbondioksitten geliyordu. Bunu nasıl gerçekleştiği ise gizemini korudu. Ama artık bitkilerin suyu ayrıştırırken sadece hidrojenle ilgilendiği biliniyordu. Soluduğumuz oksijen mi? Bitkiler için oksijen sadece atık maddeydi.

Kamen ve Ruben, oksijen moleküllerimizin bize ulaşmak için katetmesi gereken yolun bir kısmını keşfetmişlerdi. Bu keşif sürecinde, van Helmont'un hatalı olduğunu da anladılar. Bir bitkinin kuru kütlesinin büyük bölümü ne sudan ne de topraktan geliyordu; kaynak havaydı. Bir ağacı kurutursanız, kalan kütlesinin yüzde 50'si karbon, yüzde 44'ü oksijendir.[32] Yani kuru kütlesinin neredeyse tamamı (yüzde 94) atmosferdeki karbondioksitten gelmiş durumdadır. Bizler de farklı değiliz. Vücudumuzun kuru kütlesinin yaklaşık yüzde 83'ü karbondioksit moleküllerinden geliyor.[33] O moleküller bir zamanlar havada dolaşıyordu; sonra bitkiler onları yakalayıp yediğimiz organik moleküllerin yapımında kullandı. Kütlemizin yüzde 10'luk bir diğer bölümü de fotosentez yapan bitkilerin sudan aldığı hidrojendir. Ayrıca soluduğumuz tüm oksijen molekülleri, bitkiler onları atmos-

* Birkaç yıl sonra, kozmik ışınların atmosferdeki atomlara çarpmasıyla oluşan, nadir, doğal karbon-14 izotopları keşfedildi. Atmosferdeki karbon-14, organik maddelerin tarihlendirilmesinde devrim yarattı ve arkeologlar, antropologlar, jeologlar ve pek çok başka biliminsanı için inanılmaz güçlü yeni bir araç oldu.

fere salmadan önce, bir zamanlar su moleküllerinin içindeydi.

İkisi de sadece yirmi altı yaşında olan Kamen ve Ruben çok iyi bir noktadaydı. Fotosentezin önemli bir gizemini çözmüşlerdi. Dünyadaki tek karbon-14 kaynağı ellerindeyken, "büyük problem"in geri kalanını da artık çözebilirlerdi. Sudan ve havadan şeker oluşturan, uzun süredir saklı kalmış kimyasal tepkimeleri sonunda belirleyebilirlerdi.

En azından öyle umuyorlardı. Fakat 7 Aralık 1941'de, keşiflerinin meyvelerini tam toplamak üzerelerken her şey altüst oldu. Japonlar Pearl Harbor'a saldırdı. Radyasyon Laboratuvarı'ndaki askeri olmayan tüm çalışmalar ânında durduruldu. Lawrence ilk atom bombası için uranyum-235 üretme planları hazırlayacak ve izotopun üretimini denetleyecek, Kamen de ona yardım edecekti. Ruben ise kimyasal savaş araştırmaları yürütecekti, ama bu görev onu felakete sürükledi.

Savaş devam ederken, kimyasal silahların Müttefik Devletler için hayat kurtarıcı olup olmayacağına ilişkin tartışmalar da büyüdü. Kumandanlar asker gönderecekleri kıyılara önce zehirli gaz atıp, düşman birliklerinden arındırmayı düşünüyordu. Bu iş için en iyi aday, Birinci Dünya Savaşı'ndaki zehirli gaz ölümlerinin yüzde 80'inden fazlasının (75 bin kişinin ölümünün) sorumlusu olan fosgendi. Bunun için ordu, fosgenin yayılmasının ne kadar süre alacağını bilmek istiyordu. Böylece kıyı çıkartmalarında kullanıma uygun olup olmadığını belirleyebileceklerdi. Ruben de bu araştırma kapsamında yapılan denemelerin yönetilmesinden sorumluydu.

Ruben denemeleri bir an önce bitirip fotosentez çalışmalarına dönmek için sabırsızlanıyordu. Ekim 1943'te birkaç gün boyunca aralıksız çalıştıktan sonra öylesine yorgun düşmüştü ki, arabasıyla eve giderken direksiyon başında uyuyakalıp kaza yaptı.[34] Şans eseri sadece elinin kırılmasıyla atlattı. Ertesi sabah sağ kolu alçıya alınmış şekilde yine laboratuvardaydı. Tuttuğu bir fosgen gazı şişeciğinin camı bir anda çatladı. Belki kap sağlam değildi, belki de Ruben buzlu suda soğutma için beklemek yerine sıvı azot kullanmıştı.[35] Sebep ne olursa olsun, yoğun bir fosgen bulutu etrafa yayıldı. Ruben ile iki asistan öğrencisi koşarak çıkıp çimlere yattı; gaza karşı yapabilecekleri en iyi savunma buydu. Asistanlar sağ kurtuldu ama Ruben için

artık çok geçti. İki gün sonra vefat ettiğinde, henüz yirmi dokuz yaşındaydı.

Kederli Kamen'in kendi hayatında da çok geçmeden dertli günler başladı. Evliliği kısa süre önce bitmiş ve çoğu solcu olan yeni arkadaşlarıyla daha fazla zaman geçirmeye başlamıştı. Ayrıca yakın arkadaşı olan Manhattan Projesi direktörü Robert Oppenheimer'ın Rus sempatizanı olduğundan şüpheleniliyordu. Bunlar da Kamen'in FBI ve ordunun casusluk önleme birimi tarafından takibe alınmasına yetti. Oppenheimer'ın veya tanıdıklarının, atom bombasının sırlarını sızdırmasından korkuyorlardı.[36] 1944'te keman sanatçısı Isaac Stern, Kamen'i San Francisco'da Rus konsolos yardımcısıyla tanıştırdı; konsolos yardımcısı da Kamen'den kendisini Lawrence'ın kardeşiyle tanıştırmasını istedi; lösemi tedavisiyle ilgili danışmak istedikleri vardı. Sonrasında konsolos yardımcısı teşekkür amacıyla Kamen'i yemeğe götürdü. FBI ve ordunun casusluk önleme birimi Kamen'i takibe almıştı; dolayısıyla o yemek, yangına körükle gitmek gibi oldu.[37] Kontrol noktaları ve koruma görevlileri yerleştirilen Radyasyon Laboratuvarı, o sıralar Manhattan Projesi'nin yüksek gizlilikli birimlerinden biriydi; düşman ajanları ve konuşurken temkini elden bırakmama konusunda sürekli uyarı yapılıyordu. Yetkililer, sosyalleşme meraklısı Kamen'in solcu arkadaşlarıyla konuşurken gizli bilgileri ağzından kaçırmasından korkuyordu. General Leslie Groves'un emriyle, Lawrence derhal Kamen'i askeri çalışmalardan ve Radyasyon Laboratuvarı'ndan uzaklaştırdı.

Kamen perişan oldu. Adı lekelenmişti ve topluluktan dışlanmıştı. Neyse ki Oakland tersanesinde denetmen olarak iş bulmayı başardı. Sonradan da Berkeley'deki başka bir bölümde araştırmalarına geri döndü. Başka üniversitelerde radyoaktif izotoplarla çalışarak saygın bir kariyere devam etti. Ama fotosentez konusunda çalışmayı sürdürme ve Ruben'le birlikte uzun süre hayalini kurdukları çığır açıcı keşifleri yapma şansını yitirmişti.*

* Kamen daha sonra Amerikan Karşıtı Faaliyetler Komitesi huzuruna çıkarılacak ve FBI'ın casuslık suçlamalarını inkâr edecek, adı nihayet yıllar sonra temize çıkacaktı.

O arada Berkeley'nin Radyasyon Laboratuvarı'nda başka iki kimyacı, Melvin Calvin ve Andrew Benson, apar topar fotosentez araştırmasının başına geçti. Calvin otuz dört yaşındaydı ve kimya bölümünde yıldızı parlayan enerjik biriydi. Kamen gibi o da babasının – Detroit'te araba tamircisiydi– geçimlerini sağlamakta güçlük çektiğine tanık olmuştu. Sağlam bir iş sahibi olmak istemiş ve kimya bunu sağlayabilir gibi görünmüştü. Keskin zekâsı ve şen şakrak tavırlarıyla hayranlık uyandıran Calvin, fakülte kulübünde öğle yemeği yerken kimyacıların masasına oturmak yerine fizikçilerin masasına oturduğundan Lawrence'la tanışıklığı vardı.[38]

Ağustos 1945'in ortalarında, Japon imparatorunun teslimiyet beyanından sadece birkaç gün sonra, Lawrence biliminsanlarının savaş konusunda yeterince çalıştığına karar verdi. Fakülte kulübünün önünde Calvin'e yaklaşıp, "Bunları bırakma zamanı. Yararlı bir şeyler yapma zamanı," dedi.[39] "Haydi şu radyokarbonla bir şeyler yap."

Calvin bir anda, iki ekip oluşturabilecek miktarda finansmana sahip durumda buldu kendini. Ekiplerden biri radyoaktif elementlerin tıpta nasıl kullanılabileceğini araştıracaktı. Diğeriyse Kamen ve Ruben'in fotosentezi çözmek için öncülük ettiği tekniklerden yararlanmaya çalışacaktı. Calvin, yardımcı olması için genç organik kimyacı Andrew Benson'ı işe aldı. Becerikli bir deneyci olan Benson, savaştan önce Ruben ve Kamen'e asistanlık yapmıştı ve onların tekniklerine zaten aşinaydı. Lawrence atıl durumdaki 94 santimetrelik siklotronu barındıran eski binayı kullanabileceklerini söylemişti. Calvin, Benson'dan orada yeni bir laboratuvar tasarlayıp kurmasını istedi. Calvin kaptan, Benson ise ikinci kaptan olacaktı.

Calvin fotosentezin gizemini çözen kişinin Nobel Ödülü kazanma şansının yüksek olduğunu seziyordu. Ama onun düşüncesine göre, bu çözümün getireceği daha önemli sonuçlar vardı. Bitkilerin nasıl yiyecek ürettiğini keşfedebilirsek, sınırsız yapay gıda üretmemizin ve dünyadaki açlığı ortadan kaldırmamızın mümkün olacağını düşünüyordu.[40] Dahası, eğer fotosentezde enerjinin nasıl kullanıldığını öğrenebilirsek, dünyanın enerji sorununu çözmek için bu süreci tekrarlayabilirdik.[41] Calvin, fotosentez mekanizmaları ortaya çıkarıldığı anda bu ilerlemelerin sadece zaman meselesi olacağına inanıyordu.

Yeni laboratuvarda araştırmaları birlikte yürüten Benson, James Bassham ve Calvin'in diğer genç çalışanları, bitkiler yerine algleri kullanarak işleri basitleştirebileceklerini fark ettiler. Benson'ın tasarımı olan ve lolipop adını verdikleri ustaca tasarlanmış dairesel düz cam kaplarda algleri kolaylıkla yetiştirip üzerlerinde çalışabiliyorlardı. Daha da önemlisi, Benson kâğıt kromatografisi adlı yeni icat edilmiş aracı geliştirmenin bir yolunu bulmuştu; işi büyük ölçüde hızlandıracak bu araç Kamen ile Ruben'de yoktu. Alglere radyoaktif karbon-14 verdikten sonra onları öğütüp, bulamaçtan küçük bir damlayı kâğıt üzerine koyuyorlardı. Çözücüler eklenince bileşikler kâğıdın farklı alanlarına gidiyor ve böylece kendi kendilerine sıralanmış oluyorlardı. Benson işlerini daha da kolaylaştıracak bir şey fark etti: Kâğıt tabakasına fotoğraf filmi tutarlarsa, radyoaktif karbon içeren bileşikler kendilerini koyu renk noktalar olarak belli ediyordu; bu sayede ayrıntılı tespit için konumlar belirmiş oluyordu.[42]

Dedektifler artık bir dizi şüpheliyi saptamış durumdaydı ama şüphelilerin kimyasal kimlikleri hâlâ eksikti. Kimlik tespiti kolay olmadı. Bileşikleri yalıtıp tanımlamaya çalışırken, bir yandan da tekniklerindeki hataları gidermeye uğraşıyorlardı. Her gün sabah saat sekizde, daima şık bir takım elbise giyen Calvin, etrafta dolaşıp "Yeni ne var?" diye soruyor ve fikirleri dinliyordu.[43] Karbondioksitin şekere dönüştürülmesinde rol oynayan karbonlu moleküllerin listesi, uzun süre boyunca sinir bozucu bir şekilde değişip durdu. Ekip tekniklerini geliştirdikçe bazı moleküller yok oldu. Daha sonra, yakındaki bir siklotrondan gelen radyasyonun neredeyse bir yıl boyunca ölçümleri bozduğunu buldular. Tespit ettikleri moleküllerin uzun listesinden bir anlam çıkarmak çok zordu. $C_3H_6O_4$, $C_3H_8O_{10}P_2$ ve $C_5H_{12}O_{11}P_2$ gibi molekülleri tanımlamak, o moleküllerin hangi tepkimelerden çıktığı veya oluşum sıralamaları hakkında çok az şey anlatıyordu. Laboratuvardaki ekip yine de heyecanlıydı. Hem denetim yapan hem de bulguları yorumlayan Calvin sözcü, fikir adamı ve karar vericiydi; laboratuvara para, personel ve iş ortağı buluyordu. Benson ise laboratuvar tekniklerini geliştirdi ve birçok önemli keşifte bulundu.

Ama anlaşmazlıklar da oluyordu. Bir meslektaşı, Calvin'in sürekli devrim niteliğinde olacağından emin olduğu parlak fikirlerle çıka-

geldiğini anlatacaktı sonradan: "Yeni bir fikirle laboratuvara dalıverirdi ve bizim de durup dinlememiz gerekirdi. ... Tüm bunları dinleyen Andy [Benson] o gittikten sonra, 'Yeni kuramı buymuş, öyle mi? Safi saçmalık, öyle bir şey yapılamaz,' deyip nedenini açıklardı. Andy bir şeyin neden işlemeyeceğini görebiliyordu ve iki gün sonra yeni bir fikir dalgasının daha geleceğini de çok iyi biliyordu..."[44]

Bu gerilim tırmanacaktı.

1954 yılında ekip dönüm noktası niteliğinde bir makale yayımladı. Bu çalışmada karbondioksiti, bizi oluşturan ve besleyen şekere dönüştüren aşırı karmaşık tepkime döngüsü ortaya kondu: Calvin döngüsü veya bugün daha yaygın kullanılan adıyla Calvin-Benson döngüsü. Ekip on yıl önce araştırmalarına başladığında, insan vücudundaki her bir karbon atomunun, bitkilerce havadan alınıp fotosentez sürecine girdiğinde neler atlatacağını asla hayal edemezdi. Sürecin ilk adımında, beş karbonlu bir moleküle bir karbondioksit molekülü (CO_2) eklenerek, kararsız olan altı karbonlu bir molekül oluşturulur ve bu molekül de kısa sürede her biri üç karbonlu iki moleküle ayrılır. Bu sadece başlangıçtır. Döngü devam ettikçe bunlar hızla dört, beş, altı ve yedi karbonlu ara zincirlere dönüşür. Çok sayıda döngüden sonra glikoz ($C_6H_{12}O_6$) nihayet ortaya çıkar.

Bu önemli makalenin yayımlandığı yıl içinde, Calvin ile Benson arasındaki gerilim sonunda doruk noktasına ulaştı. İlk başlarda Calvin, Benson'ın araştırmasına tamamen dalmış durumdaydı. Ama Calvin-Benson döngüsünün ayrıntıları belirginleşmeye başladıkça, Calvin başka bir probleme yöneldi. Işığın fotosenteze güç vermesini sağlayan kimyasal tepkimeleri çözmek istiyordu. Calvin bilgiye dayalı tahminlerde bulunmasıyla ve henüz destekleyecek yeterli veri yokken bile yaratıcı kuramlar ortaya atmasıyla övünürdü. Bir meslektaşı, "Başka kimsenin aklına bile gelmeyecek yorumlar yapabiliyordu," diye anlatacaktı daha sonra.[45]

Yanlış yapmak Calvin'i asla utandırmazdı çünkü eninde sonunda başka bir atılım yapacağından emindi. Şimdiyse inşa ettiği zarif kimyasal model o kadar doğru görünüyordu ki, seçkin bir biyokimyacı Calvin'i dinledikten sonra gözlerinde yaşlarla ayağa fırlamıştı.[46] Calvin'in tahmin yapma konusundaki hevesi başka birçok durumda işe

yaramıştı ama bu sefer öyle olmadı. Tam tersine, iki yıl boyunca onu boşa kürek çekmeye itti.

Aklındaki kuramın peşine düşen Calvin, Benson'ı kontrol etmeyi bıraktı. Benson da başka bir önemli soruyu çözmek için bir meslektaşıyla birlikte çalıştığını Calvin'e söyleme zahmetine girmedi.[47] Aylarca süren çalışmanın ardından, fotosentezin merkezindeki büyük enzimi tanımlamanın heyecanını yaşadılar. Bu enzimin pek zarif olmayan ismi –ribuloz-1,5-bisfosfat karboksilaz oksijenaz– neyse ki daha sonra Rubisko olarak kısaltıldı. Rubisko, çoğu bitkide ve algde glikoz yapımının başlaması için karbondioksit yakalayan ilk moleküldür. Benson, Rubisko'nun salata yeşilliklerimiz de dahil olmak üzere, bitkilerin yapraklarında en bol bulunan protein olduğunu görünce hayrete düştü. Rubisko, Dünya üzerindeki her bitkideki her kloroplastın merkezinde yer alıyordu. Vücudumuzdaki her bir karbon atomu, karbondioksiti şekere dönüştürme sürecini başlatan bu büyük enzim tarafından yakalanmıştı.

Calvin, belki de kendini tehdit altında ve güvencesiz hissettiğinden ve elbette Benson'ın kendisini bu araştırmadan haberdar etmeyişine kızgınlığından, artık onunla birlikte çalışmaya dayanamıyordu. Benson'a kısaca "Gitme zamanı," dedi.[48] Bu iki sözcükle, Benson kovulmuştu. Sekiz yıl sonra Calvin hakkı olan Nobel Ödülü'nü aldı, ama meslektaşlarının çoğu Benson'ın da kürsüde onun yanında bulunması gerektiğini düşünüyordu. Benson biyokimya alanında başarılı bir kariyer sürdürdü fakat bir biliminsanının alabileceği en yüksek onuru kaybetmenin acısını üstünden atamadı. Calvin ödülü alırken yaptığı konuşmada Benson'dan çok az söz etti. Calvin'in otuz yılı aşkın süre sonra yayımlanan otobiyografisinde ise, araştırmasını anlattığı bölümde Benson'ın adı bir kez bile geçmiyordu.

O zamandan beri araştırmacılar fotosentezin birçok başka yönünü ortaya çıkardı. Sürecin, Calvin ya da Benson'ın hayal ettiğinden çok daha karmaşık olduğu anlaşıldı. Zaten nasıl karmaşık olmasın ki? Sonuçta fotosentez sürecinde, hiçbir tadı olmayan hava ve su, enerji depolayan ve yaşamın yapıtaşlarını oluşturmak için kullanılabilen tatlı

moleküllere dönüştürülür.* Calvin-Benson döngüsü sürecin sadece bir kısmıdır. Biyokimyacılar tüm bu çılgın olayın, eğreti bir Zihni Sinir projesi gibi olduğunu keşfettiler. İşlem iki farklı aşamada gerçekleşir. İlk aşamada ışık ışınları, özel bir zara gömülü durumdaki klorofilde bulunan elektronları uyarır (enerjilerini yükseltir). Bu uyarılmış elektronlar bir dizi molekül boyunca ilerler ve onların enerjisini yavaş yavaş kullanan moleküller suyu parçalar (hidrojeni ve fazla oksijeni serbest bırakır). Sonra başka bir ışık ışınından gelen bir enerji darbesiyle, ATP ve NAHDP adı verilen molekülleri üretirler.[49] Bu moleküller zardan çıkıp sürecin ikinci kısmına yani Rubisko'nun başlattığı Calvin-Benson döngüsüne yakıt sağlar, böylece karbondioksit ve hidrojen şekere dönüşür.

Tüm bu süreç çok fazla sayıda tepkime gerektirir çünkü teknik tabirle "enerji açısından zor"dur; başka bir deyişle, kimyasal olarak gerçekten ama gerçekten çok güçtür. İlk kısım yani suyun parçalanması zordur çünkü oksijenle hidrojen arasındaki bağlar son derece güçlüdür. Suyu 1650°C'ye kadar ısıtmak bile bağların sadece küçük bir yüzdesini koparır. Fotosentezin sudan hidrojen almak için karmaşık bir dizi kimyasal tepkime bulması gerekir. Fotosentezin ikinci kısmı olan karbondioksitin diğer moleküllerle birleşmeye zorlanması da çocuk oyuncağı değildir.

Süreci bilgisayarda simüle etmek için tepkimeleri parçalara ayıran bitkibilimci Stephen Long, fotosentezin bu numaraları başarmanın yollarını bulduğunu ama nasıl saydığınıza bağlı olarak 160'tan fazla adım gerektiğini söylüyor.[50]

Tüm bu süreç hem hantal hem de verimsizdir. Karbondioksiti ilk yakalayan enzim olan Rubisko'nun ıskalama oranı yüzde 30 civarındadır; çünkü sık sık ona benzer şekilli bir oksijen molekülü yakalar yanlışlıkla. Ayrıca diğer enzimlerin çoğundan yüz kat daha yavaş iş yapan tembel bir enzimdir.[51] "Rubisko sersem bir enzim, kötü bir enzim. Doğanın onu neden icat ettiğini hiç bilmiyorum. Tanrı başka tarafa bakarken oldu herhalde," diyor biyokimyacı Govindjee.[52] Ardın-

* Şekerin insan için "tatlı" olması, insan dilindeki reseptörler ve ilgili kimyasalın beyinde yorumlanmasıyla ilgilidir. –*ç.n.*

dan Rubisko'nun bu kadar düşük performans gösterme nedeninin, atmosferimizde oksijenin olmadığı, sadece çok fazla karbondioksitin olduğu bir dönemde ortaya çıkması olduğunu belirtiyor. O zamanlar harika iş görüyordu; şimdiyse atmosferimizde bolca oksijen ve çok daha az karbondioksit olduğundan, Rubisko tekleyerek çalışıyor. Ama bu haliyle bile dünyadaki en yaygın proteinlerden biri olacak kadar iyi. Dünyadaki bütün Rubisko'ları toplasak yaklaşık 700 milyon ton ederdi; yani yaklaşık 120 milyon –dünyayı çevreleyecek sayıdan fazla– Afrika fili kadar.[53]

Bu arada, Calvin'in dünyadaki açlığı ve enerji krizini çözmek için fotosentezi taklit etme hayali ölmedi. Bitkibilimciler fotosentezi yeniden yaratmaya çalışmıyorlar ama ürün verimini artırmak için ince ayar yapıyorlar. Bitkilerin daha fazla ışık absorbe etmesini sağlamak ve Rubisko'nun daha güvenilir çalışmasına yardımcı olmak için genlerde değişiklik yapıyorlar. Calvin, sınırsız hidrojen yakıtı elde etmek için suyu ışık kullanarak ayrıştıran yapay bir fotosentez cihazı icat etmenin ilerleyen yıllarda mümkün olacağını da umuyordu.[54] Araştırmacılar hâlâ bu fikrin peşindeler.[55] Ama Calvin'in hayalinin gerçekleşmesi, sandığından daha uzun zaman alıyor.

Fotosentez devreye girdiği anda, hayat artık sadece Dünya'nın yüzeyinden toplayabileceği kimyasal enerjiye bağımlı olmaktan çıktı. 150 milyon kilometre uzaktaki Güneş'te hidrojenin füzyonla helyuma dönüşme süreci artık çok daha büyük bir enerji kaynağıydı. Var olduğumuz süre boyunca harcadığımız enerjinin tamamı, bir zamanlar yıldızımızdan ışık olarak yayılmış ve bitkiler tarafından besinlerimizdeki kimyasal bağlarda depolanmıştır. Fotosentez olmasaydı, kıtalarımız Mars gibi kayalık ve tozlu görünürdü, yemyeşil değil. Bu işleyişin ne kadar harikulade olduğunu takdir etmek için New Age felsefesine gerek yok. Ama şayet o tarafa kaymak isterseniz, fotosentezi "kozmik enerjinin dönüşüm alanı" olarak gören vizyoner Rus jeokimyacı Vladimir Vernadski'nin yaklaşımı hoşunuza gidebilir.[56]

Gördüğümüz gibi, kuru kütle bakımından yaklaşık olarak bir bitkinin yüzde 90'ı ve bir hayvanın yüzde 83'ü karbondioksit kaynaklı-

dır. Yani son tahlilde tüm gıdalar, pamuklu giysiler, ağaçlar ve bütün arkadaşlarınız büyük ölçüde havadan emilir ve Güneş'ten gelen enerji sayesinde vücut bulur. Şimdiye kadar tanıştığınız, konuştuğunuz, sevdiğiniz kişilerin ve dallarına tırmandığınız ağaçların gövdeleri fotosentez sayesinde oluşmuştur.

Bu süreç enerjimizin de kaynağıdır. Fotosentezde, güneş enerjisi kullanılarak karbondioksit ile sudan şeker üretilir (ve atık olarak oksijen salınır). Biz de süreci tersine çevririz; şeker ve oksijen yakıp (ve atık olarak karbondioksit ile su salıp) enerji üretiriz. Fotosentezin moleküllere depoladığı enerjiyi serbest bırakarak düşünürüz, çalgı çalarız, dans ederiz. Aldığımız her nefes ve attığımız her adım fotosentezin sağladığı güç sayesindedir.

Peki kozmik enerjiyi canlılara dönüştüren bu süreç gezegenimizde ilk kez ne zaman ortaya çıktı? Fotosentezin ilk olarak bitkilerde evrildiğini düşünebilirsiniz ama öyle olmadı; milyarlarca yıl önce, gezegenimizde sadece bakteriler ve diğer mikroorganizmalar varken ortaya çıktı. Bu çılgın kimyasal tepkime sahneye çıktığında her şey değişecekti. Gezegenimize o zamana kadar yaşadığı en büyük şoklardan bazılarını yaşatacaktı. Bitkilerin ve bizim ortaya çıkmamızı mümkün kılmadan önce, fotosentez neredeyse tüm canlılığı bitirecekti.

9

Şans Yaver Gidince

Okyanus Köpüğünden Yeşil Gezegene

Gezegenimizi bugün fotosentez yönetiyor.[1]

Stepko Golubic

DÖRT MİLYAR YIL ÖNCE Dünya'daki kıtaların feci çorak bir görünümü vardı: siyah, kahverengi, gri kayalardan ibaret kara parçaları. Yanardağlar, o zamanlar oksijensiz olan atmosfere zehirli gazlar saçıyordu. Eğer zaman makinesine binip oraya gidebilseydiniz, ânında boğulurdunuz. Dünya'da canlı olarak sadece bu cümlenin sonundaki noktadan çok daha küçük olan bakteriler ve başka bazı tekhücreli organizmalar vardı. Ama o tarihten birkaç milyar yıl sonrasına, yani günümüzden sadece 350 milyon yıl öncesine gitseydiniz, oksijen düzeyinin bugün alışık olduğumuz yüzde 21'lik rahatlatıcı orana yaklaştığını görürdünüz. O dönemde okyanuslar iri canlılarla doluydu. Bitkiler kıtalara yayılmış ve moleküllerimizin bize ulaşmasını sağlayacak yollar ortaya çıkmıştı. Acaba Dünya'yı o denli yaşanmaz durumdaki çorak bir araziden, mavi-yeşil bir vahaya böylesine çarpıcı bir şekilde dönüştüren neydi?

Bu dönüşümde rol oynayan onca etken arasında fotosentez aslan payını hak ediyor. Fotosentezin sanki güçlü bir jeolojik kuvvetmişçesine, pek çok tuhaf ve beklenmedik yolla gezegenimizi nasıl yeni baştan şekillendirdiğini ancak 1960'larda anlamaya başladık. Etkileri gerçekten olağanüstüydü. Ayrıca bu dönüşüm sürecinde fotosentez, etkilerinin bir zamanlar nükleer soykırım kadar şiddetli olduğu dü-

şünülen geniş çaplı kitlesel bir yokoluşa neden olmuş olabilir.[2] Ne de olsa gezegenimizi devasa bir kartopuna çevirmişti. Bazı "olanaksız" evrimsel kısayollara yardım ve yataklık etmişti; böylece canlı çeşitliliği artmış, nihayetinde de bitkilerin ve bizim evrilmemiz mümkün olmuştu. Peki biliminsanları çok uzun süre önce gerçekleşmiş bu muazzam olayları nasıl bilebiliyor? Ayrıca fotosentez nasıl o kadar büyük bir tahribat yarattı?

Fotosentezin ne kadar eskiye dayandığına ilişkin ilk ipucu 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıktı. O zamanlar hiç kimse, günümüzden yaklaşık 540 milyon yıl önce başlayan Kambriyen Dönem'den daha eski zamandan kalma herhangi bir canlılık kanıtı bulabilmiş değildi.[3] Ama 1882 kışında, Charles Walcott adında bir kaya âşığı Büyük Kanyon'un derinliklerinde bu durumu değiştirdi.

Sonradan Smithsonian Enstitüsü'nün yöneticisi olacak olan Walcott, fosil cennetinde büyümüştü. New York eyaletinin Utica şehrinde geçirdiği çocukluğu boyunca, ebeveyninin çiftliğinde ve yakınlardaki bir taş ocağında fosil toplamıştı. On sekiz yaşındayken okulu bırakıp bir hırdavatçıda tezgâhtarlığa başladı; ama fosil tutkusunu ders kitapları okuyarak, fosiller üzerine bilimsel makaleler yazarak ve ünlü jeologlarla yazışarak besledi. Ayrıca trilobit adı verilen kadim deniz canlılarının dünyadaki en iyi koleksiyonlarından birini toplamayı başardı ve koleksiyonu Harvard'a sattı.

Walcott'ın araştırmacılık merakı, sonunda ona yeni kurulan ABD Jeolojik Araştırma Kurumu'nda bir pozisyon kazandırdı. Kasım 1882'de kurumun müdürü –kâşif John Wesley Powell– Walcott'tan Büyük Kanyon'un o zamana kadar erişilememiş derinliklerini araştırmasını istedi. Daha önce Powell sadece bir kere, o da küçük bir ahşap tekneyle kanyondan geçerken, en alt seviyedeki kayalara şöyle bir bakma fırsatı bulmuştu. Bu defa kanyonun tepesinden bir kilometre aşağıdaki daha ılıman bölgelere uzanan, atların geçebileceği sarp bir patikanın açılmasına yönelik çalışmalara nezaret etti, zaman zaman "donmuş sisin ve kar girdaplarının" ortasında kamp yaptı.[4] Sonra da otuz üç yaşındaki Walcott'ı üç kişilik bir ekip, üç ay yetecek yiyecek ve eyerlenip yüklenmiş dokuz katırla birlikte, o taşlı topraklı patikadan aşağı gönderdi.[5]

Powell ona şöyle dedi: "Yukarıdaki platoya o kadar çok kar yağacak ki, bahara kadar kanyondan çıkamayacaksınız. O arada stratigrafik dizilimi çözmeni ve toplayabildiğin kadar fosil toplamanı istiyorum. Şansın açık olsun!"[6]

Walcott bunu bulunmaz bir fırsat olarak gördü. Bilinen en eski fosillerden bazılarını, yani tuhaf kabuklulara benzeyen trilobitleri zaten bulmuştu. Ayrıca o tarihten sadece kırk yıl önce *Türlerin Kökeni* yayımlandığı sırada, henüz hiç ilkel hayvan, bitki ya da bakteri fosili bulunmamış olmasının Darwin'i ağır bir utanca sürüklediğini biliyordu. Darwin'i eleştirenler, bu durumu tüm türlerin ilahi yaratımının kanıtı olarak kabul ediyordu. Kuşkucular Darwin'den bir zamanlar daha basit canlıların yaşadığı varsayımına ilişkin kanıt istediğinde, Darwin'in tek söyleyebildiği fosilleşmenin nadiren gerçekleştiği, organizmaların çok küçük olması gerektiği ve günün birinde kanıtların belirmesini umduğuydu.

Walcott, Darwin'in nasıl güç bir durumda kaldığının gayet iyi farkındaydı. Bu yüzden, sarp patikadan aşağıya doğru, büyük bölümünde canlı barındırmayan Büyük Kanyon'a inerken gözünü dört açmıştı. Walcott her yanın "kaya-kaya-kaya" olduğu bu ıssız, kırmızımsı renkli kanyonlar ve uçurumlar dünyasını seviyordu;[7] ama yol arkadaşları –bir fosil avcısı, bir aşçı ve bir hayvan bakıcısı– bazen onun bu coşkusunu paylaşmayabiliyordu. 250 metrelik kayalıklar boyunca ağır ağır ilerliyorlardı. Geçtikleri yolun bir kısmı olan Nankoweap Patikası, bugün Büyük Kanyon'daki en tehlikeli yol kabul ediliyor. Çağlayan nehrin kıyıları o kadar sarptı ki geçmek mümkün değildi; bu yüzden en derindeki kayalara ulaşmak için bazen kendilerine yol açmak zorunda kalıyorlardı. Bu arada katırlardan biri ölmüş, ikisi de ağır yaralanmıştı. Walcott'ın kalemindeki mürekkebin donduğu bile olmuştu. Ateş yakıp etrafına yığdıkları buzları eriterek hayvanlara su içiriyorlardı.[8] Her şey bir yana, ortam sessiz ve ıssızdı. Bu da Walcott'ın fosil toplayan yol arkadaşının üç hafta sonra ciddi depresyona girip ayrılmak zorunda kalmasına yetti. Walcott ise orada olmaktan dolayı coşkuluydu. Yetmiş iki günden önce de dönmeyecekti.

Bir gün tırmanmakta oldukları bazı kayaların üzerindeki çizgisel katmanlar dikkatini çekti. Ortadan ikiye ayrılmış lahanaya benzer bir

görünümleri vardı. Öylesine alışılmışın dışında bir desen sergiliyorlardı ki, Walcott onları ancak canlıların meydana getirebileceğini düşündü; sonradan bu katmanların siyanobakteri (o zamanlar alg olarak biliniyordu) kaynaklı olduğunu ileri sürecekti.[9] Desene baktığında, New York Eyaleti'nde görmüş olduğu benzer fosiller aklına gelmişti. Onlar Kambriyen Dönem'den kalmaydı ve *Cryptozoön* olarak adlandırılmıştı, yani "gizli canlılar". Ama Büyük Kanyon'daki bu belirgin fosiller daha eski kayaların içinde yer alıyordu; bu da onların o zamana dek bulunanların hepsinden daha eski olduğu anlamına geliyordu.

Walcott sonradan Montana ve başka yerlerde de *Cryptozoön* keşfetti. Ayrıca Prekambriyen (Kambriyen öncesi) kayalarda fosile benzer olağandışı desenler bulan başka paleontologlar da oldu.[10] En ilkel yaşam formlarına ilişkin kanıtların, Kambriyen Dönem'den daha eski kayalarda bulunması muhtemel görünüyordu. Fakat kuşkucuların sayısı da artıyordu; özellikle de uzun süre tartışılmış bir fosilin, basınç ve ısı etkisiyle volkanik kireçtaşında oluşan farklı bir mineral birikimi olduğu netleştiğinden beri.[11]

Walcott'ın ölümünden dört yıl sonra, 1930'larda, zamanın en sözü geçen paleobotanikçisi olan Cambridge Üniversitesi'nden Albert Charles Seward konuya el atmaya karar verdi. Paleobiyolog William Schopf'un ifadesiyle, Seward zaferin kıyısındayken hezimetin içine düştü.[12] Prekambriyen fosil kanıtlarını derinlemesine inceleyen Seward, hepsinin geçersiz olduğu sonucuna vararak "*Cryptozoön* tartışması"nı başlattı. Fosil sanılan buluntuların herhangi bir canlı türüyle belirgin bir ilişkisinin bulunmadığını, büyük boyutlu yapıların daha küçük hücrelerden oluştuğuna ilişkin herhangi bir kanıt da olmadığını kaydetti. Walcott'ın *Cryptozoön*'ündeki halkalı desenleri, okyanus tabanındaki kalsiyum zengini çamur birikintilerinin de oluşturmuş olabileceğini ileri sürdü.[13] Üstelik bakteriler kadar küçük canlıların fosillerde korunmasını asla bekleyemeyeceğimizi belirtti.[14] Sert bir uyarıda bulunan Seward, biliminsanlarını o kadar eski fosiller bulduğunu iddia eden aşırı hevesli araştırmacılara karşı dikkatli olmaya çağırdı.

Böylesine önemli birinden gelen bu uyarı, jeologları yarım milyar

yıldan eski kayalarda fosil arama zahmetine bile girmemeye sevk etti. Oralarda bir şey bulmak olanaksız görünüyordu. Çoğu kişi için bu yaklaşım, canlılığın gezegenimizde pek de erken başlamadığı inancına dönüştü. Dünya'nın ilk dört milyar yılı boyunca, yani ömrünün ilk yüzde 90'lık kısmında, burada hiçbir canlılık olmadığını düşünüyorlardı. Hatta mikrobiyolog Stjepko Golubic, o zamanlar birçok biliminsanının Prekambriyen Dönem terimini yaşam öncesi anlamında kullandığını söylüyor.[15] "Mevcut Araçlarımız Saptamadı, Demek ki Yok" önyargısına kapılmıştı bu biliminsanları. Ortada o zamanlara ait herhangi bir keşfin olmayışı, o zamanlarda minik bakterilerin hiç var olmadığına kesin gözüyle bakılmasına neden olmuştu.

Yirmi yıl kadar sonra, 1950'lerin ortalarında, Avustralyalı genç bir lisansüstü öğrencisi olan Brian Logan ve jeoloji profesörü Philip Playford, Avustralya'nın kuzeybatı kıyılarındaki ücra bir noktada bulunan Köpekbalığı Koyu adındaki yalıtılmış tuzlu lagünde inceleme yaptılar. Bu lagünün kumsalında gelgit zamanı sular çekilince çok acayip, rüya gibi bir görüntü açığa çıkar. Sığ turkuaz suyun içinde, boyları bir metreyi bulan yüzlerce silindirik taşsı kule gözler önüne serilir. Sanki birkaç metre aralıklı olarak etrafa yayılmış devasa bir mantar kolonisi taşlaşmış gibidir. Logan ve Playford, Tolkien öykülerinden çıkmışa benzeyen bu oluşumları incelerken, Walcott'ın *Cryptozoön*'ünü anlamanın anahtarını bulduklarını fark ettiler.[16] "Hem ölü hem de canlı olan nedir?" bilmecesinin yanıtı olabilecek canlı fosillerle karşı karşıyaydılar. Her bir oluşumun en üst kısmında, fotosentez yapan siyanobakterilerden oluşan bir örtü vardı; canlı kısım buydu. Dalgalar gelip gittikçe, sudaki tortular bu örtülere yapışıp kalıyordu.[17] Tortular, siyanobakteriler öldükten sonra da yapıştıkları yerde kalmaya devam ediyordu. Böylece üzerinde yeni bakteri örtüsü yetişen, mantar biçimli tortu kuleleri oluşuyordu. İlkel okyanuslardaki bakteriler, Walcott'ın *Cryptozoön*'ünü bu şekilde yaratmıştı. Artık bu oluşumlara Yunanca *stroma* (katman) ve *lithos* (kaya) sözcüklerinden gelen stromatolit adını veriyoruz. Günümüzde stromatolitler, Köpekbalığı Koyu gibi, başka organizmaların çoğunun hayatta kalamayacağı kadar tuzlu birkaç yerde bulunuyor sadece. Ama fosilleşmiş kadim stromatolitlere dünyanın her yanında rastlandı.

Avustralyalı jeologların yaşayan stromatolitleri bulmasıyla eşzamanlı olarak, Stanley Tyler ve Elso Barghoorn adlarında ABD'li iki jeolog, Seward'ın asla var olamayacağını iddia ettiği başka fosillerin keşfini ilan etti. Buldukları fosiller neredeyse *2 milyar* yıllık tekhücreli ve çokhücreli mikroorganizmalardı; aralarında saç teline benzeyen siyanobakteri şeritleri de vardı. Golubic şöyle diyor: "Çoğu kişi için bu şok ediciydi. Canlılığın Kambriyen'de patlama yaptığı, ondan önce hiçbir şeyin olmadığı yönünde bir varsayım vardı. Yani Kambriyen'in başlangıç olduğu varsayılıyordu." Şu anda genel kabul gören en eski fosiller ise 3,5 milyar yıl önce (Dünya'nın oluşumundan sadece 1 milyar yıl sonra) gibi inanılmaz erken bir zamanda yaşamış mikroplardan kalan stromatolitlerdir. Darwin ve Walcott bunu duysa, çok şaşırırlardı.

Acaba en eski stromatolitleri oluşturan bakteriler hangileriydi? Fotosentez yapan siyanobakterilerden mi, yoksa onların atalarından mı kalma olduklarını hiç kimse kesin olarak bilmiyor. Ama siyanobakteriler en az 2,4 milyar yıl önce okyanuslarda mevcuttu.

Siyanobakterileri büyük ihtimalle tanıyorsunuzdur zaten; göletlerin renginin o nahoş bulanık yeşile dönmesinin sorumlusu onlardır. Ama sinir bozucu küçük varlıklar olmanın çok ötesindedirler. Siyanobakteriler, gezegenimizin tarihinde en yıkıcı etkiyi yapmış olan organizmalardır. Jeolog Joe Kirschvink bir keresinde siyanobakterilerin mikrobiyal Bolşevikler olduğunu söylemişti, çünkü mevcut sistemi tamamen alaşağı etmişlerdi.[18] Bu canlıların ataları olan bakteriler sadece yiyecek mineral bulabildikleri yerlerde yaşıyordu, ama fotosentez becerisi kazanan siyanobakterilerin beslenmesi için su, hava ve güneş ışığı yeterliydi. Her yana yayılıp Dünya'yı daha önce hiçbir organizmanın yapmadığı gibi kolonize etme olanakları vardı. Bu gösterişsiz devrimciler özgürlüklerini ilan eder etmez, bitkilerin –ve insanların– ortaya çıkmasını sağlayacak kapsamlı bir değişim gerçekleştireceklerdi.

Fotosentezin gezegenimize yaptığı büyük etkiyi ilk fark eden, Preston Cloud oldu; 1,60'lık boyundan ötürü hafiften kompleksli olan bu hırslı jeolog zayıf, tezcanlı biriydi. Paleobiyolog William Schopf'un

deyimiyle "gözüpek"ti; bazıları ona "küçük general" diyordu. ABD Jeoloji Araştırmaları'nda bölüm başkanı olduğu dönemde, çalışanlarına yukarıdan bakabilmek için masasını ve sandalyesini 25 santimlik basamakların üzerine yerleştirmişti.[19] Cloud, ABD Donanması Pasifik Filosu'nda horoz sıklet boks şampiyonu olmuştu ve ekonomik buhran sırasında George Washington Üniversitesi'ndeki gece derslerinin ücretini ödeyebilmek için tam zamanlı gündüz işlerinde çalışmıştı.[20] Harvard, ABD Jeoloji Araştırmaları ve başka yerlerde bir dizi görevde bulunduktan sonra, Minnesota Üniversitesi'nde jeoloji bölümü başkanı oldu. O sırada ellili yaşlarında olan Cloud, o zamana kadar çok az kişinin düşündüğü bir şeyin ipuçlarını aramakla ilgilenmeye başlamıştı: canlılıkla Dünya gezegeninin etkileşimleri ve birbirlerini yönlendirişleri. "Canlılık ile çevreyi bir arada düşünme konusunda herkesten öndeydi. Varlıkları bir bütün olarak anlamaya çalışması övgüye değer," diyor jeobiyolog Andy Knoll.

Tyler ile Barghoorn, kadim bakterileri buldukları kayaların konumunu açıklamamıştı. (Orada daha fazla keşif yapmayı umdukları için gizli tutuyorlardı.[21]) Kayaları bulmak amacıyla Kanada'nın Ontario eyaletine giden Cloud, kaya oluşumlarının üzerinde ilerlerken neden bu kadar tuhaf göründüklerini çözmeye çalışıyordu. Devasa bir pastanın katlarıymışçasına, siyah kaya katmanlarının arasına serpiştirilmiş demir zengini kırmızı kaya şeritleri vardı. Bu şeritlerin bir zamanlar eski bir okyanus tabanında tortu olarak bulunduğu belliydi. Gayet iyi bilinen benzer oluşumlar mevcuttu. Minnesota'nın "demir yatakları" o kadar derine uzanan kırmızı yataklara sahipti ki, İkinci Dünya Savaşı'na kadar ABD'deki tüm demir üretiminin yüzde 25'i tek bir ocaktan çıkarılmıştı. Güney Afrika, Avustralya ve Grönland da dahil olmak üzere, dünya genelinde demir açısından zengin başka katmanlar olduğunu da biliyordu Cloud. Hatta yaşları konusunda tahmini bile vardı; en kalınları yaklaşık 1,8 ila 2,3 milyar yaşındaydı. Fakat anlayamadığı şey şuydu: Neden bu devasa demir birikintilerinin oluşumu dünyanın her yanındaki okyanus tabanında birdenbire başlamış ve sonra da birdenbire durmuştu?

Cloud kırmızı bantların pas olduğunu fark ettiğinde nihayet aklına bir fikir geldi. Demiri ne paslandırırdı? Oksijen.

Bu tuhaf görünüyordu. Jeologlar Dünya'nın ilk zamanlarında atmosferin oksijen içermediğini belirlemişti. Fakat Cloud'a göre bu kırmızı kayalar, Dünya'nın 2,3 milyar yıl önce ani bir dönüşüm geçirdiğinin işaretiydi. O kadar çok oksijen belirmişti ki, okyanustaki demir parçacıklarının çoğu paslanmıştı. Ardından bunlar dibe batmaya başlamış ve zamanla basınç onları tortul kayaca dönüştürmüştü.

Kısa sürede ortamın bu kadar fazla oksijenli duruma gelişi için Cloud'un düşünebildiği tek bir açıklama vardı: oksijen üreten ilk mikroorganizmaların doğuşu. "Başka ne olabilirdi ki?" diyor Cloud'u tanıyan ve Dünya'nın en eski fosillerinden bazılarını keşfetmiş olan Schopf. "O kırmızı kaya yatakları *gerçekten* çok kalın," diye ekliyor; bununla, oluşumları için *muazzam* miktarda oksijen gerektiğini kastediyor. "Bildiğimiz kadarıyla bolca oksijen üreten tek kaynak da organizmalar." Cloud'a göre, okyanustaki minik fotosentezciler olan siyanobakterilerin oluşturduğu devasa yeşil örtüler atmosfere çok miktarda oksijen pompalayarak Dünya yüzeyinin paslanmasına neden olmuştu. Oksijen önce kıtaların üzerinde açıkta bulunan kayalardaki demiri paslandırmıştı; hava koşulları, yağmur ve nehirler bunları okyanusa sürüklemişti. Sonra siyanobakteriler çoğalmaya devam ettikçe, oksijen okyanuslardaki sualtı yanardağları ve bacalarında biriken büyük miktardaki demiri de paslandırmıştı.* Sonunda, Dünya'daki açıkta kalan tüm demir pasa dönüştüğünde, atmosferdeki oksijen düzeyi yükselmeye başlamıştı.

Bazı jeologlar bu ani yükselişe Büyük Oksidasyon Olayı adını veriyor. Oksijen Felaketi, hatta Oksijen Soykırımı gibi nahoş adlar takanlar da var çünkü biz onu hayat veren bir şey olarak düşünsek de oksijen aynı zamanda zehirlidir. O kadar yüksek derecede reaktiftir – yani başka atomlardan elektron almaya öylesine isteklidir– ki ölümcül bir zehir haline gelebilir. Bunu anlamak için ateşi yelpazeleyerek oksijen oranını artırınca olanları görmek yeter. Kaçak bir oksijen molekülü bir hücreye girdiği zaman, hevesle bir DNA molekülüne, bir

* Artık bazı demir oluşumlarının daha önce ortaya çıktığını biliyoruz. Bunlar muhtemelen fotosentez yoluyla oksijen üretmeyen bakteriler tarafından yaratıldı. Bu bakteriler okyanusta yüzen demirle beslendiklerinde, onu okyanus tabanına batan başka bir demir formuna dönüştürdüler.

enzime ya da artık ne bulursa ona tutunur ve işleri bozar.

Vücudumuzda antioksidanların evrilmiş olmasının nedeni de budur; o moleküllerin tek görevi, hasar yaratmadan önce oksijeni yakalamaktır. (Bakır, çinko ve selenyum gibi mineral formunda birkaç antioksidan olsa da, çoğu antioksidan –mesela C vitamini– organizmalar tarafından üretilir.) Siyanobakterilerde de oksijene karşı savunmalar evrilmişti. Ama o dönemde okyanusları halihazırda doldurmuş olan sayısız başka mikroorganizma için oksijen zehirdi.

Devasa siyanobakteri kolonileri atmosferdeki oksijen düzeyini yükseltince, gezegenin ilk kitlesel yokoluş olayını tetiklemiş oldular. Dünya tarihinde çok önemli bir yeri olan bu olayda, siyanobakteriler diğer canlıların çoğunu zehirledi (o dönemde hâlâ hepsi tekhücreli organizmalardı). "Birçok mikrop türü ânında yok olup gitti," diye yazan mikrobiyolog Lynn Margulis, bir keresinde bu olayı "küresel ölçekli bir felaket" olarak nitelendirmiş ve "oksijenin soykırım yapması"na benzetmişti.[22] Fakat şimdilerde çoğu kişi etkinin o kadar da ani olmadığını düşünüyor (ve *soykırım* teriminin kullanılmasından da rahatsızlar). Pek çok türün muhtemelen yeni yaşam alanlarına uyum sağlayacak zamanı olmuştu. Bununla birlikte Schopf, "kaç ya da öl kuralı"nın geçerli olduğunu belirtiyor. Çok sayıda bakteri popülasyonu ölmüş, bir kısmı da okyanus tabanındaki hidrotermal bacalara kaçmış ya da oksijenin erişip ölmelerine neden olamayacağı –torunlarının bugün yaşadığı– çamur benzeri yerlere sığınmış olmalı.

Bu da Dünya yüzeyinde siyanobakterilerin hâkimiyeti ele geçirmesini sağladı. Okyanuslarda gezindiler, sığ deniz tabanındaki yeşil bakteri örtülerinin içinde çoğaldılar ve geniş stromatolit kentleri inşa ettiler. O zamanlar gezegenimiz ne insan dünyasıydı ne de bitki dünyası; balık dünyası bile değildi. Tam bir siyanobakteri dünyasıydı.

Yeşil bir gezegene giden yolda bir sonraki adım başka bir felaket oldu. Bu seferki o kadar tuhaftı ki, jeologlar daha düşük olasılıklı bir olay hayal etmekte zorlanırdı herhalde. Siyanobakteriler kilometrelerce yükseklikte buzulların ortaya çıkmasına neden oldu. Birçok araştırmacı o dönemde buzulların tüm Dünya yüzeyini kapladığını, her şeyin buza gömüldüğünü düşünüyor.

Çok eski zamanlardaki manyetizmanın bıraktığı şaşırtıcı kanıtlar olmasaydı, biliminsanları gezegenimizin tarihinin bu bölümünden tamamen habersiz kalabilirdi. Bu muazzam soğumaya ilişkin ilk işaretlerden biri 1986 yılında geldi. Caltech'te çalışan jeolog Joe Kirschvink'ten kadim Avustralya kayaları konulu bir makaleyi gözden geçirmesi istenmişti. Esprili yorumlar yapmayı seven seçkin bir jeolog olan Kirschvink, cüretkâr kuramlar üretme konusunda da yetenekliydi; kuramlarının çoğu da tutkusu olan manyetizmayla ilgiliydi. Pasadena'daki "manyetizma laboratuvarı"nda bulunan özel yapım ekipman, küçük bir mıknatıstan milyar kat daha zayıf manyetik alanları ölçebiliyordu. Kirschvink, kuşların beyninde yer alan ve yön bulmalarına yardım eden manyetik demir kristallerini, bakterilerde bulunan ve yönelimlerini belirlemelerini sağlayan benzer zerreleri ve kayalardaki demir zerrelerini incelemişti. Yine de zayıf manyetik sinyaller bize kadim Dünya'daki yaşam hakkında ne kadar bilgi verebilirdi ki? Şaşırtıcı cevap şuydu: çok fazla.

Kirschvink'in incelemekte olduğu makalenin yazarları, Avustralya kayalarında saptadıkları manyetik alanların, kayaların ekvatorda oluştuğunu ortaya çıkardığı şeklinde alışılmadık bir iddiada bulunmuştu. Kuramlarının sağlam bir dayanağı vardı. Bazı kayalar oluşurken, içlerindeki minik demir kristalleri Dünya'nın yerel manyetik alanına doğru yönlenir; kristaller, birazdan donacak olan minik pusula iğneleri gibidir. Demir kristalleri kutuplarda Dünya'nın merkezine doğru yönlenir; ekvatorda ise yatay yönlenirler. Avustralya kayalarındaki kristallerin yönelimi yataydı ve bu durum, Sahra Çölü'nde iglo bulmak kadar düşük bir olasılıktı. Kayalar, buzullar tarafından biriktirildiği bilinen bir çeşitteydi; fakat jeologlar tropik iklimin daima ılık olduğundan gayet emindi.

Öte yandan Kirschvink, bundan o kadar emin olmayan kişiler olduğunu biliyordu. Birkaç jeolog, buzullar tarafından taşındıklarına ilişkin kanıtlar bulunan sıradışı kayalar (olmaması gereken yerde olanlar ve karmakarışık kaya molozları) bulduklarını bildirmişti. Ama iddiaları uzun süredir görmezden geliniyordu. 1960'larda öne sürülen levha tektoniği kuramı, tropik bölgelerde buzul kayalarının nasıl ortaya çıkabileceği konusunda basit bir açıklama sundu. Kaya-

lar soğuk enlemlerde oluşmuş ve daha sonra kıtasal sürüklenmeyle ekvatora taşınmış olabilirdi.

Kirschvink'in makale yazarlarının iddiasına kuşkuyla yaklaşmasının bir nedeni daha vardı. Kaya oluştuktan sonra yerin çok derinlerine gömülerek tekrar ısınırsa, içindeki minik demir kristallerinin yönünün değişebileceğini biliyordu. Yine de ekvatorda bir zamanlar buzulların olup olmadığı sorusu Kirschvink'in kafasını kurcalamaya devam ediyordu çünkü daha kesin bir sınama yapabileceğini fark etmişti. Avustralya'da aynı yerde bulunan başka bir kayayı analiz etmeye karar verdi. Eğer basınç o kayanın katmanlarını büktü ve ısıttıysa, yeni baştan mıknatıslanan minik kristallerin hepsi aynı yönü göstermeliydi. Ama kaya oluştuktan daha sonraki bir zamanda ısınmadıysa, katmanlar büküldükçe kristallerin yönelimleri de bükülme nedeniyle değişmiş olmalıydı.

Kirschvink kayanın yeni baştan mıknatıslanmış olduğu sonucunu bulacağından oldukça emindi.

Ama sonuç öyle çıkmadı. Manyetik işaretler bükülmelerle birlikte değişmişti. Bu da kayanın muhtemelen ekvatorda oluştuğu anlamına geliyordu; yani ekvatorda bir zamanlar buzulların var olmuş olabileceğine işaret ediyordu.

Bu sonuç kışkırtıcı olmakla birlikte kesin değildi. Sonra Kirschvink ilginç bir bağlantı yakaladı. Kanada'da aynı yaşta, yaklaşık 700 milyon yıllık buzul kayaları görmüştü ve Avustralya'dakiler gibi onlarda da kalın kırmızı kaya katmanları vardı. Tıpkı 2,4 ila 1,8 milyar yıl önce oksijenin okyanustaki demiri paslandırmasıyla oluşan demir şeritlerine benziyorlardı.

Bu kırmızı şeritler neden birdenbire yeniden ortaya çıkmıştı? İşte o anda, Kirschvink tüm Dünya'nın buzla kaplanmış olması gerektiğini anladı. "Tüm gezegen donmuş, okyanuslar havasız kalmış olmalıydı," diyor. Eğer fotosentez fiilen durduysa, bu durum okyanusun altındaki derin deniz bacalarının suya demir pompalamayı sürdürmesini engellemezdi. Fotosentez tekrar başladığında ise yeni bir oksijen patlaması o demiri paslandırarak kırmızı bir kaya tabakası oluştururdu.

Kirschvink'in kuşkucu olmak için hâlâ bazı nedenleri vardı. Şöyle

ki, atmosferik atom bombası testlerinin doruğa ulaştığı 1960'ların başlarında, biliminsanları nükleer silahların tüm gezegenin iklim dengesini bozabileceğinden korkuyordu. Hatta Rus yerbilimci Mihail Budyko bir model yaratmıştı.[23] Endişe verici bir şekilde, tüm Dünya'nın buzla kaplanabileceği bir senaryonun gerçekten de mümkün olduğu ortaya çıktı. Gezegen çok fazla soğursa ve buzullar ekvatora çok yaklaşırsa, Dünya kontrolden çıkan bir soğuma döngüsüne yakalanabilirdi. Beyaz buz Güneş'in ısısının büyük bir kısmını yansıtır ve soğuma çabucak hız kazanırdı. Buzullar ekvatora daha da yaklaşır, geribildirim döngüsünde daha fazla ısı yansıtır ve göz açıp kapatana kadar tüm gezegen donardı. Her şey. Sadece kıtalar değil, okyanuslar da donardı. Budyko buna "buz felaketi" adını verdi; çünkü hesaplamalara bakılırsa, bu olayın gerçekleşmesi durumunda hiçbir çıkış yolu yoktu: Gezegenimiz sonsuza kadar buzla kaplı kalırdı.

Kirschvink elbette sonsuz bir buzul çağının yaşanmadığının farkındaydı ama yine de içini kemiren sorulardan kurtulamıyordu. Kayaları göründükleri gibi mi kabul etmeliydik? Eğer ekvator bir zamanlar buzla kaplı idiyse, gezegenimiz o ölümcül soğuktan nasıl kurtulabilmişti? Bir gece rüyasında buzla kaplı bir dünyada, okyanusun altında mahsur kaldığını görmüştü: "Suyun altındaydım. Endişeyle, 'Tanrım, bundan nasıl kurtulabiliriz?' diye düşünüyordum."

O sabah uyandığında yanıtı buldu. Tüm gezegeni saran buzulların bile sıcak magmayla beslenen yanardağların patlamasını engelleyemeyeceğini fark etti. "Buz, volkanların umurunda olmaz. Kafalarına göre püskürürler; Grönland'da ya da İzlanda'da buz olup olmadığını takmazlar." Yanardağlar karbondioksit salmış olabilirdi; bu sera gazı da atmosferde birikebilirdi. Sonunda küresel ısınmanın aşırı bir örneği olarak kabul edilebilecek bir süreçle atmosfer o kadar ısınırdı ki, tropik buzulların hızla daha yüksek enlemlere doğru geri kaymasına neden olurdu. Böylece Kirschvink, Dünya'nın derin dondurucu gibi bir durumdan çıkmasının mümkün olabileceğini fark etti.

Peki ama gezegenimizi başlangıçta donmuş duruma sokan ne olabilirdi? Şaşırtıcı bir şekilde, Kirschvink dünya çapındaki donmanın bir kez değil, en az üç kez gerçekleştiğini gösteren kanıtlar olduğunu öğrendi. Son iki olay yaklaşık 700 ve 640 milyon yıl önce gerçekleş-

mişti. Ama ilki çok daha eskiydi; aşağı yukarı 2,4 milyar yıl önce olmuştu ve neden başladığı konusunda aklına gelen tek bir olası açıklama vardı. Preston Cloud'un keşfettiği üzere, söz konusu olay siyanobakterilerin atmosfere oksijen salmasından çok kısa bir süre sonra meydana gelmişti. Yoksa Dünya'yı derin dondurucu haline getirmiş olan şey fotosentez miydi?

Kirschvink bu konuya kafa yorduğunda, Dünya'nın ilk zamanlardaki atmosferinin bolca metan içerdiğini fark etti; metan, ısıyı karbondioksitten çok daha iyi tutabilen bir sera gazıdır. Siyanobakteriler çoğalıp oksijen yaymaya başladıklarında, Dünya'nın paslanmasına ve diğer bakterilerin çoğunun yok olmasına neden olmakla kalmayacaklardı. Bir yandan da saldıkları oksijen, metanı karbondioksit ve suya dönüştürerek Dünya'yı sıcak tutan yalıtım örtüsünü ortadan kaldıracaktı. Yani oksijen, iklimi dondurucu bir döngüye sürüklemiş olabilirdi.

Çılgınca görünen kuramının olgulara uyduğuna kanaat getiren Kirschvink, kurama akılda kalıcı bir ad taktı: Kartopu Dünya. Görünüşe bakılırsa, fotosentezin Dünya tarihindeki en sıradışı olaylardan birini tetiklediği iddiasını perçinlemişti. Ama ne yazık ki konuyla ilgili ilk makalesi başlangıçta tortul kayaç tabakası gibi gömüldü. Makalenin Dünya'nın erken dönemlerini konu alan yazılardan oluşan 1400 sayfalık bir derleme kitapta yayımlanması dört yılı buldu.

Ama şans eseri, 1989'da ABD'nin başkenti Washington'daki Uluslararası Jeoloji Konferansı'nın yemeğinde, Kirschvink Harvardlı jeolog Paul Hoffman'a kuramından söz etti. Hoffman birkaç yıl sonra Namibya'da saha çalışması yürütürken, konu hakkında ciddi olarak düşünmeye başladı. Bir zamanlar ekvatora yakın olan topraklarda, buzul birikintilerine özgü kayalar (damlataşlar ve kaya molozları) gördüğünü fark etti. Onların üstündeki başka bir kaya oluşumu dikkatini çekmişti: kalın beyaz kalsiyum karbonat katmanları. Harvard'a dönünce, kalsiyum karbonat kayasının nasıl oluşmuş olabileceği konusunda çalışma arkadaşı Daniel Schrag ile birlikte gece yarılarına kadar beyin fırtınası yaparak bir yanıt aradılar.[24] En sonunda, tuhaf fikirlerinden birinin aslında Kirschvink'in kuramıyla örtüştüğüne karar verdiler.

Kartopu Dünya döneminin sonunda buzun çekilmesiyle birlikte, Dünya'nın tarihi boyunca yaşadığı en çılgın hava koşullarından bazılarının oluşacağını fark ettiler. Devasa buzullar, sıcaklığı tutan CO_2 bakımından zengin ve aşırı sıcak bir atmosferin altında hızla küçülecekti. Bu da şiddetli hiper kasırgaları tetikleyecekti. Okyanus kuduracak ve 100 metreye kadar yükselen dalgalar, havayı büyük miktarda karbondioksit ve suyla besleyerek asit yağmurlarına neden olacaktı. Bunun sonucunda kayalar hızla yıpranacak, okyanusta kalın kalsiyum karbonat katmanları birikecekti.

Hoffman kanıtların artık çok güçlü olduğu kanısındaydı. Kartopu Dünya döneminde ekvatorda yürümüş olsalar, –45°C gibi dondurucu bir soğukla karşılaşacaklarına meslektaşlarını da ikna etmek için üniversitelerde konferans turuna çıktı. Giysilerinden açıkta kalan ciltlerinin donacağını, bir kayanın yüzeyine dokunmak isteseler 1,5 km kalınlığındaki buzu kazmak zorunda kalacaklarını anlattı. Nasıl karşılandığını tahmin edersiniz: safi şüphecilik. Sıradışı iddialar, sıradışı kanıtlar gerektirir. Meslektaşları henüz kanıtlar karşısında ikna olmamıştı. Bir yandan da "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısına kapılmışlardı (Einstein'ın evrenin genişliyor olma olasılığını reddederken kapıldığı önyargının aynısı). Bütünüyle buzla kaplı bir gezegen hayal etmek çok zordu. Bugün ise Kartopu Dünya büyük oranda kabul görüyor. Geriye tek bir soru kalıyor: Buzullar Dünya'yı hiç açık yer kalmadan kaplayarak buzlu bir kartopu haline mi, yoksa ekvatorda açık bölgeleri kalmış sulu bir kartopu haline mi getirmişti? Ama her iki durumda da, şu anda yaşayan canlılardaki moleküllerin çoğu, bir zamanlar buzla örtülü okyanusa ve kayalara gömülmüş durumdaydı.

Aslında Kirschvink siyanobakterilerin bizi ebediyen derin dondurucuya kapatmasından ucuz kurtulduğumuzu düşünüyor. "Dünya Güneş'ten biraz daha uzak olmadığı için çok şanslıyız. Çünkü Mars'a biraz daha yakın olsaydık, kartopu halinden hiç çıkamazdık," diyor.[25] Ama yanardağların on milyonlarca yıl süresince püskürttüğü karbondioksit, gezegeni yeniden ısıtmaya ve buzun büyüsünü bozmaya yetti.

Peki bu felaket evrimin gidişatını nasıl etkiledi? Bunu söylemek

zor. Kartopu Dünya evrimi yavaşlattı mı? Yoksa teşvik mi etti? Her iki iddia da ileri sürüldü. Elbette Dünya donmuş durumdayken, bakterilerin ve diğer mikroorganizmaların çoğu yok oldu. Fakat bazıları volkanik sıcak su kaynaklarında, derin okyanus bacalarında ve başka ücra köşelerde yaşamını sürdürdü. Bu yalıtılmışlıklarının ve adapte olmak zorunda kaldıkları çetin koşulların genetik yenilikleri teşvik etmiş olması mümkün. Kimse kesin bir şey söyleyemiyor – şimdilik.

Şunu biliyoruz ki Kartopu Dünya dönemi sona erince, siyanobakteriler bir kez daha her yana yayılmakta özgür oldu. Fosil kayıtlarına bakılırsa, çok geçmeden de –günümüzden en aşağı 2,1 milyar yıl önce– dünyayı yine değiştirecek olan olağanüstü bir hücre türü ortaya çıktı.

Ökaryotik hücre adı verilen bu yeni hücre türü, karmaşıklık bakımından öylesine inanılmaz bir sıçramayı temsil ediyor ki, üç tekerlekli bisikletten bir anda uzay mekiğine geçmekten bile daha büyük bir değişim bu. Bütün çokhücreli organizmalar ökaryotik hücrelerden oluşur; ağaçlardan kertenkelelere kadar hepsi. Hacimsel olarak, ökaryotik hücreler bakteriyel hücrelerden ortalama 15.000 kat daha büyüktür. Hemen hepsi bakterilerden çok daha fazla gen taşır. Ayrıca bakterilerin genleri tek bir halka biçiminde sıralanmıştır ve sitoplazmada diğer yapılarla bir arada bulunur; ökaryotların genleri ise çekirdeğin koruyucu duvarlarının içindedir* (isimleri de Yunanca *karyon* yani çekirdek sözcüğünden gelir). Ökaryotların devrim niteliğinde başka bir sürü özelliği vardır. İçlerinde organeller bulunur. Uzmanlaşmış fabrikacıklara benzeyen bu organeller, bazı işlerin bakterilere kıyasla daha verimli ve daha büyük ölçekte yapılmasını sağlar. Örneğin şeker ve oksijen yakarak enerji üreten, atık boşaltan, fotosentez yapan (bitkilerde ve alglerde) organeller vardır. Ökaryotlar ayrıca molekülleri farklı noktalara ulaştıran karmaşık kargo taşıma sistemlerine sahiptir. Peki ama bu hücreler nasıl oldu da böylesine büyük bir evrimsel sıçrama gerçekleştirdi?

* Ökaryotik hücre genleri dairesel değil, çizgiseldir. Yani hücre çekirdeğindeki kromozomların telomerlerle korunan açık uçları vardır. *–ç.n.*

Bu sorunun tuhaf cevabı, özgür düşünceli (ve devrimci biliminsanı rolünün tadını çıkaran) mikrobiyolog Lynn Margulis'ten geldi. Margulis uzun süre alaya alındı ve kaçık denerek görmezden gelindi. Ama ilk başta küçümsenen peygamberler gibi, nihayetinde yaptığı keşifle herkesçe tanındı. Siyanobakterilerin (ve saldıkları oksijenin) bitkilerle hayvanların atalarının ortaya çıkmasına yol açan sıradışı etkilerini keşfetti.

Margulis tutkulu, açık sözlü ve zamanının ilerisinde olan biriydi. Biyolojideki en parlak zihinlerle tartışma ve onları alt etme yeteneğine sahipti. Bazı (çoğunlukla erkek) meslektaşları onu ayrıca kibirli ve çabuk öfkelenen biri olarak görüyordu.[26] "Lynn iğneleme konusunda iyiydi. Her zaman kalıpların dışında düşünürdü. Hep sınırları zorlar, zorlar, zorlardı. İnsanları gıcık ederdi. Onun yanıldığını kanıtlamaya koyulurlardı ama çoğu zaman başaramazlardı," diyor arkadaşlarından biri olan mikrobiyolog Fred Spiegel.[27] Margulis'in buzdolabının üzerinde General George Patton'a ait bir alıntı vardı: EĞER HERKES AYNI ŞEYİ DÜŞÜNÜYORSA, BİRİLERİ HİÇBİR ŞEY DÜŞÜNMÜYOR DEMEKTİR. Oğlu Dorion Sagan onun hakkında, "Sorun çıkarmayı severdi, ama sebepsiz yere değil," diye yazmıştı.[28]

Belki de Margulis'in sorun çıkarma eğilimi, vaktinden önce olgunlaşmasından ileri geliyordu. Doğduğunda soyadı Alexander'dı. Annesi Şikago'da bir seyahat acentesi işletiyordu; babası ise hem avukat hem de işadamıydı. Anne babası çok içer ve sık sık kavga ederdi. Böylece Lynn kitaplara sığınmış, doğa hakkında bilgi edinmiş ve bir entelektüel olmuştu.

1952'de on dört yaşındayken, ailesine söyleme zahmetine girmeden Şikago Üniversitesi'nin sınavına girdi ve kabul edildi.[29] İki yıl sonra matematik binasının merdivenlerinde, kampüsün yakışıklı "kodaman"larından biriyle çarpıştı ve ona çarpıldı.[30] Carl Sagan adındaki bu belagatli lisansüstü öğrencisi yirmi yaşındaydı ve fizik okuyordu. Onun bilime olan karşı koyulmaz tutkusu, kendi tutkusunu besleyip sağlamlaştırdı. Mezun olduktan bir hafta sonra evlendiler.

Ömrü boyunca adıyla birlikte anılacak fikir, ilk olarak Wisconsin-Madison Üniversitesi'nde genetik yüksek lisansı yaparken aklına geldi. Onu büyüleyen iki organel vardı: kloroplast ve mitokondri.

Kloroplast fotosentez yapıyordu; mitokondri şeker yakarak enerji üretiyordu. Bir hocası bu organellerin serbest yaşayan bakterilere fazlasıyla benzediğini, öyle ki bir zamanlar bakteri olduklarından kuşkulandığını söylediğinde, bu fikir çok ilgisini çekmişti.[31] Hocası bu organellerin kendilerine ait DNA'ları bile olabileceğini düşünüyordu; şayet varsa, bu onların atasının eskiden bağımsız yaşadığını kanıtlardı.

Margulis (o zamanlar soyadı Sagan'dı) 1960 yılında Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'nde doktorasına başlayınca, Carl Sagan'la birlikte Wisconsin'dan oraya taşındılar. Tez danışmanının şüpheciliğine rağmen, fotosentez yapan tekhücreli bir mikroorganizma olan öglenadaki kloroplastların kendi DNA'larını taşıdığına ilişkin kanıt aramakta ısrar etti.[32] Genetikçilerin çoğu, neden birinin bununla uğraştığını merak ediyordu. Bir profesör ona bunun Noel Baba'yı aramaya benzediğini söyledi.[33] Eğer bir hücrenin çekirdeği varsa taşıdığı genlerin hepsinin orada tutulacağı –ve organizmanın kalıtımını sadece onların belirleyeceği– fikri, uzun zamandır genetiğin temel bir ilkesi olagelmişti. Şayet tesadüfen bir kloroplastta DNA varsa, o genlerin çekirdekten kaçmış ve artık herhangi bir önemlerinin kalmamış olması lazımdı.

Fakat Margulis, eski nesil biliminsanlarının 1880'lerden 1920'lere kadarki süreçte yazmış olduğu, mitokondri ve kloroplastın bakterilerden türediğine ilişkin iddiaları okumuştu. Alman Andreas Schimper, Fransız Paul Portier, Rus Konstantin Merejkovski, ABD'li Ivan Wallin onlardan sadece birkaçıydı. Hatta Wallin, mitokondriyi hücreden çıkarıp, serbest yaşayan organizma olarak çoğaltabileceğini iddia edecek kadar ileri gitmişti. (Ama yapamamıştı.)

Biliminsanlarının çoğu, mitokondri ve kloroplastın bir zamanlar bağımsız bakteriler olduğu yönündeki bu tahminleri ciddiye almadı. Hiç olabilecek gibi görünmüyordu. Belli ki onlar da hücre içindeki diğer yapılar gibi orada sıfırdan evrilmişlerdi. Ayrıca araştırmacıların bu kuşkuculuğunun başka bir nedeni daha vardı. 1960'lara kadar bakterilerin en bilinen özelliği şarbon, veba, tüberküloz ve frengi gibi kötü hastalıkları yaymalarıydı. Neden biri çıkıp da hücrelerimizdeki mitokondrinin mikroplardan geldiğini düşünsündü ki? Gayet nahoş

bir fikirdi bu. "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısı bir kez daha bilimsel zihinleri etkilemişti.

Bir gün Margulis kütüphanede oturmuş kitap okurken, bir aydınlanma yaşadı.[34] Wallin'in 1922 tarihli kitabının başlığı olan *Symbionticism and the Origin of Species* (Ortakyaşarlık ve Türlerin Kökeni) her şeyi anlatıyor olabilir miydi? Yoksa ortakyaşam (simbiyoz) –organizmalar arasında karşılıklı yarar sağlanan işbirliği– evrimdeki en büyük sıçramaların birçoğunun nedeni miydi? Belki de ortakyaşam hem mitokondrinin, hem kloroplastın, hem de diğer büyük evrimsel sıçramaların kökenini açıklıyordu. Margulis bu fikrin onu yıldırım çarpmışa çevirdiğini söyleyecekti sonradan.[35] Peki acaba kanıt bulabilir miydi?

Tam da o sıralarda, ne yazık ki diğer bir tutkusu sönmeye yüz tutmuştu. Hem onun hem de Carl Sagan'ın kendi bilimsel kariyerleri vardı. Sagan, Margulis'in yaptığı çalışmaları çok destekliyordu; tabii kendine ayırması gereken zamanı etkilemediği sürece. 1950'lerdeki çoğu koca gibi "hayatında hiç bebek bezi değiştirmemiş" olan Sagan, ondan yemek pişirmesini, temizlik yapmasını, iki çocuğa bakmasını ve faturaları ödemesini bekliyordu.[36] Yaşadıkları bu zorlukların yanı sıra, kendisi de Sagan kadar zeki ve karizmatik olan Margulis, kocasının sürekli ilgi görme ihtiyacından dolayı bunalıyordu. (Margulis sonradan evliliğinin bir "işkence odası" gibi olduğunu yazacaktı.[37]) Onu terk etti; sonra Sagan 1963'te Harvard'a taşınınca onunla tekrar bir araya geldi ama bir yıl içinde tekrar terk etti. Kısa süre sonra Boston'da bir kristalografla evlendi ve yeni eşinin soyadı olan Margulis'i kullanmaya başladı.

Hâlâ doktorası olmamasına rağmen, mitokondri ve kloroplastların yanı sıra sillerin de (sperm gibi hücreleri hareket ettiren minik tüysü yapılar) eskiden bağımsız olan bakterilerden evrildiği fikrini savunmaya hevesliydi. Üstelik o arada, Wisconsin'daki eski profesörleri Hans Ris ile Walter Plaut bu iddiayı güçlendirmişti. Elektron mikroskobuyla kloroplastın içindeki DNA iplikçiklerine bakmış ve bakterilerdeki DNA'ya benzediklerini görmüşlerdi. Dahası, İsveç'ten iki biliminsanı da mitokondrinin içinde DNA tespit etmişti.[38] Ama her iki grup da meslektaşlarını bu organellerin bir zamanlar bağımsız ya-

şadığına ikna etmek için fazla çaba harcamamıştı. Margulis o çabayı harcayacaktı.

Brandeis Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak ders verir, ek işlerde çalışır ve çocuklarıyla ilgilenirken, tezi için birçok farklı alandan kanıtları bir araya getiren kapsamlı bir makale yazmaya zaman ayırmayı başardı. Bu başlı başına alışılmadık bir şeydi. Berkeley'de "akademik ayrımcılık" olarak adlandırdığı durum karşısında şok olmuştu. Kendi branşlarının dar alanından çıkan çok az biliminsanı görmüştü. Hücre biyologları genetikçilerle pek konuşmazdı; jeologlar ya da paleontologlarla ise hiç işleri olmazdı.

Margulis ise herkesle konuşmuştu. Kadim zamanlardaki evrim konusunda mikrobiyoloji, biyokimya, jeoloji ve paleontolojiden elde edilen kanıtlarla desteklediği bir senaryo kurmuştu.

O zamanlar 1960'ların ortalarıydı ve Preston Cloud 2,3 milyar yıl kadar önce fotosentez yapan bakterilerin atmosfere aniden oksijen saldığı iddiasını yeni ortaya atmıştı. Margulis kadim bakteri türlerinden birinin oksijen kullanarak enerji üretme konusunda bir süre sonra çok verimli hale geldiğini ileri sürdü. Derken o türde bir bakteri hücresi tesadüfen başka tür bir hücre tarafından yutulmuştu. Ama her nasılsa, yutan hücre onu ne tükürmüş ne de sindirmişti. Yutulan hücre yaşamını sürdürmüş, üstelik kendisini yutan hücreyle mutlu bir birliktelik kurmuştu. Yutan hücre, becerikli yeni ev arkadaşına yiyecek sunuyordu; o da şekeri oksijenle yakarak, her ikisi için de çok daha verimli şekilde enerji üretmiş oluyordu. İki tarafın da kazançlı çıktığı bir durumdu bu. Margulis, yutulan hücrenin enerji üreten bir fabrikaya, yani mitokondriye dönüştüğü iddiasındaydı. Bu birlikteliğin torunları, biz de dahil olmak üzere tüm bitki ve hayvanların atası olan ilk ökaryotik hücreler olmuştu. "[Margulis] en temelde, tek bir insan hücresinin bile bileşik bir yapı olduğunu iddia ediyordu," diyor mikrobiyolog John Archibald.*

Margulis, fotosentez konusunda olağanüstü beceriye sahip bir si-

* Çoğu biliminsanı bu birleşimin başlıca iki mikroorganizma grubu arasında gerçekleştiğini düşünüyor. Arke olarak bilinen tekhücreli bir organizma kadim bir bakteriyi yuttu ve her ikisi de oluşturdukları yeni hücreye farklı özellikler kattı.

yanobakteri türünün de sonradan benzer bir yolla ökaryotik bir hücreye girdiği düşüncesindeydi. O siyanobakterinin torunları da kloroplasta dönüşmüş ve bu birleşimle oluşan hücre tüm bitkilerin atası olmuştu.

Kırk dokuz sayfalık makalesini yıllar boyu dergilere gönderdi ama yayımlanmasını sağlayamadı. Hibe başvuruları da sonuç vermedi. Değerlendirme yapanlardan biri, "Araştırmanız saçmalığın daniskası. Bir daha başvurma zahmetine girmeyin," demişti.[39] Ama Margulis vazgeçmeyi inatla reddetti. 1967 yılında "Mitoz Bölünme Yapan Hücrelerin Kökeni Üzerine" başlıklı makalesi, tam on beş kez reddedilmesinin ardından nihayet yayımlandı.

Makale çok dikkat çekti ama yine de çoğu meslektaşı önemsemedi; hatta alay etti. Sınır-bilim* olarak görüldü. Bunun bir nedeni, Margulis özgüvenli, şevkli ve hırslı olduğu zaman, bazı meslektaşlarının onu fevri davranan şirret bir kadın olarak görüp kaale almamasıydı. Fakat anlaşmazlığın özü, birçok biliminsanının evrimin o kadar kestirme bir yol izleyeceği fikrini kabul edememesiydi; neredeyse hile yapıyormuş gibi görünüyordu. Evrimin *tek* itici gücünün, genlerdeki kademeli mutasyonlar olduğu konusunda biyologlar uzun süredir hemfikirdi. Bir eleştirmen, Margulis'in kuramının "gerileticî" olduğunu, çünkü "mitokondri ve kloroplastın küçük evrimsel adımların sonucunda nasıl evrildiğini anlamak için gereken zorlu düşünme sürecinden kaçındığını" belirtti.[40] Evrimdeki en önemli sıçramalardan bazılarının, tekhücreli bir canlı türünün başka bir tür tarafından yutulması ya da köleleştirilmesi nedeniyle gerçekleştiğini iddia etmek gülünç görünüyordu.

Margulis saldırıları savuşturarak şöyle sordu: Mitokondri ve kloroplastın kendi DNA'sı olmasını nasıl açıklıyorsunuz peki? Ayrıca (biyologların uzun zamandır bildiği üzere) bu iki organel neden bulundukları hücreden bağımsız çoğalıyor? Margulis sadece amansız rekabetin değil, işbirliğinin de evrimi teşvik edebileceği konusunda ısrarcıydı. Çığır açan makalesini yazarken danıştığı paleobiyolog

* İng. *fringe science*, anaakım dışında kalan fazlasıyla spekülatif çalışmalar, uç bilim. –*ç.n.*

William Schopf şöyle anlatıyor: "Açıkçası bu çok saçma bir fikir gibi görünüyordu çünkü evrimin bu şekilde işlemesi beklenmiyordu. O çok cesur biriydi. Karşı çıkanlar çoktu." Margulis yıllar boyu kafa tuttu ve bir köşede kaldı.

Sonra 1975'te, tam da bu konu ilelebet tartışılacakmış gibi görünürken, genetik dizileme adı verilen yeni araç ortaya çıktı. Araştırmacılar sahiden de kloroplast RNA'sı ile siyanobakteri RNA'sını karşılaştırmayı başardı ve epey benzer oldukları ortaya çıktı. 1977'de mitokondri RNA'sı ve bakteri RNA'sının karşılaştırılması sonucunda, bunların da ilişkili olduğu anlaşıldı. Margulis sevinçten havalara uçtu. Galibiyet onundu.

Önemli noktalardan birinde yanılmıştı ama. Daha fazla ortakyaşam örneği bulmayı umarak, sillerin –bazı ökaryotik hücrelerdeki hareketli uzantıların– yüzebilen bakterilerle birleşme sonucu ortaya çıktığını da iddia etmişti. Bu iddia doğru çıkmadı ama kloroplastlar ile mitokondrilerin kökeni konusunda son derecede haklıydı.* Tüm evrimsel süreçteki en önemli sıçramalardan ikisinin ortakyaşamla açıklanabileceğine ilişkin fikrinin doğruluğu zamanla netlik kazandı.

Bu keşiften çok önemli sonuçlar çıktı. Margulis'e göre, bakteriler "Dünya tarihindeki en büyük kimyasal mucitler" idi.[41] Kloroplastı icat etmişlerdi; onun sayesinde de bitkilerin ortaya çıkması mümkün olmuştu. Bakteriler ve onların mikrobiyal akrabaları olan arkeler, hücrelerimizdeki temel kimyasal süreçlerin de mucitleriydi: Şeker, nükleik asit, amino asit, protein, yağ ve zar yapmanın yolunu buldular. Önceden bakteri olan mitokondrilerin oluşturduğu devasa koloniler bizim enerjimizi de üretiyor. "Kolektif egomuza darbe gibi gelebilir ama biz evrim merdiveninin en üst basamağında yer alan, canlılığın efendileri değiliz," diye yazmıştı Margulis.[42] Hepimiz "yüzeysel farklılıklarımızın altında, yürüyen bakteri topluluklarıyız". Bazıları mikroplarla olan ilişkimizi başka bir şekilde özetlemeyi seviyor: "Hepimiz mikrobuz."

* Bugün biliyoruz ki mitokondrilerimizi sadece annemizin yumurta hücresinden alıyoruz. Bu da mitokondri DNA'sını anne soyunun izlenmesi için kullanışlı kılıyor.

Einstein ve astrofizikçi Fred Hoyle gibi, Margulis de, şiddetli bir şüpheciliğe rağmen çığır açan bir atılım yaptıktan sonra sezgilerine her zamankinden daha fazla yaslandı. "Kariyeri ilerledikçe, ön saflardaki araştırmacıların ürettiği verilerle giderek daha az temas halinde olmaya başladı. İlk ilkelerden yola çıkarak kendi fikirlerini üretmeyi tercih etti," diyor mikrobiyolog John Archibald.[43] Bu tutumu ve mutlak korkusuzluğu, onu Gaia gibi tartışmalı bilimsel kuramları savunmaya yöneltti. (Gaia kuramında, Dünya kendi kendini regüle eden bir organizma olarak düşünülür.) Margulis ayrıca bir frengi bakterisinin AIDS'e neden olduğu iddiası gibi çok daha kuşkulu fikirleri de destekledi. Yine de muazzam miktarda verimli araştırmayı teşvik ettiği inkâr edilemez. Karmaşık yapılı hücrelerin evriminde nasıl birdenbire ileriye doğru sıçrama olduğu konusunda gözlerimizi açtı.

Avustralya, Çin ve başka bazı yerlerden çıkarılan fosiller Margulis'i destekliyor. Ökaryotik hücreler, fosil kayıtlarında ilk kez günümüzden 1,7 milyar yıl önce beliriyor; daha önce de (atmosferimiz oksijene kavuşup, gezegenimiz buzla kaplı olmaktan kurtulduğunda) ortaya çıkmış olabilirler.[44]

Herkes aynı fikirde değil ama biyokimyacı Nick Lane ile mikrobiyolog William Martin, ökaryotik hücrelerdeki karmaşık özelliklerin, bir hücre diğerini yutmasaydı asla evrimleşemeyeceğini savunuyorlar. Bunun tüm evrimsel süreçteki en önemli adımlardan biri olduğunu ve sadece bir kez gerçekleştiğini düşünüyorlar. Lane ve Martin'e göre, yutulan bakteri, konağından çok daha fazla enerji üretebiliyordu. Üstelik yutulan o bakterinin soyundan gelen mitokondrilerin masrafı da azdı. İnsan mitokondrisinin çok eski zamanlardaki atasında 3000 kadar gen bulunmuş olabilir ama bugün mitokondrilerimiz 38 civarında gen taşıyor.[45] Mitokondrilerimizin gerek duyduğu diğer tüm genler artık hücre çekirdeğinde bulunuyor. Dolayısıyla bir hücrenin daha fazla enerji gereksinimi olduğu takdirde, yeni mitokondri üretme maliyeti pek fazla olmuyor. Bu da hücrelerimizin çok masrafa girmeden geniş mitokondri kolonilerine bakmasına olanak veriyor.[46] Lane ve Martin, mitokondrilerin hücrelere enerji sağlamaya başlamasının ardından, hücrelerin nihayet çok daha fazla gen oluşturabilecek duruma geldiğini ve o genleri kullanarak karmaşık yeni yapılar

ve süreçler icat etmeyi başardıklarını söylüyorlar.

Eskiden bakteri olan o varlıklara oksijen sağlamak için günde yaklaşık 20 bin kez nefes alıyorsunuz; onlar da oksijeni kullanarak şekeri yakıyor ve sizin için enerji üretiyorlar. Bütün mitokondrilerinizi yan yana dizseniz, iki basketbol sahası kadar yer kaplarlardı. Toplamda yaklaşık bir katrilyon mitokondri sayesinde yaşamınız sürüyor.[47]

Eğer mitokondrinin atası olan serbest bakteri başka bir hücrede yuva bulmasaydı, evrim durur muydu? Hepimiz hâlâ tekhücreli organizmalar mı olurduk? Lane ve Martin öyle düşünüyor; çünkü bakteriler ve onların tekhücreli akrabaları olan arkeler, görünüşe bakılırsa son 3 milyar yıldır büyük ölçüde değişmeden kalmış. Lane ve Martin ile gezegenbilimci David Catling, şayet evrenin başka yerinde yaşam bulursak, o canlıların muhtemelen pek ilginç olmayacağını, mikroorganizmalara benzeyeceklerini düşünüyorlar; tabii eğer o başka yerdeki evrim de benzer bir cüretkâr ortakyaşam sıçramasıyla hücresel karmaşıklık yaratmadıysa.[48]

Çok eskiden kalma alg fosilleri, mesela 1990 yılında Kuzey Kutbu'ndaki Kanada'ya ait Somerset Adası'nda bulunan fosiller, Margulis'in bir sonraki büyük adım konusunda da haklı olduğunu ortaya koyuyor. Fosillerin yaşına bakılırsa, ökaryotik bir hücre en az 1,25 milyar yıl önce fotosentez yetisi olan bir siyanobakteri yutmuş gibi görünüyor.[49] Nick Lane'in "gayet acayip" diye nitelediği bu nadir olay çok önemli sonuçlar doğurdu. O siyanobakteri evrilerek kloroplastlara dönüştü; bu birlikteliğin torunları da bitkilerin atası olan alglere dönüştü. Bu ortakyaşam birlikteliği olmasaydı, muhtemelen Dünya'da bitkiler (ve insanlar) olmayacaktı.

Bu yeni kavrayış biliminsanlarını kafa karıştırıcı yeni bir soruyla yüz yüze getirdi. Ökaryotik hücreler –bitkilerin ve hayvanların ataları– en az 1,75 milyar yıl önce okyanusta mutlu mesut süzülüyordu. Yaklaşık 1,25 milyar yıl önce, bitkilerin daha yakın ataları olan algler ortaya çıktı. Üstelik evrimin çok hızlı ilerleyebileceğini biliyoruz; dinozorların ayaklarının altından korkuyla kaçan küçük memeli atala-

rımızla aramızda sadece 70 milyon yıl var. Ama hızlı hareket eden iri hayvanlar, okyanuslarda günümüzden 540 milyon yıl öncesine kadar ortaya çıkmamıştı.[50] Bitkilerin karaya çıkışı ise daha da sonra, yaklaşık 500 milyon yıl öncesinde olabildi. Onları bu kadar oyalayan ne olmuştu? Neden bu kadar az şey olmuş gibi görünen –öyle ki bazılarının Sıkıcı Milyar dediği– bu kadar geniş bir zaman aralığı söz konusuydu?

Evrimin görünüşteki bu tembelliğinin nedenlerinden biri 1990' larda belli oldu. Oksijen olmadan hızlı hareket edilemez. Jeologlar, kadim zamanlardan kalma kayalardaki oksijen düzeyine ilişkin ipuçları elde etmek için yeni teknikler düşünürken sürpriz bir keşif yaptılar: Yaklaşık 700 milyon yıl öncesine kadar atmosferdeki oksijen oranı yüzde 1'in altındaydı; bugün tadını çıkardığımız yüzde 21 gibi bir oran söz konusu değildi yani.[51] Atmosferik oksijenin okyanuslarda nihayet iri ve aktif canlıları ayakta tutmaya yetecek yüzde 5 ila 10 düzeyine ulaşması ancak 540 milyon yıl önce gerçekleşebildi. Daha öncesinde böyle canlıların solunum yapması mümkün olmazdı.

Peki Dünya'daki oksijen düzeyi neden o kadar uzun süre o kadar düşük kaldı? Araştırmacılar hâlâ çok sayıda rakip kuramla boğuşuyor. Şu an en tutulan kuramlardan birini anlamak için göletlerde biriken sinir bozucu yeşil tabakaya, yani alg ve siyanobakterilere bakmak yeterli. Fosfor ve azot bakımından zengin olan gübreler suya aktığında, bu canlılar hızla çoğalır. Çünkü zar, protein ve DNA üretmek için bütün organizmalar bu iki elemente gerek duyar. Fosfor ayrıca hücrelerimizdeki faaliyetleri besleyen küçük moleküler güç paketlerinin üretiminde başrol oynar. Kısacası, fosfor ve azot olmadan hiçbir şey çoğalamaz.

Azotu bir milyar yıl önce okyanusta bulmak pek zor olmazdı muhtemelen. Ne de olsa siyanobakteriler azotun atmosferden nasıl çekileceğini çok önceden öğrenmişlerdi.

Fosforu bulmanın ise çok daha zor olabileceği anlaşıldı. Çünkü milyarlarca yıl önce Dünya erimiş bir top olmaktan çıkıp soğurken, fosfor yükselmiş ve sadece kıtalarda bulunan çok hafif kaya parçaları halinde katılaşmıştı. Yaşamın ilk evrildiği yer olan okyanusa fosfor sadece moloz olarak, o nadir kayaların aşınmasından kaynaklanan

kırıntılar halinde ulaşmıştı. Georgia Teknoloji Enstitüsü, Yale Üniversitesi ve Kaliforniya Üniversitesi Riverside Yerleşkesi'nden bir bilim ekibi, 2016 yılında çok eski zamanlardaki fosfor düzeylerini incelemeye karar verdi. Dünyanın dört bir yanından toplanan 15 binden fazla okyanus kayası örneğini titizlikle analiz ettiler ve 800 milyon yıl öncesine kadar fosfor düzeyinin oldukça düşük kaldığını buldular.[52] Fosfor miktarı artmadıkça, fotosentez yapan organizmalar çoğalamazdı; onlar çoğalmadıkça, atmosferde ve okyanuslardaki oksijen düzeyi yükselemezdi; o yükselmedikçe de iri ve aktif hayvanlar evrilemezdi. Yani çok önemli olan tek bir bileşenin eksikliğinin, hızlı hareket eden iri canlıların ortaya çıkmasını yüz milyonlarca yıl geciktirmiş olması mümkün. Yerkabuğuna sıkışıp kalmış olan fosforun ortaya çıkmasını sabırla beklemek zorundalardı.*

Peki sonunda bu önemli minerali karadan serbest bırakan şey neydi? Büyük olasılıkla, kıtaların zımparalanmasından başka bir şey değil. Lav akıntıları bir miktar fosforu yüzeye çıkarmış, yüzeydeki fosfor da havayla etkileşerek serbest kalmış olabilir. Kartopu Dünya'nın 770 milyon yıl önce yinelenen bir versiyonu ve yaklaşık 635 milyon yıl önce gerçekleşen sonuncusu da bunda rol oynamıştı. Kilometrelerce yükseklikteki buzullar önce ekvatora doğru, sonra da kutuplara doğru akarken, tabanlarındaki kayalık kalıntılar altlarındaki zavallı dağları zımparalayarak ufalamış, böylece büyük miktarda fosfor ve başka mineraller okyanusa akmış olmalı. Bu akış –zengin bir gübre gibi– okyanus yüzeyindeki yeşil alglerin ve siyanobakterilerin bolca çoğalmasını teşvik etmiş, onlar da atmosferdeki oksijen miktarını artırarak iri, aktif, oksijen oburu hayvanların evrimini mümkün kılmış olmalı.**

* Çok sayıda biliminsanı, muhtemelen birkaç yüzyıl sonra bizim de bir fosfor kriziyle karşı karşıya kalacağımız konusunda uyarıyor. Gübrelerdeki fosforun çoğu hızla tükettiğimiz fosfor yataklarından geliyor. Gelecekte bir noktada, dünyanın artan nüfusuna yiyecek sağlamaya yetecek fosforun arayışına girmek durumunda kalabiliriz.

** Jeologlar oksijendeki artışın sadece daha fazla fotosentezden kaynaklanmadığını bilmenizi isteyeceklerdir. Bunun nedeni fotosentezin, solunumun ve çürümenin küresel olarak tam dengede olmasıdır. Fotosentez, havadan çektiği her bir kar-

Bu arada, gezegenbilimci David Catling, eğer evrenin başka yerlerinde zeki varlıklar varsa, onların da oksijen soluduklarını öne sürüyor. Bunun nedeni, oksijen kadar enerji üretebilen başka sadece iki molekül olması: flor ve klor. Ama flor organik maddeleri patlatır; klor ise organik maddeleri parçalar. Dolayısıyla Catling uzayın herhangi bir yerindeki canlıların, suyun fotosentez yoluyla ayrışması sırasında ortaya çıkan oksijenle beslenmesi gerektiğini düşünüyor. Bu da eski bilimkurgu filmlerinin doğru olabileceği anlamına geliyor. Uzaylılar burada uzay gemisinden inseler, kendilerini evlerindeymiş gibi hissedebilirler.

Dünya'da nispeten az olayın yaşandığı bir milyar yıllık dönemden sonra, Sıkıcı Milyar aniden sona erdi. Oksijenli okyanusumuzdaki ilk hayvanlar, bitkilerin karaya çıkmasından yüz milyonlarca yıl önce belirdi. 700 ila 800 milyon yıl önce ortaya çıktılar, ki bu da Kartopu Dünya dönemine ve fosfor ile oksijenin bollaştığı zamana denk geliyor. Fakat hayvanların ortaya çıkışının bunlardan herhangi biriyle doğrudan bağlantılı olup olmadığı hararetli bir tartışma konusu.

Acaba ilk hayvan atalarımız kimlerdi? Bu ilginç soru üzerinde anlaşmazlıklar var. Hava, su ve güneş ışığı kullanarak fotosentez yapabilen canlılardan farklı olarak kendi besinlerini üretemediklerini biliyoruz, ama üretebilenlerle beslenmekten memnundular. Bazı biliminsanları tüm hayvanların ktenoforlardan (denizanasına benzeyen deniz canlıları) türediğini düşünüyor. Ama ben, ilk hayvan atamızın sünger olduğu yönündeki daha yaygın kabul gören kuramı seviyorum. Ne zaman banyo yapsam, şöyle bir durup, katettiğimiz yolun uzunluğunu takdir ediyorum.

Süngerin avını kovalaması gerekmiyordu, dolayısıyla fazla oksi-

---

bondioksit molekülüne karşılık bir oksijen molekülü salar. Solunum ve çürümede bunun tam tersi olur: Bir oksijen alınır ve bir karbondioksit salınır. Dolayısıyla atmosferdeki oksijen düzeyi, ancak siyanobakteriler gibi karbondioksitten oluşan canlıların çürümeleri engellenirse yükselebilir. Şanslıyız ki bu gerçekleşti. Milyonlarca yıl önce, büyük miktarlarda organik madde okyanus tabanına çöküp gömüldü, zamanla da petrol ve doğalgaz yatakları haline geldi. Ne yazık ki, bu fosil yakıtları yaktığımızda karbondioksiti atmosfere geri veriyoruz ve bu da Dünya'yı ısıtıyor: bugün karşı karşıya olduğumuz rahatsız edici bir gerçek.

jen ihtiyacı yoktu. Ama hareketli hayvanların o ihtiyacı vardı. Böylece Kartopu Dünya'nın son soğuk bölümünün ardından, okyanuslarda daha fazla oksijen olunca, evrimsel açıdan gaza basıldı. Yaklaşık 575 milyon yıl önce, daha iri hayvanlar ortaya çıktı. Jeolog Tim Lyons, "Gerçek avcı hayvanlar işte o zaman ortaya çıktı. İrilik ve hareketlilik, yüksek oksijen düzeyiyle gelen lükslerdi," diyor. Bu oksijen sayesinde kabuklar, iskeletler ve dokuları birbirine bağlayabilen güçlü, esnek bir protein olan kolajen de üretebildiler. Bu yeniliğe çok şey borçluyuz; proteinimizin yaklaşık yüzde 30'u kolajendir (Yunanca "tutkal" anlamına gelen sözcükten türetilmiş bir ad).[53] Çoğu kıkırdaklarımızda, tendonlarımızda, kemiklerimizde, derimizde ve kaslarımızda bulunur. Oksijen hayvanlara enerji aşıladı ve kendilerini biçimlendirmelerini sağladı. Nihayet yaklaşık 510 milyon yıl önce, kadim balıklar yüzgeçlerini sallayarak başka balıkları takip ediyorlardı. Etçil balıklar daha küçük yüzücülerle, onlar da fotosentez yapan alg ve siyanobakterileri yiyen canlılarla ziyafet çekiyordu. Bize bol miktarda yiyecek sağlayan deniz besin zinciri nihayet yerine oturmuştu.

Fakat fotosentezin gezegenimize yapacakları henüz bitmemişti. Sonraki yenilik bitkilerdi. Fotosentezin Dünya'yı çok önemli başka bir yolla halihazırda dönüştürmüş olması, onların ortaya çıkışını kolaylaştırdı. 2 milyar yıldan uzun süre önce fotosentez havaya oksijen kattığında, atmosferin yükseklerindeki morötesi ışınlar, O_2'nin bir kısmını parçalamaya başladı; böylece ince bir ozon (O_3) katmanı oluştu.*

Ne şanstır ki bu ozon Dünya'nın üzerini bir şemsiye gibi kapatarak, organik molekülleri paramparça edecek morötesi ışınların yüzde 98'inin yüzeye ulaşmasını engelledi. Bu da girişimci ruhlu herhangi bir canlının okyanustan çıkmasını daha güvenli duruma getirdi. Yaklaşık 500 ila 700 milyon yıl önce algler bu maceraya atıldı; kayalık

* On dokuzuncu yüzyılda biliminsanları Güneş'ten gelen ışığın kesintisiz spektrumunu analiz ederken bu katmanın varlığını tahmin ettiler. Çünkü dar bir dalga boyu bandı kadar kesinti görülüyordu. Eksik kısım ozonun yansıttığı dalga boylarına karşılık geliyordu. Böylece Dünya'nın ölümcül morötesi ışınları emen bir ozon tabakasıyla çevrili olması gerektiğini fark ettiler.

kıtaları istila etmeye başladılar. Sonunda yosunlar ve ciğerotları gibi ilkel bitkilere, ardından da kara bitkilerine evrileceklerdi.

Bitkiler kıtalara yayılır yayılmaz, oksijen düzeyi hızla yükseldi. Balıkların okyanuslardan çıkmasını ve bizim gibi oksijene aç, hızlı hareket eden torunlarının karada yaşamasını mümkün kılan şey, yaklaşık 300 ila 400 milyon yıl önce atmosferimize yapılan bu son olağanüstü takviyeydi. Oksijen düzeyi yüzde 10 civarından, önce yüzde 30 ila 35'e fırladı; ardından bugün alışık olduğumuz oran olan yüzde 21'e indi.[54] Fotosentez her yıl atmosfere yüz milyarlarca ton oksijen pompalıyor ve bunun yaklaşık 136 bin litresini tüketiyorsunuz.[55] Soluduğunuz oksijenin yaklaşık yarısı, çeşitli alg ve siyanobakteri türleri tarafından üretildi. Diğer yarısı için ise kara bitkilerine teşekkür borçlusunuz.

Fotosentez, iki milyar yılı aşan bir süreçte, kıtaları Mars'ınkilere benzeyen ve okyanuslarında sadece tekhücreli organizmalar barındıran gezegenimizi, çeşit çeşit canlıyla dolu yeşil-mavi bir yere dönüştürdü. Fotosentezin yarattığı değişikliklerin büyüklüğü karşısında coşkuya kapılmamak mümkün değil. Siyanobakterilerin saldığı zehirli oksijen Dünya'yı paslandırdı; siyanobakterilerin rakipleri ya öldü ya da saklandı. Böylece geniş bir alana yayılan siyanobakteriler, atmosfere büyük miktarda roket yakıtı yani oksijen saldılar. Kısa süre içinde, mitokondrilerle dolu olan yeni ve daha güçlü hücreler ortaya çıktı. Bunlar daha fazla enerji elde edebiliyor ve daha fazla genle protein üretebiliyordu; dolayısıyla canlıların karmaşıklığı büyük bir hızla arttı. O hücrelerin bazıları, fotosentez yapan fabrikacıklara benzeyen kloroplastların yardımıyla oksijen düzeylerini daha da yükseltti. Ardından okyanuslarda yırtıcı hayvanlar ve göz kamaştırıcı ekosistemler biçimlenirken, fotosentez yapan bitkiler de kıtaları yeşillendirmeye başladı.

Bu arada, atmosfer oksijenlenirken, canlıların temel atomları adeta dev bir mikserle karıştırılmaya başladı. Karbon, azot, fosfor, kükürt ve oksijen atmosferde ve sularda dolaştı. Organizmalara dahil oldular; okyanusun dibine battılar; tektonik levha hareketleriyle Dün-

ya'nın derinliklerine itildiler; volkanik patlamalarla ve levhalar halinde tekrar dışarı atıldılar. Onca itiş kakıştan sonra kendilerini bir kez daha bitkilerde ve diğer yaşam formlarında buldular.*

Kıtaları saran kadim yeşil bitkilerin, varoluşumuzu mümkün kılan bir katkısı daha var elbette. İnsan türü protein gereksiniminin yaklaşık yüzde 15'ini deniz ürünlerinden alırken, çoğumuz büyük oranda kara bitkilerinden elde edilen gıdalarla besleniyoruz. Vücudumuzun yapıtaşlarını onlar oluşturuyor. Bitki kaynaklı besinler olmasaydı biz de olmazdık.

Ama o besinleri üretebilir duruma gelmeden önce, bitkilerin imkânsızı başararak kıtaların sert, çıplak kayalarını fethetmeleri gerekmişti. Betondan ekmek yapmaya benzeyen öylesine zor bir işi nasıl başarabildiler? Bu gizemi çözmeye çalışan biliminsanları, yanıtın kısmen bitkilerin göründüğünden daha becerikli, hatta bazılarına göre daha zeki olmalarında yattığını fark edecekti.

* Britanyalı biliminsanı James Lovelock ve Lynn Margulis'e tartışmalı Gaia hipotezi konusunda ilham veren şey, canlılık ile Dünya yüzeyinin kimyası ve jeolojisi arasındaki bu olağanüstü dengeyi fark etmeleriydi. Lovelock'ın Dünya'nın kendisinin yaşayan bir süper-organizma olduğu iddiasını kabul eden çok az biliminsanı var. Bununla birlikte, neredeyse herkes fotosentezi, solunumu, mineral döngülerini ve tektonik levha hareketlerini içeren kendi kendini düzelten geribildirim döngülerinin, Dünya'yı yaşanabilir kılan benzersiz koşullar yarattığı konusunda hemfikir.

10

Tohumlar Ekiliyor

Bitkiler ve Yoldaşları Varoluşumuzu Nasıl Mümkün Kıldı?

Toprakla aramda derin bir bağ yok mu?
Ben de kısmen yaprak ve bitki küfü değil miyim?[1]

Henry David Thoreau, *Walden*

10 EYLÜL 1867'DE İsviçre Doğa Tarihi Topluluğu'nun, tablo gibi kuleleri ve tuz banyolarıyla bilinen sakin Rheinfelden kentinde yapılan o yılki toplantısında, Simon Schwendener adında yumuşak huylu bir botanikçi bomba gibi bir iddia ortaya attı. Otuz sekiz yaşındaki Schwendener nazik, duyarlı, şair ruhlu bir bekârdı. Ama inandığı fikirleri canla başla savunmaktan da kaçınmazdı.[2] Karl Marx'ın *Kapital*'i yayımladığı yıl, Schwendener de likenbilimciler için aynı ölçüde devrimci görünen bir kuram ileri sürdü. Kuram infial dalgalarının yayılmasına neden oldu. Ama artık biliyoruz ki, Schwendener'in likenlerin hiç de göründükleri gibi olmadıklarına ilişkin radikal fikri, bitkilerin nasıl olup da inanılmaz bir başarıya imza attıklarını açıklıyor.

Gezegenimizin bitkilerin hâkimiyetinde olduğu söylenebilir. Her ne kadar onlara pek önem vermesek de Dünya'nın biyokütlesinin yaklaşık yüzde 80'ini bitkiler meydana getiriyor; buna karşılık kara hayvanları yüzde 0,1'den az bir oranı temsil ediyor.[3] (Geri kalanın çoğu tekhücreli organizmalar ile mantarlardan oluşuyor.) Dünya yüzeyinin donmayan ve aşırı kuru olmayan her yerini bitkiler örtüyor. Ama 500 milyon yıl öncesine kadar hiç bitki yoktu. Nokta. Dağlar, ovalar ve kocaman kıta düzlükleri soğuk taştan ibaretti: ıssız, rüzgâr-

lı, kasvetli. Bitkiler bir şekilde o taşlardan, havadan ve sudan capcanlı bir yaşam dokusu oluşturdu. Kıtaları tamamen değiştiren bu akıl almaz derecede zor işi nasıl başarmışlardı?

Bu sorunun yanıtlanmasına katkıda bulunacak olan Simon Schwendener ilk başta hayatını bitki yetiştirerek kazanmaya niyetlenmişti. Çiftçi olan babası pek de varlıklı sayılmazdı; oğlunu devlet memuru olup rahat bir işe kavuşmaya teşvik etti. Ama Schwendener bilime ilgi duyuyordu ve tutkusunun peşinden gitti; gerçi sonradan bir meslektaşıyla konuşurken, senelerce aldığı araştırmacı maaşının yetersizliği nedeniyle evlenemediğini söyleyecekti yerinerek.[4] Doktorasını aldıktan sonra İsviçre'nin usta mikroskop uzmanlarından biriyle çalışmaya başladı. Mikroskoplar bilinmeyen diyarlara açılan bir pencereydi ve Schwendener gördüklerini biyolojinin daha derin gizemlerini araştırmak için kullanmak istiyordu. İşte liken olarak bilinen mütevazı organizmaları incelemeye böyle başladı.

Likenler kurumuş ufak deniz yosunu yapraklarına benzeyen, aşırı derecede yavaş büyüyen canlılardır. Çıplak kayaların üzerinde ve koşulların elverişsiz olduğu başka bazı yerlerde mutlu mesut yaşarlar. Botanikçiler onların kadim bitkiler yani "ilkel bitki örtüsü" olduğunu düşünmüştü. Ama Schwendener merceğini likenlere odakladığında, kafası fena halde karıştı.

Merakla bakan gözlerine, bu varlıklar bitkilerden bütünüyle farklı görünmüştü. Alışılmadık bir kucaklaşmayla birbirlerine kenetlenmiş iki farklı canlı türü var gibiydi. Tombul yeşil alg kolonilerini çevreleyen ince beyaz mantar iplikçikleri seçiliyordu. Algler sanki tuzağa düşüp av olmuş gibiydi. "Mantar, efendi rolünde," kanısına vardı Schwendener, "... başkalarının emeğiyle yaşamaya alışmış bir parazit. Yeşil algler ise etrafına topladığı, tutsak edip çalışmaya zorladığı köleler."[5]

Schwendener'in iddiası tutkulu likenbilimciler camiasında kargaşa yarattı. Artık oturmuş olan Linnaeus sınıflandırma sistemine göre, bir organizma ancak tek bir türe ait olabilirdi; iki türe birden değil. Ayrıca mantar ve alg hiç de uyumlu bir çift gibi görünmüyordu. *Fungi of West Cornwall* (Batı Cornwall Mantarları) kitabının yazarı karşı çıktı: "Yıkıcılık mantarların karakteristik bir özelliğidir. Beslenmek

için neye musallat olsalar, onu ya hasta ederler ya da öldürürler. ... Ama tüm tecrübelerin aksine, 'liken oluşturan mantarlar'ın musallat olduğu alglerin gelişip büyüyebileceği söyleniyor."[6] *The Lichens of the Environs of Paris* (Paris Yöresi Likenleri) kitabının yazarına göre ise Schwendener'in fikri "ya saf hayal gücünün ya da kasıtlı bir yanıltmacanın ürünü" idi.[7] *A Monograph of Lichens Found in Britain* (Britanya'da Bulunan Likenlere Dair Bir Monografi) kitabının yazarı, Schwendener'in sansasyonel "Likenbilim Romansı"ndaki "tutsak Alg kızı ile zorba Mantar efendi arasındaki doğal olmayan birliktelik" öyküsüyle dalga geçti.[8] Doğa yazarı Edward Step, Schwendener' in kuramının "hak ettiği alaycılıkla karşılanmış" olduğunu yazdı.[9]

"Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısı bir kez daha güçlü etkisini göstermişti. Seksen yılı aşkın süre sonra, 1950'lerde bile, Schwendener'in iddiasını hâlâ reddeden en az bir seçkin likenbilimci vardı.[10] Ama Schwendener her bakımdan haklı çıktı; belki bir konu hariç. Likenlerdeki mantarlar ile alglerin sömürüye dayalı bir efendi-köle ilişkisi içinde mi oldukları, yoksa her iki tarafa da fayda sağlayan daha sıcak bir ortaklığın keyfini mi çıkardıkları hâlâ tartışmalı bir nokta. Her ne kadar algler fotosentezle ürettikleri şekerin bir kısmından vazgeçseler de, karşılığında mantarlar onlara kayalardan elde ettikleri minerallerin bir kısmını veriyor.

Mantarlar mineral bulabiliyor çünkü inanması zor bir becerileri var: Taş yiyebiliyorlar. Yaklaşık bir milyar yıldır var olan mantarlar, hem bakterilerden, hem bitkilerden, hem de hayvanlardan farklı olan benzersiz bir yaşam formu grubu. Mantarlar iki güçlü araca sahip: Kaya eriten asitler salgılıyor ve ince uzantılarını küçük çatlakların içine uzatıp sıkıca tutunarak, kayayı parçalayacak kadar yüksek basınç oluşturabiliyorlar. Mineralleri bu yolla alıyorlar. Besinlerinin geri kalanı da bulmayı başardıkları ölü veya canlı organik maddelerden geliyor. Besin alışverişinde bulunan mantarlar ile algler arasındaki kadim bir ittifak, likenleri inanılmaz derecede güçlü organizmalara dönüştürdü. Hem fotosentez yapıyor, hem asit salgılıyor, hem kuvvetle yapışıyor, hem de basınç uygulayabiliyorlardı.

Yaklaşık 500 milyon yıl önce tekhücreli alglerden, yapraksız karayosunları ve ciğerotları gibi ilkel bitkiler evrildi. Ama karşılarına

büyük zorluklar çıktı. Alg ataları suyun içinde gezinirken, yaşamsal önem taşıyan mineraller onlara akıntıyla ulaşıyordu. Fakat karada yaşamak o kadar rahat değildi. Etrafta tek tük rastlanan bakteriler, algler ve mantarlar, yavaş yavaş ince, ilkel bir toprak tabakası (organik madde ve minerallerden oluşan ince bir kabuk) oluşturmaya başlıyordu. Fakat Schwendener'in devrim niteliğindeki keşfi, bitkilerin kıtaları istila etmesini mümkün kılan etkenlerden birini açıklıyordu. Likenler çok daha geniş bir alana yayılabiliyordu çünkü hem fotosentez yapabiliyor hem de mineral bulabiliyorlardı. Kayalardan toprağın oluşmasına yardımcı oldular ve böylelikle bitkilerin önünü açtılar.*

Buna rağmen ilk bitkiler sert koşullarla karşı karşıyaydı. Orada burada biraz toprak varsa da, hâlâ çok seyrek bir kabuktu. Bitkilerin ise kesintisiz bir mineral kaynağına gereksinimi vardı. DNA, RNA ve protein üretimi için fosfor, klorofil üretimi için magnezyum ve manganez, hücre duvarlarını güçlendirmek için kalsiyum, enzim üretimi için potasyum, demir ve kükürt lazımdı. İlk bitkilerin kökleri yoktu; kazma taşıyabilecek durumda olmadıkları da belli. Öyleyse bu müstakbel öncüler, gerek duyacakları bol miktarda minerali kayalardan nasıl çıkarabilirdi?

1880'de Berlinli seçkin bitki patoloğu Albert Frank, ağaçların dibindeki toprağı deşmeye başladığında bu soruyla ilgilenmiyordu. Aslında kadim bitkilerle hiç işi yoktu. Trüf mantarı denen lezzetli mantarın peşindeydi; çünkü Prusya tarım, arazi ve ormancılık bakanı onu çiftçilerin trüf mantarı yetiştirip yetiştiremeyeceklerini belirlemekle görevlendirmişti. Frank zengin orman toprağını kazarken, trüf mantarlarından yakındaki ağaçların kök uçlarına uzanan ince iplikçikleri keşfedince çok şaşırdı. İplikçikler kök uçlarına öyle yoğun bir örtü örmüştü ki, onları dantel bir eldiven gibi kaplamışlardı; kök uçları toprağa değmiyordu bile.[11]

* Yakın zamanda yapılan bir genetik çalışma, modern likenlerin bitkilerden sonra evrildiğini öne sürüyor. Bununla birlikte, paleobotanikçi Paul Kenrick'in açıklamasına göre, büyük olasılıkla toprağın ilk ince kabuğunun oluşmasına yardımcı olan daha eski, artık nesli tükenmiş liken soyları vardı. O kadim likenlerden bazıları alglerle mantarların kurduğu ortaklıklar, bazıları da siyanobakterilerle mantarların kurduğu ittifaklar olabilir.

Mantarlar ne yapıyordu? Mantarları daha önce inceleyen kişiler, onların salt parazit oldukları sonucuna varmıştı; ama Frank daha yakından baktı. Mantar iplikçikleri sadece canlı ağaçlarda vardı; ölü ağaçlarda yoktu. Ayrıca hem genç hem de yaşlı ağaçlarda mevcuttu.[12] Kuşkusuz mantarlar parazit olsaydı, yaşlı ağaçlar zarar görmüş olurdu; fakat görünürde bir hasar yoktu. Frank bunun parazitlik değil de başka bir ilişki olduğuna karar verdi; bu beklenmedik ilişki türü ona tanıdık gelmişti. Schwendener'in likenleri bitkiler âleminden ayırması, genel botanikçi olan Frank'ı –pek çok likenbilimcinin aksine– rahatsız etmemişti. Hatta Frank likenlerdeki ilişkiyi tanımlamak için "birlikte yaşamak" anlamındaki *symbiotismus* sözcüğünü bulmuştu.[13] Şimdiyse Frank başka bir ittifakla karşı karşıya olduğu kanaatindeydi; bu kez ortaklık mantarlar ile ağaçlar arasındaydı. Mantarın ağaca mineral ve su veren bir "sütanne" rolünde olduğunu, ağacın da ona şeker armağan ederek karşılık verdiğini ileri sürdü.[14]

Frank'ı eleştiren çok sayıda kişiden biri, kuramın "sabrımızı ve saflığımızı sınamak için tasarlandığından" şikâyetçiydi.[15] Ama Schwendener gibi Frank da haklıydı. Mantar iplikçiklerine "mantar" ve "kökler" anlamına gelen Yunanca sözcüklerden oluşturduğu *mycorrhizae* (mikoriza) adını verdi. Tek bir mantar iplikçiği bir dikiş ipliğinden otuz kat incedir, ama ağları örülme biçimleri sayesinde çok güçlüdür. Bir ağacın mineral emme yeteneğini muazzam derecede yükseltirler. Bugün bir metreküp toprak yüzlerce kilometre mikorizal mantar içerebilir. Bitki türlerinin yaklaşık yüzde 90'ı onlarla ilişki içerisinde yaşıyor.

1912 yılında İskoçya'nın Rhynie şehrinde yapılan bir fosil keşfi, bu ilişkinin kadim kökenlerini ortaya çıkardı. 407 milyon yıllık fosillerde ilkel, köksüz bitkilerin çok net görüntüleri vardı; bitkilerin altından da tıpkı mikorizal mantarlara benzeyen yapılar dallanmıştı.[16] İlk bitkilerin kıtaları kolonize edebilmesini sağlayan şey, likenlerin yardımına ek olarak, mineral madenciliği yapan mantarların ağlarıyla karşılıklı yarara dayalı bir toplum yaratmaları olmuştu. Vücudumuzda bulunan minerallerin çoğunu sert kayalardan ilk çıkaranlar, mikorizalar yani ince mantar iplikçikleriydi.

Fakat o zaman bile, karaya çıkmayı aklından geçiren ilkel bitkiler tereddüt etmiş olabilir. Kimyanın tuhaf bir sonucu olarak, bulmalarına hiçbir mantarın yardım edemeyeceği çok önemli bir mineral vardı ve o olmadan da bitkiler hiçbir yere gidemezdi. DNA'larını, RNA'larını ve proteinlerini üretmek için azota gerek duyuyorlardı ama azot kayalarda aşırı derecede az bulunuyordu.

İşin komiği, her yanı saran hava azot doluydu. Atmosferin yüzde 78'i azottan oluşur; 500 milyon yıl önce de kesinlikle havada bolca azot mevcuttu. Ama bir azot gazı molekülü iki azot atomundan oluşur. Aralarındaki üçlü bağlar o kadar güçlüdür ki sanki birbirlerine sımsıkı sarılmış sevgililer gibidirler. Başkalarını gözleri görmez ve başka bağ kurmakla ilgilenmezler. Yani azot gazı neredeyse hiç tepkimeye girmez. Bu sayede, her nefesle birlikte vücuda giren büyük miktarda azot, yine olduğu gibi dışarı çıkar. Elbette bu iyi bir şeydir çünkü azot atomları arasındaki bağların kırılması çok fazla enerji açığa çıkarır; nitrogliserin veya TNT'yi düşünün. Ama biliminsanları için bu durum çözülmesi zor bir gizem yarattı. Acaba bitkiler gerek duydukları azotu bulmayı nasıl başarmıştı? *Nature* dergisinin belirttiği üzere, beklenmedik yanıtın "devrim yaratan bir duyuru"yla ortaya çıkması için zekice bir hafiyelik ve kırk yıl arayla iki keşif yapılması gerekti.[17]

Gerçi yanıt arayışları sırf akademik bir meraktan ötürü değildi. O zamanın en acil çözüm gerektiren bilimsel sorusu buydu. Çünkü 19. yüzyıl başlarında Avrupa, nüfusuna yetecek yiyeceği sağlamakta güçlük çekiyordu. Hasat edilen ürün miktarı düşük olunca, hızla artan nüfus yiyecek kıtlığından dolayı büyük sıkıntılar yaşamaya başlamıştı. Fransız kimyacı Jean-Baptiste Boussingault'nun çok iyi bildiği bir durumdu bu. Babası ayakkabıcı olan Boussingault, Paris'in yoksul mahallelerinden birinde büyümüştü. Komşularının çoğu yırtık pırtık giysiler giyen, eskicilik yaparak yaşamlarını sürdüren insanlardı. "Çocuklar soğukta, açlık içinde büyüyordu. Ekmek istemek ve artan yemekleri almak için kapımıza gelirlerdi ama bizim evde de pek olmazdı. Bir süre sonra anne ya da baba hastalanır, iyice sefalete dü-

şerlerdi," diye anlatacaktı sonradan.[18] Çocuklar çoğu zaman yetimhaneye gönderilirdi.

Dolayısıyla seneler sonra Peru'nun kıyı düzlüklerine gittiğinde, özellikle bir manzara Boussingault üzerinde derin bir etki bıraktı. Çiftçiler kumlu kili, sadece bir malzeme ekleyerek verimli arazilere dönüştürüyordu: guano yani kuş ve yarasa dışkısı.

Bu durum Boussingault'nun çok ilgisini çekti. Azot zengini amonyaktan (NH_3) guanoda bolca bulunduğunu biliyordu. Oksijenin ateş için elzem olması gibi, azot da bitkiler için elzem miydi acaba?

Boussingault ömrü boyunca eğitimini almadığı konulara girmekte uzmanlaşmıştı. Çocukken pek umut vaat eden bir hali yoktu. İlkokuldayken "haddelenen demir gibi bir dersten çıkıp ötekine girdiklerini" hatırlayacaktı daha sonra.[19] Dersleri pek anlamıyordu; öğretmenleri de ona zekâ geriliği varmış gibi davranıyordu. Boussingault durumunun umutsuz olduğunu hissederek on yaşında okuldan ayrıldı ve ünlü bir kimya profesörünün laboratuvarında temizlikçilik yapan bir arkadaşına yardım etmeye başladı; ama yaşının çok küçük olduğu anlaşılınca işten çıkarıldı. Neyse ki onun aşçı ya da eczacı olmasından umudu kesen ebeveyni, ilgilendiği şeylerle uğraşmasına izin verdi. Bu da çoğunlukla bilimsel kitaplar okuması anlamına geliyordu; annesinin ona aldığı dört ciltlik kimya ders kitabı gibi. On dört yaşındayken üniversitedeki fen derslerine girmeye başladı; o sıralarda dersler kalabalık salonlarda ayakta durmayı göze alan ziyaretçilere açıktı.

Boussingault on altı yaşına geldiğinde bir madencilik okulundan kabul aldı. İki yıl boyunca jeoloji, kimya ve ilgili diğer konuların derslerini gördü. Kısa süre Alsace'taki bir madende çalıştı. Ardından sıradışı bir teklif aldı: Peru'daki bir madencilik okulunda öğretmenlik. Bu harika bir fırsattı. Meşhur doğabilimci Baron Alexander von Humboldt, kendine özgü bir yolda yürümesi, bu kapsamlı keşif ve araştırma fırsatını kullanması için onu cesaretlendirdi. Boussingault bu teşviğin de etkisiyle Latin Amerika'nın büyük bir kısmını gezdi ve çok az resmi eğitimi olmasına rağmen kıtanın jeolojisi, coğrafyası, meteorolojisi ve yerel halkın gelenekleri hakkında birçok yazı kaleme aldı. On yıl sonra Fransa'ya geri döndü ve varlıklı bir Alsace çift-

çisinin kızıyla evlenerek, büyük bir mülkün yönetim sorumluluğunu üstlendi.

O noktada, hiç eğitimini almadığı bir başka konuya girmesini mümkün kılan bir pozisyondaydı. Kendini tarımsal kimyacı olarak eğitti ve kayınpederinin çiftliğini ilk tarımsal araştırma istasyonuna dönüştürdü.

Boussingault bu açık hava laboratuvarında, Peru'da çok ilgisini çekmiş olan guano meselesine dönmek için sabırsızlanıyordu. Bitki gelişiminde azot kritik önemde miydi? Eğer öyleyse, bitkiler hangi gizli süreçle azot elde ediyordu? Bunu anlamak için titiz tarımsal denemelere girişti. Arazide inşa ettiği ufak laboratuvarda, dışkı ve saman gibi pek çok gübrenin içindeki azot miktarını ölçtü. En güçlü gübrelerin, azotça en zengin olanlar olduğunu ortaya koydu. Boussingault ve başka kişilerin çalışmalarıyla bu durum netlik kazanır kazanmaz, çiftçiler bulabildikleri en ucuz azot kaynağına yöneldi. Güney Amerika'dan büyük miktarda guano ithal etmeye başladılar ve pek çok kişi açısından kazançlı bir guano patlaması yaşandı.

1836'da Boussingault konuyla ilgili başka bir soruyu araştırmaya başladı: Eski yöntemlere bağlı kalarak sadece tahıl eken çiftçilerin toprağı bir süre sonra ürün vermez oluyorken, neden tahılla dönüşümlü olarak bezelye, yonca veya diğer baklagillerden eken çiftçilerin toprağı verimli kalıyordu? Beş yıl süren büyük ölçekli bir deney kapsamında, Boussingault uyguladığı gübredeki azotun net miktarını takip ederek, ekinleri dönüşümlü olarak ekti. Etkileyici bir denemede, hasat ettiği şeker pancarı, buğday, yonca ve yulaftaki azot miktarı, verimsiz toprağa eklediği azot miktarından 45 kg kadar fazla çıktı.[20] Bu gerçekten çok garipti ama nedenine ilişkin bir ipucu da yakalamıştı. Büyümüş buğday saplarında, tohumlarda olduğundan daha çok azot yoktu. Öte yandan, baklagillerden olan yoncada azot içeriği gizemli bir şekilde üçte bir oranında artmıştı.[21] Sanki baklagiller yoktan azot yaratıyor gibiydi, ama o azotun nereden geldiği bir muamma olarak kaldı.

Onlarca yıl sonra 1880'lerde, sabırlı iki adaş, tarımsal kimyacı Hermann Hellriegel ile Hermann Wilfarth bu gizemi yeniden ele aldı. Bitkilerin azot elde etmesine topraktaki bir şeyin yardım edip etme-

diğini merak ettiler.[22] Prusya'daki –finansman sorunu olmayan– kendi tarımsal araştırma istasyonlarında, azotsuz kumlu toprakta iki grup bezelye yetiştirmeye karar verdiler. Gruplar arasında tek bir fark vardı: Birinin toprağı buharla sterilize edilmişti.

Sterilize edilmemiş topraktaki bezelyelerin geliştiğini ve köklerinde yumrular oluştuğunu gördüler; bu yumrularda fazla azotun depolandığı düşünülüyordu. Fakat sebebi her neyse, sterilize toprağa ekilen bezelyeler sağlıksızdı.

Bu manzara karşısında kafaları karıştı. Hangi gizli bileşen, sterilize edilmemiş toprağı bu kadar verimli yapabilirdi? Ekin saplarının birazını suyla karıştırıp bulamaç yaptılar. Sonra bezelye tohumu ektikleri steril toprağa ondan ufak bir miktar –bir yemek kaşığı kadar– eklediler.

Beklediklerinden farklı bir sonuçla karşılaştılar: Bezelyeler serpilip gelişmişti. Ayrıca araştırmacılar, baklagillerin köklerinde görmüş oldukları yumruların yardımsever misafirlerle yani bakterilerle dolu olduğunu keşfettiler.

Hellriegel ve Wilfarth, beklenmedik bir şekilde başka bir işbirliği düzenine rastlamıştı. Bitkiler neredeyse hiç tepkimeye girmeyen azotu atmosferden çekemez ama amonyakta (NH_3) bulunan azotu kullanabilirler. Anlaşıldı ki bakteriler azot gazından amonyak yapmayı başaran tek yaşam formuydu. Bakteriler konakları olan baklagile amonyak verirken, karşılığında havadan azot çekmek gibi çok enerji tüketen bir işlem için gereken şekeri alıyordu.*

1886'da Hellriegel bulgularını Berlin'de düzenlenen bir konferansta açıkladı. Salondan "bravo!" nidaları yükseldi.[23] Hellriegel ile Wilfarth bir anda tarımsal dünyanın yıldızları oldu. Sonunda yonca, bezelye ve fasulye gibi "hayli becerikli" baklagillerin tarlanın verimliliğini tam olarak nasıl o kadar yükselttiğinin açıklığa kavuşması bütün çiftçileri mutlu etti.[24] Kısa süre sonra, serbest yaşayan siyanobakterilerin de toprağa azot eklediği keşfedildi. Bitkiler, nihayetinde bak-

* Artık baklagil köklerinin yeraltında sohbet bile başlattığını biliyoruz. Yakınlardaki bakterileri çeken bir kimyasal salgılarlar ve bakteriler de köklere girme izni isteyen kimyasal bir sinyal gönderir.

terilerden elde ettikleri azot olmadan var olamazdı.

Bakterilerin gerçekleştirdiği bu işlem yaşam için kritik olmanın yanı sıra fevkalade zordur. Alman kimyacı Fritz Haber (sonradan ilk kimyasal silahların kullanımını yönetecekti), 1908 yılında fabrikada amonyaklı (NH_3) gübre üretmek için bir yöntem icat etmeye girişti. Çünkü Güney Amerika guanosu patlamasından bir süre sonra, guano arzı yetersiz kalmıştı. Biliminsanları, gübre üretmenin bir yolu bulunmadığı takdirde Avrupa'nın yeniden kitlesel açlıkla karşı karşıya kalabileceği konusunda uyarılar yapıyordu. Alman Yahudisi olan Haber, sağlam bir azot tedariği olmadan Almanya'nın bir sonraki savaşı kazanmaya yetecek kadar patlayıcıya sahip olamayacağından korkan generallerin uyarılarını da dikkate aldı. Tepkimeyi hızlandırıcı katalizör olarak bir metal içeren bir tankta, azot ve hidrojen gazlarını karıştırdı. Fakat azot atomlarının birbirlerini bırakmaları için aşırı yüksek sıcaklıklar ve basınçlar uygulaması gerektiğini anladı: 400°C mertebesinde sıcaklık ve atmosfer basıncının 250 katı kadar basınç gerekliydi. Radarın, kişisel bilgisayarın ve dilimlenmiş ekmeğin toplam önemini aştığı öne sürülebilecek bu keşfi için Haber 1918 yılında Nobel Ödülü aldı. Bir süre önce, sizin içinizdeki azotun çoğu da havadan çekilerek yüksek sıcaklıklı ve basınçlı tanklardaki amonyağa gömülmüş durumdaydı muhtemelen. Çünkü günümüzde milyarlarca insan, fabrika üretimi gübrelerle yetişmiş ekinlerle besleniyor. Fabrikasyon amonyak olmasa, dünya nüfusu neredeyse yüzde 50 daha az olurdu; siz ve ben de hiç doğmamış olabilirdik.[25]

Her birimizin vücudunda yaklaşık 2 kg azot vardır; büyük bölümü de DNA ve proteinlerde bulunur. Bu azot atomlarının bir kısmı, azot gazından fabrikalarda elde edildi. Geri kalanını ise Hellriegel ve Wilfarth'ın keşfettiği üzere, bakteriler havadan çekti.

Yüz milyonlarca yıl önce karayosunları ve ciğerotları gibi yere yapışık, küçük, ilkel bitkiler evrildiğinde kıtalara yayılmayı başardılar çünkü yol arkadaşları vardı; tıpkı av köpekleri olan eski kabileler gibi. Bakteriler ve mantarlar, ilkel bitkilerin yoldaşı oldu. Şu anda içimizde olan atomları kayadan ve havadan çekip almak için hepsi güçlerini birleştirdiler.

Bitkiler besin bulma olanağına kavuştuğu anda, kıtaları ele geçirmelerinin önünde engel kalmamış oldu; en azından kuramsal olarak. Ama irileşmeleri ve dik durabilmeleri gerekiyordu. Yerden bitme yumuşak bir karayosunu bunu nasıl becerecekti peki? Tabii ki yepyeni icatlar yaparak.

İlkel bitkilerin yeni buluşlarından biri, dik durmayı sağlayacak bir omurga yani sap geliştirmekti. Bu iş için de onlara daha güçlü yapı malzemeleri lazımdı. Neyse ki ataları olan algler, hücre duvarlarını kuvvetlendirmek için kullanabilecekleri selüloz adlı fiberi çoktan icat etmişti. Ağırlık bakımından karşılaştırılırsa, bir selüloz iplikçiği çelikten kat kat güçlü olabilir. Bir ağaç yüzde 40 ila 50 oranında selülozdan oluşur; bugün gezegende en bol bulunan organik bileşen selülozdur. Fakat selülozun bir kötü yanı bulunur: Islanınca zayıflar. Bu nedenle bitkiler, hücre duvarlarındaki selülozu sarıp su geçirmez yapmak için lignin adlı başka bir madde kullanır; lignin de gezegendeki ikinci en bol organik bileşendir. [26]

Bu olağanüstü güçlü yapı malzemeleriyle saplar gelişti ve bitkilerin göğe uzanan inanılmaz tırmanışları başladı. Daha fazla enerji elde etmek için uzun damarlar aracılığıyla suyu ve besin maddelerini yapraklarına taşımaya başladılar; güneş ışınlarını yakalayan kloroplastlarla kaplı yapraklar, onların güneş panelleriydi.

Ama ağırlıkları onları devirme tehlikesi yarattığı müddetçe bitkiler çok fazla uzayamıyordu. Ayrıca yerden yüksekteki yapraklarını beslemek için daha fazla suya ve minerale de gerek vardı. Böylece, en hayranlık verici buluşlarından biri olan kökleri icat ettiler. Kökün kalın kısmı etkileyici görünse de büyük ölçüde sadece boru, matkap ve çapa görevi görür. Asıl kritik işlerin çoğu ise kök uçlarının hemen yukarısında gerçekleşir. Orada kök tüyleri adı verilen incecik minik uzantılar besin arar. Bir tahmine göre, tek bir çavdar bitkisinde 14 milyar kök tüyü bulunabilir.[27] "Bütün besinleri emiyorlar. Madencilik makineleri gibiler," diyor botanikçi Simon Gilroy.[28] Ayrıca suyu ve su içinde çözünmüş mineralleri çekmenin yanı sıra başka numaraları da var. Proton pompası denen minyatür nanomakineler toprağa hidrojen iyonları salar. Toprak parçacıkları o hidrojene tutunduğunda,

başka mineralleri tutamaz olur ve o mineraller de diğer pompalar ve kanallar aracılığıyla hızla içeriye çekilir. (Bu arada, biz ter ve idrar yoluyla mineral kaybederken, bitkiler minerallerin gitmesine asla izin vermez. Botanikçi Jim Mauseth'in açıkladığı gibi bunun anlamı şudur: "Bitkiler yapıları gereği mineralleri topraktan alıp içlerinde tutar; biz de minerallerimizi onlar sayesinde alırız. Dışarı çıkıp toprak yemeyiz.")

Kökler aralıksız süren mineral ve su arayışları sırasında, uzaklara yayılmanın da yolunu buldu. "Muhteşem Kır Çimeni" ve "Kır Otlarını Tanıyalım" gibi makalelerin de aralarında olduğu pek çok eser veren, çığır açan çevrebilimci John Weaver bitkilerin köklerini ne kadar derine uzatabileceğini keşfeden ilk kişilerden biriydi. 1918'den başlayarak dört yıl boyunca, Weaver ile güçlü kuvvetli öğrencileri 1150'den fazla kır bitkisinin köklerinin karmaşık yapısını ortaya çıkarmak için kürekler, buz kıracakları ve kürdanlar kullandılar.[29] Keşfettikleri en derin kazıcı bitki olan yonca 9,5 metre derine uzanmıştı; yani hemen hemen iki katlı bir binanın yüksekliği kadar.[30] Bazı bitkiler daha da derine iniyor. *Guinness Rekorlar Kitabı*'nda bir mağara sisteminden yararlanarak köklerini yerin 120 metre altına uzatan bir Güney Afrika incir ağacı var.

Bitkiler yüz milyonlarca yıl önce saplar, yapraklar, kökler ve diğer parlak yeniliklerle donanmış halde kıtalara yayıldı. Bu süreçte ekmeğini taştan çıkarırcasına bir başarı sergilediler. Yapraklar havadan karbon ile oksijeni, kökler de topraktan mineraller ile suyu çıkardı. Bunları kullanarak, bitkiler canlılığın ara bir katmanını oluşturmaya başladı.

O zaman bile bitkiler yıldırıcı zorluklarla karşı karşıyaydı. Aslında şöyle bir düşünülürse, sırf yaşamlarını sürdürebilmiş olmaları bile şaşırtıcı. Bu dünyada başarılı olabilmek için yaşamlarına "bir duruş sergileyerek" başlamaları gerekiyor. Sonradan fikir değiştirme seçenekleri olmadan tek bir noktaya bağlanıp tüm ömürlerini orada geçirmek zorundalar. Işıktaki ve mevsimlerdeki sürekli değişikliklerle baş etmeleri gerekiyor. Rüzgâr, yağmur, kar ve doluya maruz kalsalar da, su buza dönüşse de kaçıp başka yere sığınamıyorlar. Kuraklığa ve sele

dayanmak, mineraller ve ışık için rakiplerle mücadele etmek zorundalar. Bazen de açgözlü yaratıkların saldırısına uğruyorlar ama tıpkı Spartalı savaşçılar gibi, kendilerinin olan toprak parçasına kök salmış halde kalıyorlar. Sadece kurnaz savunmaları ve ulaşabilecekleri mesafedeki besinleri çıkarma konusundaki olağanüstü yetenekleri sayesinde sağ kalıyorlar. Başka bir deyişle, bitkilerin bizi var eden dünyayı yaratabilmeleri için çok önemli bir özellik geliştirmeleri gerekiyordu; başarıları açısından en az diğer özellikleri kadar yaşamsal önemde olan bir özellik: Bitkiler kaderin sunduğu her şeye akıl almaz ölçüde uyum sağlayabilen bir yapıya kavuşmak zorundaydı.

Bunu yapmanın yolunu ilk önce biyokimyasal dehalara dönüşerek buldular. Hayvanlardan farklı olarak, bitkiler iç kullanım için olmayan yüz binlerce karmaşık molekül üretir. Bu molekülleri rakipleri savuşturma, tozlayıcıları çekme, iletişim kurma ve kendilerini yemek isteyen yaratıkları korkutma amacıyla kullanırlar. Ürettikleri kimyasallar, bitkilerin sağ kalma mücadelesinde kullandığı silahlardır. (Özellikle hayvanları zehirlemede çok başarılıdırlar.) Aspirinde kullanılan salisin (söğüt kabuğundan), kanser savaşçısı Taxol (porsuk ağacından) ve sıtma ilacı kinin (And kınakına ağacından) gibi pek çok ilacımızı onlardan yapıyor olmamızın nedeni bu. Zararlı böceklerin beyinlerini etkilemek için bitkiler dopamin, asetilkolin, GABA ve serotonin öncüsü 5-hidroksitriptofan üretir; tüm bu nörotransmitterler bizim beynimizde de bulunur. Böcekleri ve diğer hayvanları uzaklaştırmak için nikotin, kafein, morfin ve afyon üretirler. "Bitkiler neden kokain üretiyor?" diye soruyor biyokimyacı Tony Trewavas ve cevap beklemeksizin ekliyor: "Bir böcek için o yaprakları yemenin nasıl bir şey olacağını hayal edebiliyor musunuz? Tabii ki çoğu böceğin *yememeye* karar verdiğini görüyoruz."[31] Peki yemeklerimizi tatlandırmak için kullandığımız baharatlar? Bitkiler onların da çoğunu hayvanları ve mikropları uzak tutmak için üretiyor aslında.

Bitkiler bu kadar çok bileşiği yapmanın yolunu nasıl bulabildi? 2000'li yılların başlarında, biliminsanları yanıtı kısmen buldu. Araştırmacılar ilk kez, organizmaların genlerini dizileyip sayarak genom kodlarını çözüyorlardı. Pek çok kişi, insanların çok gelişmiş ve zeki olması nedeniyle en az 100 bin gene sahip olmasını bekliyordu.[32] Çok

daha az sayıda genimiz olduğunu keşfettiklerinde şok oldular; sadece 24 bin civarındaydı (son sayımda daha da düşük çıktı). Yirmi uluslararası kurumun benzer çabasıyla bir bitki genomunun şifresi ilk kez çözüldüğünde, bu kez de genetikçiler "basit" varlıklar olan bitkilerin bizden çok daha az gene sahip olduğunu bulmayı umuyorlardı. Fakat kodu çözülen ilk bitki olan *Arabidopsis thaliana* otunun genomunda tam 25.498 gen saydılar; hızlı büyüyen, küçük, yabani bir ottu bu. Ginkgo ağacında 40 bin gen vardı, sarı elmada ise 57 bin adet – bizdekinin iki katından fazla.

Biliminsanları bitkilerle çok fazla ortak genimiz olduğunu keşfettiklerinde bir şok daha yaşadılar. Genlerimizin yaklaşık üçte birinin muzda karşılığı var.[33] Yani genlerin benzer işlevleri var ve kodladıkları proteinler de benzer özelliklere sahip; bu da güçlü bir şekilde ortak bir ataya işaret ediyor.

Bitkilerin bu denli parlak kimyasal mucitlere dönüşebilmesi, üreme sırasındaki hatalar sonucunda kromozom duplikasyonu (ikilenmesi)* olmasından ileri geliyor. Kromozom duplikasyonu genellikle ölümcüldür ama ender olarak sağ kalan bireyler olur; o bireylerde bol miktarda fazladan gen bulunur. İkilenmiş genlerin çoğu işlevlerini kaybetse de, sonraki kuşaklardaki bazı bitki bireyleri bu genlerinin bir kısmını yeni kullanımlara uyarlamayı başarır.

Aslında bitkilerin geliştirdiği incelikli adaptasyonların sayısı öyle çok ki, bazı araştırmacılar onların düpedüz zeki olduğunu öne sürüyor. Bu tür iddialar çağdaş biyolojideki en hararetli tartışmalardan birini tetikledi: İçimizdeki tüm yapıtaşlarını oluşturan canlılar olan bitkilerin, aslında zeki oldukları için bu kadar başarılı olmuş olmaları mümkün mü?

Bu fikrin şaşırtıcı derecede etkileyici bir geçmişi var. Charles Darwin'in 1898 tarihli *The Power of Movement in Plants* (Bitkilerde Hareketin Gücü) kitabının son paragrafında şöyle yazar: "Kökçüğün [tohum kökünün] ucunun, ... kendisine bitişik kısımların hareketini yönlendirme gücünden ötürü, basit hayvanların beyni gibi işlev gör-

* Duplikasyon sonucunda her genin fazladan bir kopyası daha elde edilmiş olur. –*ç.n.*

düğünü söylemek abartılı olmaz." Darwin'den sonra başka biliminsanları da zekice görünen bitki davranışlarını zaman zaman gözlemlediler.

Fakat 1970'lerde yayımlanan *Bitkilerin Gizli Yaşamı* adlı kitap, bitki fizyolojisi alanına sahte bilim lekesi sürdü. Kitap, bitkiler üzerinde yalan makinesi denemeleri yapan ve insan duygularına tepki verdikleri iddiasında olan eski bir CIA sorgulama uzmanının deneylerini özetliyordu. Bahsi geçen deney sonuçları bir daha hiç elde edilmedi ve kitap saygın biyologları dehşete düşürdü. Sonrasında da bitkilerin zeki olabileceği yönündeki her türlü öneri parapsikoloji kokuyor gibi görünmeye başladı.

Derken 1981'de Dartmouthlu iki biliminsanı, Jack Schultz ve Ian Baldwin, Amerikan Kimya Topluluğu'nun Las Vegas'ta yapılan bir konferansında dikkate değer bir sunum dinlediler. Meslektaşları David Rhodes ve Gordon Orians, tırtıllar bir söğüt ağacının yapraklarına saldırdığında, komşu ağaçların böcekleri uzaklaştırmak için sanki ikaz edilmiş gibi zehirli kimyasallar üretmeye başladığını raporladı.

Ağaçlar gerçekten iletişim kurabilir miydi? Rhodes ve Orians'ın fikri sapkıncaydı ve reddedilmesi kolaydı. Ayrıca deneylerini açık havada gerçekleştirmişlerdi; bu da sonuçlara ilişkin başka birçok olası açıklamayı elemeyi zorlaştırıyordu.

Ama sunumu dinler dinlemez Baldwin ile birbirlerine bakıp, "Daha kontrollü bir yöntemle bu soruyu *biz* yanıtlayabiliriz," dediklerini anlatıyor Schultz.[34] Diğer nedenleri devre dışı bırakmanın mümkün olabileceği benzer bir deneyi laboratuvarlarında yapabileceklerini fark etmişlerdi. Seralarında kavak ve akçaağaçları pleksiglas kutulara yerleştirdiler ve yapraklarını yırtarak tırtıl saldırısı simülasyonu yaptılar. Araştırmacılar, yaralı ağaçların havaya kimyasal maddeler (çürümeyi engelleyen tanenler) salarak tepki verdiğini keşfetti; sadece bir hava kanalıyla birbirine bağlanan komşu ağaçlar o maddeleri tespit etmiş ve onlar da yırtıcıları caydıracak bileşikler üretmeye başlamıştı.

Basın buna bayıldı. Schultz ve Baldwin, *People* dergisine ve *New York Times*'ın ön sayfasına çıktı. *Boston Globe* heyecanla şöyle yazdı: "Yaralı Ağaçlar Alarm Zilleri Çalıyor".

Fakat meslektaşlarının çoğu onları pek kaale almadı. Bu haberi yayımlayan ilk gazetenin *National Enquirer** olması da durumlarını güçleştirmişti. "Başlık 'Biliminsanları Ağaçların Konuştuğunu Ortaya Koydu' gibi bir şeydi. Birkaç ay sonra da 'İlk olarak burada okumuştunuz' manşetiyle bir devam metni yayımladılar," diye anlatıyor Schultz, espriyle karışık bir pişmanlıkla. Meslektaşları, bitkilerin iletişim kurduğu yönündeki en ufak bir imadan bile hiç hoşlanmamıştı. "Çok bilim dışı görünüyordu," diye hatırlıyor bir botanikçi.[35]

"Düşman edindim. Biliminsanları bu fikirden nefret ediyordu," diye anımsıyor Schultz. "Bizi uydurmasyonculukla suçlayan birkaç makale yayımlandı, ama neyse ki pek popüler olmayan yerlerde çıkmışlardı. O sıralarda Vancouver'daki Uluslararası Etimoloji Kongresi'nde konuşma yaptım. Seyircilerden biri ayağa kalkıp şöyle dedi: 'Bu kesinlikle doğru olamaz. Bitkiler bunu yapamaz.' Birinin bu şekilde ayağa kalkması bilim camiasında alışılmadık bir durumdur. Bin kişi civarında kalabalık bir izleyici kitlesi vardı ve biri tarafından hikâye uydurmakla suçlanmak hakikaten çok sıradışıydı. Ayrıca genç bir biliminsanı için oldukça korkutucuydu."

Yirmi yıl sonra, seçkin bitki biyokimyacısı Anthony Trewavas modern biyolojinin bu tabusunu yıkmaya karar verdi. Boylu poslu, uzun yüzlü ve gür gri kaşlı Trewavas, Britanya'nın önde gelen bilimsel kuruluşu Kraliyet Cemiyeti'nin üyelerindendir. Bulunduğu ortama hükmeden bir etkisi vardır ve uzun, süslü cümlelerle konuşur. 2003 yılında yazdığı "Bitki Zekâsının Çeşitli Yönleri" başlıklı uzun makalesinde savunduğu iddia bitkilerin zeki olduğuydu. "En büyük sorun, bitkibilimcilerde yaygın olduğu üzere, bitkileri temelde otomat olarak görme zihniyetidir," diye yazmıştı. Bunu değiştirmekte kararlıydı.

Trewavas'ın zekâ tanımı basitti. Bana gönderdiği bir e-postasında şöyle diyor: "Bir organizma tehditkâr veya çok rekabetçi koşullara maruz kalınca hayatta kalma şansını artırmak için davranışını değiştiriyorsa, zekice bir davranış sergiliyor demektir. Bitkiler belirli sinyallere yapılarını değiştirerek yanıt verir. Bu, hayatta kalma olasılık-

* Magazin ağırlıklı haberler yapan bir gazete. *–ç.n.*

larını artırabilecekleri bir yoldur. Bunu nasıl yapıyorlar? Neyi değerlendirmeye alıyorlar? Eğer buna hayvanlarda zekâ deniyorsa, bitkilerde de zekâ denmesi gerekir; çünkü davranışın özellikleri biyolojik açıdan aynıdır."

"Makaleniz nasıl karşılandı?" diye sordum.

"Sanırım pek çok insan benim büyük ihtimalle balatayı sıyırdığımı düşündü," diye yanıtladı.

Bu, Trewavas'ın alışılmışın dışında bir fikir ileri sürdüğü ilk sefer değildi. 1961 yılında lisansüstü eğitimi sırasında bitki hormonları üzerine çalışmaya başlamıştı. Birkaç yıl sonra, bu hormonların meslektaşlarının sandığından çok daha karmaşık şekillerde çalıştığını öne sürerek ortalığı karıştırdı. Bilim alanında her zaman geniş çapta okumalar yapardı ve 1972'de kuramsal biyolog Ludwig von Bertalanffy'nin *General Systems Theory* (Genel Sistemler Kuramı) adlı yapıtını okumuştu. Kitap, düşünme biçimini derinden etkilemişti. Bireysel hücrelerde, ekosistemlerde ve hatta bitkilerde bulunan karmaşık sistemlerde, çok katmanlı ağların çoğu biliminsanının düşündüğünden çok daha karmaşık şekillerde etkileştiğine ve işlediğine ikna olmuştu. Parçaların toplamından ibaret görülemeyecek olan karmaşık sonuçlar ve sonradan ortaya çıkan özellikler söz konusuydu. Ama biliminsanlarının çoğu, bir bitkideki bütün basit bileşenleri tanımlayabilirlerse, bitkinin bir bütün olarak nasıl çalıştığını anlayabilecekleri gibi indirgemeci bir inanca bağlıydı. Trewavas'a göre bu, bir ülkenin hükümet organlarının yapısını inceleyerek liderinin gelecek haftaki olaylara nasıl tepki vereceğini tahmin edebilmeyi beklemek gibiydi.

1991 yılında Trewavas bu yaklaşımla, bitkilere bakış açısını daha da radikal biçimde değiştiren deneyler gerçekleştirdi. Edinburgh Üniversitesi'nin botanik binasındaki küçük, loş bir odada, doktora sonrası araştırmacı Marc Knight ile birlikte lüminometrenin içine bir bitki fidesi yerleştirdiler. Mikrodalga fırın boyutundaki bu kutunun içinde aşırı düşük ışık düzeylerini algılayabilen bir tüp vardı. Trewavas ve Knight, kalsiyum mineralinin hayvanlarda hücreden hücreye sinyal ve sinir iletiminde birçok rol oynadığını biliyordu. Kalsiyumun bitki hücreleri arasında sinyal gönderilmesinde de rol oynayıp oyna-

madığına bakmak istediler. Ama ufacık hücrelerde kalsiyumun hareketlerini anlık olarak takip etmek olanaksız görünüyordu; ta ki Trewavas bunu tuhaf bir şekilde yapabileceğini fark edene kadar. Bir meslektaşı ona denizanalarında bulunan, "hırsız alarmı proteini" adı takılmış alışılmadık bir proteinden bahsetmişti. Bu protein, kalsiyum düzeyinde azıcık bir değişiklik bile olsa parlayıveriyordu. Trewavas ile Knight, söz konusu proteini üreten geni bir bitkiye yerleştirmeyi denemeye karar verdiler. Bir yıl boyunca teknik zorluklarla boğuştuktan sonra "transgenik" bir bitki yapmayı başardılar. Bitkiyi lüminometreye yerleştirdiler. Acaba bir yaprağın küçük bir noktasına dokunurlarsa, uzaktaki hücrelere kalsiyum sinyalleri gider miydi? Ufak bir delikten bir tel geçirip yaprağı yavaşça dürttüler.

Bitki parladı.

Hepimiz bitkilerin yavaş hareket ettiğini biliyoruz. Öylece durur ve pek bir şey yapmazlar. Tipik olarak, bir uyarıcı uyguladığınızda bitkinin günlerce veya haftalarca tepki verdiğini görmezsiniz. Dolayısıyla, Trewavas fidesine dokunduğu anda hemen parladığını görünce şaşkına döndü. Hücreler komşularına milisaniyeler içinde kalsiyum sinyalleri göndermişti. Lüminesans grafiklerinde ani artışlar vardı; Trewavas bunların tıpkı aksiyon potansiyellerine yani sinirlerimiz boyunca dolaşan elektrik yükündeki hızlı değişikliklere benzediğini düşündü. Üstelik sinyaller sadece birkaç hücreye değil, tüm fideye yayılıyordu. "Olup bitenlere dair algımda büyük bir fark yarattı bu," diyor Trewavas. "Sinir hücresi sinyaline benzeyen bir şey elde ediyorduk ama ortada sinir hücresi yoktu. Bunlar bitkiydi."

Sadece birkaç hafta içinde, kalsiyum sinyallerinin son derece hassas olduğunu ve bitkilerin doğada tepki verdiği hemen hemen her şey tarafından tetiklendiğini keşfettiler: dokunma, rüzgâr, soğuk, sıcak, ışığın farklı dalga boyları, hatta istilacı mantarlar. Trewavas'a bitkilerin çevreleriyle ilgili her çeşit veriyi sürekli izleyip iletiyor olabileceğini düşündürdü bu. Böylece bitkilerle hayvanların birbirlerine olan benzerliğinin, biliminsanlarının sandığından daha fazla olup olamayacağını sorgulamaya başladı. Bitkilerin tüm o veriyi nasıl kullanabileceği ve bunun davranışlarını nasıl etkileyebileceği hakkında daha geniş kapsamlı düşündü. Kulağa ne kadar zorlama gibi gelse de

Trewavas yılmıyordu. "Bir problem gördüğünde çözüm bulmaya çalışan insanlardanımdır," diyor.

Botanikçiler, hayvanlar konusunda çalışan meslektaşlarının daha fazla tanınmasından ve ilgi görmesinden sık sık yakınır. Bitkiler pek kaale alınmaz. Hayvanların kovalaması, avlanması, öldürmesi bizi cezbeder; günde bir santimlik büyüme ise pek ilgimizi çekmez. Hatta araştırmacılar bitki körlüğünden, yani bir manzaradaki bitkileri gözden kaçırma eğilimimizden bahsediyor. Biz balıksak, onlar da sudur; başka bir deyişle, sahnede göze çarpmayan yeşil bir fon gibidirler.

Trewavas henüz deneylerini yürütürken bile, bitkilerin davranışlarının basit olduğu varsayımına meydan okuyan başka çalışmalar vardı. Bitki duyuları, genetik, hormonlar, sinyaller ve köklerin davranışları üzerine yapılan araştırmalar, hızlandırılmış kameraların da yardımıyla, önceden farkına varılmamış bir karmaşıklığı ortaya çıkarıyordu. Tüm bunlar Trewavas'ı düşünmeye sevk ediyordu: Bitkiler sandığımızdan daha mı akıllıydı? Yabani doğada yaşamlarını sürdürebilmek için büyük zorluklara göğüs gerdiklerini görmüştü. "Bitkiler hayvanlarla aşağı yukarı aynı süreden beri mevcut. Hayatta kalma konusunda hayvanlarınkiler kadar başarılı ve akıllıca yöntemler geliştirmemeleri için kesinlikle hiçbir neden yok," sonucuna vardı.

2003 yılında Trewavas bitki zekâsı üzerine uzun, kışkırtıcı bir makale yayımladı. Makale, baraj kapaklarının açılmasına benzer bir etki yaptı. Benzer düşünceleri olan çok sayıda kimyacı, biyofizikçi ve botanikçi vardı. Onlar da düşüncelerini dile getirme cesaretini buldular. Floransa Üniversitesi'nden Stefano Mancuso ve Bonn Üniversitesi'nden František Baluška öncülüğünde, bitkilere ilişkin yeni görüşlerini tartışmak üzere Bitki Nörobiyolojisi Topluluğu'nu kurdular. 2005 yılında İtalya'nın Floransa şehrinde düzenlenen ilk konferanslarında, bitkiler arası iletişim, bitkilerde bilgi işleme, bitki duyuları ve bitki belleğini tartıştılar. Mancuso ve Baluška bitki nörotransmitterlerinden ve nöron benzeri hücre davranışından bahsedenler arasındaydı.

Bitkilerin nöronu, sinapsı veya bir hayvanın sinir sistemine benzer herhangi bir şeyi olduğu iddiasına, daha geniş bir botanikçi topluluğunun tepkisi sert oldu. Karşıt görüşlü otuz altı bitki biyoloğu or-

taklaşa şu soruyu sordu: "Bitki bilimi araştırma topluluğu 'bitki nörobiyolojisi' kavramından ne gibi uzun vadeli bilimsel faydalar elde edecek? Bitki nörobiyolojisi yüzeysel analojiler ve şüpheli çıkarımlar üzerine kurulu olmaktan çıkana kadar, bu faydaların sınırlı olacağını düşünüyoruz."[36] Nitekim 2009 yılında Bitki Nörobiyolojisi Topluluğu, adını daha kabul edilebilir bir isim olan Bitki Sinyallemesi ve Davranışı Topluluğu olarak değiştirdi.

Ama bu değişiklik bazı üyelerin fikirlerini pek yumuşatmadı. Bu üyeler bitkilerin en az on beş duyusu olduğuna dikkat çekiyorlar; bizdeki –işitme dışındaki– tüm duyular da dahil.[37] İşitme dışındakiler diyoruz ama bitkiler örneğin bir tırtılın çiğnemesi gibi titreşimlere tepki veriyor; dolayısıyla sınırlı bir anlamda onların da "duyduğu" söylenebilir. Bitkiler havadaki kimyasalların kokusunu ve topraktakilerin tadını alır. Yerçekimini ve dokunuşları hissederler. Kızılötesi ışığa duyarlı ışık reseptörleri sayesinde komşu bitkileri algılarlar.[38] Çevreleriyle ilgili muazzam miktarda veriyi sürekli bir araya getirir ve ilgili iç sinyaller göndermek için kalsiyumu, proteinleri ve hormonları kullanırlar. Bazı hücreler ayrıca aksiyon potansiyelleri de gönderir; Trewavas'ın gözlemlediği elektriksel aktivitede gerçekleşen ve sinir iletimindekini andıran ani yükselişler, kalsiyum ve diğer kimyasallar tarafından yayılır. Bu sinyallerden bazılarının işlevleri keşfedildi, mesela yapraklara böcek ilacı yapmalarını ya da Venüs sinekkapanı bitkisinde kapanın avın üstüne kapanmasını söylemek gibi. Ama işlevleri henüz bilinmeyen pek çok sinyal var. Bunların yanı sıra bitkilerin kullandığı, henüz tam anlaşılamamış başka tür bir elektriksel sinyal daha var (ona da yavaş dalga potansiyeli adı veriliyor).

Botanikçiler ayrıca bitkilerin davranışlarındaki olağanüstü esnekliği de fark etti. Bir böcek veya mikrop her saldırdığında, bitkiler o tehdit çeşidine özel, havada taşınan kimyasallardan oluşan bir kokteyl yayar. (Schultz, bu uyarı sinyallerinin muhtemelen bitkinin diğer bölümlerine yönelik olduğunu düşünüyor ama kulak misafiri olan komşular da haberdar oluyor.) Bitkiler aynı zamanda kuraklık gibi zararlı olayların "anılarını" da saklar ve bu da onların gelecekteki olaylarla daha iyi başa çıkmalarına olanak tanır. Ayrıca büyümelerini içinde bulundukları koşullara uygun olacak şekilde ayarlarlar. Rüz-

gârlı koşullardaki bitkilerin daha kalın sapları ve daha küçük yaprakları olur; boyları daha kısa kalır. "Bitkileri uygun (rüzgârsız, çok yüksek veya düşük sıcaklıkların olmadığı, üzerlerinde hayvanların gezinmediği) koşullarda büyütüp, sonra da dışarıya koyarsanız pek başa çıkamazlar. Dayanaklı olmak için enerji harcamamışlardır," diyor bitki genetikçisi Janet Braam.[39] Bu nedenle bahçıvanlar sera fidelerini yavaş yavaş açık havaya çıkararak güçlendirir; Japon çiftçiler ise tarlalarındaki buğday ve arpa fidelerini üzerlerine basarak ezer.

Biliminsanları ayrıca ormanlardaki ağaçların internet benzeri bir ağ (*Wood Wide Web**) yoluyla birbirlerine bağlı olduğunu keşfetti; köklerden, bakterilerden ve mikorizal mantarlardan oluşan oldukça geniş bir yeraltı ağı bu. Ağaçlar bu ağı kullanarak iletişim kuruyor ve besinleri paylaşıyor. Kayın ağacının yapraklarında üretilen şeker, komşu bir ladin ağacının yapraklarına gidebilir.[40]

Elbette bitkilerin bizim gibi merkezileşmiş bir beyni yok. Bu onlar açısından akıllıca bir strateji. Şayet biz başımızı veya bir uzvumuzu yitirirsek işimiz zor demektir. Fakat bitkiler bir parçalarını yitirirse, yenisini yapıverirler. Bitkiler, "karar verme" süreçlerini daha geniş ve demokratik bir şekilde dağıtan farklı bir zekâya sahiptir. Örneğin, sabit bir büyüme planları yoktur. Onun yerine yeni sapları, dalları ve yaprakları uzatmanın en iyi olacağı açıları ve yükseklikleri seçerler. Bu kritik kararlar, sürgünlerin kambiyum adı verilen iç katmanı tarafından alınır. Trewavas, bir bitkinin kambiyumunun sürekli olarak dallarının verimliliğini izlediğini ve hangisinin büyüme hormonu ile besin alması gerektiğine, hangisinin sınırlandırılacağına, hatta kurutulacağına karar verdiğini düşünüyor.[41] Hepsi düşünüldüğünde, bitkilerin işlediği iç sinyallerin "muhtemelen beyindekiler kadar karmaşık olduğu" görüşünde.

Bir bitkinin tüm parçaları arasında, kökleri özellikle zeki görünüyor. Kendilerine –ve de bize– gereken mineralleri bulma konusunda çok başarılılar. Baluška ve Mancuso (Floransa yakınlarındaki cüretkâr isimli Uluslararası Bitki Nörobiyolojisi Laboratuvarı'nı kuran ki-

* *İng.* Orman Çapında Ağ. *World Wide Web* yani Dünya Çapında Ağ'a gönderme. –*y.n.*

şiler) bu argümanı en ileri noktaya taşıyor. Kök uçlarına yakın bir kısmın (kök tepe geçiş bölgesi) daha çok bir komuta merkezi veya beyin gibi davrandığını düşünüyorlar. Ünlü 19. yüzyıl biyokimyacısı Justus von Liebig'in bir gözlemine atıf yapmaktan hoşlanıyorlar: "Bitkiler sanki gözleri varmış gibi yiyecek arar." Bitkiler su ve mineral ararken taşların etrafından kolayca kıvrılır. Su kıt olduğunda daha aktif bir şekilde ararlar. Ayrıca fosfor ve azot gibi besin maddelerini saptama ve bunların değişen oranlarını kırıntı izleri gibi takip etme konusunda esrarengiz bir yetenekleri vardır. Zengin bir besin öbeği algıladıklarında, bir "büyüme patlaması"yla ona doğru hareket ederler.[42] Sonra duraklarlar, yoğun kökler oluştururlar ve devam etmeden önce o bölgedeki kaynakları bulup çıkarırlar. Bitkiler ayrıca kötü huylu da olabilir. Bazen rakiplerinin tohumlarının çimlenmesini önlemek için köklerinden kimyasallar salgılarlar.

Kökler ile sürgünler, su ve besin erişilebilirliği konusunda bilgi paylaşmak ve duyusal verilere nasıl yanıt vereceklerini belirlemek için çift yönlü bir yardım hattı aracılığıyla iletişim kurar. Mancuso ve Baluška ilginç bir şekilde, bu iletişimin bir çeşit hızlı elektrik sinyalini de içerdiğini, söz konusu sinyalin köklerin nasıl büyüyeceğine karar vermek için kullanıldığını öne sürdü.

Daha da tartışmalı olanı, bitkilerin çevrelerinin farkında ve "amaç odaklı" olmakla kalmayıp, aynı zamanda bilinçli ve benlik duygusu sahibi olabileceklerini de ileri sürüyorlar.[43] Bu sebepten ötürü, dünyadaki yerimizi yeniden düşünmemizin zamanının gelmiş olabileceğini söyleyen Mancuso ve Baluška şöyle diyor: "O halde, karmaşık duyu sistemleri ve organlarıyla donatılmış her canlı birimin kendi dünya görüşünü 'inşa ettiğinin' farkında olmalıyız; bu dünya görüşü, bizim insana özgü dünya görüşümüzden radikal biçimde farklı olabilir ama esasen daha iyi ya da daha kötü değildir."[44]

Trewavas "daha on beş yıl önce bilmediğimiz onca şey olmasına" hayret ediyor. "Pek çok biliminsanının tutumunun, bazı şeyleri bilmememiz üzerine kurulu olması beni hep şaşırtıyor. Bir şeyi bilmediğimizde onun var olmadığını varsayıyoruz." Trewavas, "Bir Uzman Olarak, Hâlâ Bilinmeyen Ne Kadar Çok Şey Olduğunu Gözden Kaçırıyorum" önyargısına kapılmıyor. Bununla birlikte, bitki bilinci ko-

nusunda ihtiyatlı davranıyor. "Yanıt veremem çünkü bir bitkiye hiçbir şey soramayız. Davranışlarına bakarak ne çıkarım yapabiliyorsak, hepsi o kadar. Bilinçli olabilir. Ama bu, bilinçli olduğu anlamına gelmez. Bundan fazlası da söylenemez. Ama bu bile anlayışımızda önemli bir değişiklik yaratıyor."

Yine de çoğu araştırmacı bitkilerin zeki olmak şöyle dursun, bilinçli olduğuna ilişkin her türlü fikre karşı çıkıyor hâlâ. "Kök davranışının karmaşıklığının ve dinamik doğasının çok etkileyici olduğunu düşünüyorum. Öyle ki insanlar bunu bizimki gibi bütünleşik bir sistem olmadan hayal etmekte zorlanıyor. Ama köklerin yaptığı her şeyi, çevresel sinyallere verilen basit tepkiler temelinde tanımlayabilirsiniz," diyor Schultz. Yine de çoğu botanikçi gibi o da bitkilerin çevrelerine karşı son derece duyarlı olduğuna ve çevrelerine bizim yeni anlamaya başladığımız olağanüstü davranışlarla tepki verdiklerine inanıyor. Braam ise şöyle diyor: "Bitkiler basit canlılar olsaydı, bu kadar karmaşık süreçler yürütmüyor olsalardı, o zaman onları çoktan çözmüş olurduk. Ama ben bir bitki biyoloğuyum ve sürekli kafamı karıştırıyorlar."

Bakteri ve mantar kardeşleriyle birlikte bitkiler –yapraklar, sürgünler ve kökler gibi parlak yeniliklerle ve olağanüstü uyum sağlama yetenekleriyle hatta belki zekâlarıyla– kıtalar üzerinde egemenlik kurmaya başladı. Atomlarımızın bize ulaşmak için katettiği son karmaşık yolları yaratmaya başladılar. Yaklaşık 500 milyon yıl önce ilkel balıklar okyanuslarda yüzerken, bitkiler kıtaların fazla kurak, tuzlu veya buzla kaplı olmayan her yerini fethetmeye başladı. Çok geçmeden hayvanlar da arkalarından geldi. Önceleri okyanustaki ilk hayvanların yani muhtemelen süngerlerin kendi besinlerini üretme zahmetine girmesine gerek yoktu, çünkü siyanobakteriler gibi bu işi yapabilen fotosentezcilerle beslenebiliyorlardı. Küçük hayvanlar kısa süre sonra büyüklere lezzetli atıştırmalıklar gibi görünen cazip hedefler haline geldi. Böylece okyanustaki fotosentezciler bütün bir hayvan ekosistemini beslemeye başladı. Bu hikâye tekrarlanacaktı. Bitkiler daha sonra kıtalarda belirdiğinde, okyanusu geride bırakabilen hayvanlara doyurucu yiyecekler sundular. Denizden karaya çıkan canlılardan bi-

ri de dört yüzgeçli balıksı bir sürünücüydü. Bu canlının torunlarında havadan oksijen emmek için akciğerler evrildi ve o torunlardan amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve bizi de kapsayan memeliler doğdu. Balıkların okyanustaki fotosentezcilere bağımlı olduğu kadar, biz de yaşamımızı sürdürmek için bitkilere bağımlıyız.

Bitkilerin, daimi yoldaşları olan mantarlar ve bakterilerle ortaklaşarak kendi yuvalarını yaptıklarını belirtmekte fayda var. Kendi topraklarını, ekosistemlerini ve giderek büyüyen besin havuzlarını yarattılar. Bitkiler ölür ama atomları varlığını sürdürür; toprağa, okyanuslara, tortul kayaçlara, atmosfere ve diğer canlılara dönüşürler. Dolayısıyla ruhunuz reenkarne olmuş olsa da olmasa da, içinizdeki atomların irili ufaklı birçok başka organizmada geçmiş yaşamları olduğu bir gerçek. Sağ başparmağınızın tırnağındaki azotun bir kısmı bir zamanlar havada sürüklenmiş, bakteriler tarafından çekilip amonyağa gömülmüş, sonra bir yoncanın kökünce emilmiş, ardından yaprakların birinde protein yapımında kullanılmış, o yaprak bir güve tarafından yenmiş, güve ömrünü tamamladığında bir mantarın yanında çürüyerek toprağa karışmış ve nihayet o mantar üç hafta önce sofranıza gelmiş olabilir.

Yırtıcı hayvanlar, mesela aslanlar sebzelere burun kıvırırır ama avladıkları canlılar bitki yer. Bu da bitkilerin sonuçta tüm canlıları oluşturan hemen hemen her şeyin (su hariç) yapıtaşlarını ürettiği veya topladığı anlamına gelir.

Bu arada, neden kendi gıdamızı kendimiz üretmediğimizi yani fotosentez yapmadığımızı merak ettiyseniz, büyük bir ağaca bakmanız yeterli. Eğer tüm enerjimizi fotosentez yapan kloroplastlardan alacak olsaydık, kloroplastlarımız ağacın gövdesinin üstündeki yapraklı kısım kadar yer kaplardı. Bütün cildimizi kloroplastlarla kaplasak, sağlayacakları enerji etrafta birkaç adım atmamıza bile yetmezdi; koşmak ve avlanmaksa söz konusu bile olmazdı.[45] Bitkileri veya diğer hayvanları yemek bize kısa sürede konsantre bir enerji verir. Bu sayede, avcı-toplayıcı atalarımız bir sonraki öğünlerini bulmak için kilometrelerce yol katedebildi. Ama kendimizi ne kadar özgür hissetsek de bitkilere bağımlı olduğumuzu unutmayalım. Başka bir deyişle, *biz* ortadan kaybolursak bitkiler yaşamlarına gayet güzel devam eder

ama *bitkiler* yok olursa biz birkaç hafta içinde silinip gideriz.

Böylece Büyük Patlama'dan ve yıldızlardan çıkan atomlarımız, bitkilerden geçerek nihayet kapımıza –daha doğrusu ağzımıza– ulaştı. İçimizdeki atomların neredeyse hepsi –su ve bir miktar tuz dışındakiler– bize bitkiler aracılığıyla geldi. Peki acaba bu atomlar içimizde nasıl yeni baştan organize olup canlılık yaratıyorlar? Uzun yıllar boyunca, biliminsanlarının bu konuda hiçbir fikri yoktu.

IV. KISIM

ATOMLARDAN BİZE

Bu kısımda, yaşamımızı sürdürmek için neler yemek zorunda olduğumuzu görüp şaşıracağız. En saygın uzmanların öğretileri alabora olacak. Hücrelerimizin içinde gerçekleşen ve tabağımızdaki yemeği bize dönüştüren birçok ilginç mekanizmayı gün yüzüne çıkaracağız.

11

Her Şey Onlara Bağlı

Yaşamak İçin Ne Yemek Lazım?

Ömrünüz boyunca yediğiniz yemekleri
gözünüzde canlandırın ve o yemeklerin bir kısmının
yeni baştan düzenlenmiş halinden
ibaret olduğunuzu düşünün.[1]

Max Tegmark

YEMEK TABAĞIMIZDAKİLERİ DÜŞÜNÜN. Ama o pizzayı, güveci ya da mantıyı yiyecek olarak değil de, moleküller şeklinde bağlanmış atomlar olarak düşünün. Bu atomların nereden çıktığını, nasıl oluştuğunu ve sofraya nasıl ulaştığını artık biliyoruz. Fakat besin olarak alındıkları zaman, bu moleküller nasıl oluyor da canlı bir kişiyi meydana getiriyorlar? Hücrelerimizdeki DNA'yı ve bizi canlandıran olağanüstü moleküler mekanizmayı yaratacak şekilde nasıl organize olabiliyorlar? Biliminsanlarının bu gizemleri nihayetinde çözmeden önce daha temel bir soruyu yanıtlamaları gerekiyordu: Bitkilerin ürettiği ve topladığı, bizim de kendimizi inşa edebilmemiz için yemek zorunda olduğumuz maddeler nelerdir? Bu maddelerin keşfinin hikâyesi, "atılgan ve tez canlı" bir araştırmacı olan Justus von Liebig'le başlar.[2]

Bilimde devrim yapan Alman biliminsanı Justus von Liebig cesur adımlarla sahneye çıkana kadar, hücrelerimizin ve vücudumuzun işleyişi hakkında kimyacıların söyleyebileceği neredeyse hiçbir şey yoktu; nelerden oluştuğumuz konusunda da çok az şey biliniyordu. 19. yüzyılda bu bilgisizliğin anlamı, milyonlarca kişinin kötü beslenme nedeniyle hastalanması ve ölmesiydi. Liebig'in portrelerinde, ka-

rarlı bakışları ve görünüşü Napolyon Bonapart'ı andırır. Liebig de o Fransız general gibi hırslı ve zekiydi; bunun da farkındaydı. Radikal fikirler öne sürmekten ya da karşıt görüşlü kişilerle kıyasıya tartışmaktan hiç çekinmezdi. Hayranlarından birinin söylediği gibi, Liebig "tahttan indirilmiş imparatorların kalıntılarının üzerine yeni krallıklar inşa ediyordu".[3]

1840 yılında, engin bilgi birikimini ve zekâsını, çoğu biliminsanının bizim kavrayışımızın daima ötesinde kalacağından emin olduğu bir probleme uygulama zamanının geldiğine karar verdi. Yediğimiz yiyeceklerin nasıl yeni baştan düzenlenerek bize dönüştüğünü anlamak istiyordu. Doğal olarak atılacak ilk adım, vücudumuzu inşa ederken kullandığımız moleküllerin hangileri olduğunu bulmaktı. Liebig'in zamanında bu soru pratik açıdan da önemliydi; hayatta kalmak için ne yememiz gerektiğini soruyordu ne de olsa. Liebig araştırmasına büyük bir özgüvenle girişti. O kadar yanlış bir kuramın o kadar muazzam ilerlemelere kapı araladığı başka çok fazla örnek yoktur herhalde.

Liebig'in kimyaya ilgisi, babasının atölyesinde başlamıştı. Darmstadt kentinde ticaretle uğraşan babası çeşitli kumaş boyaları, boyar maddeler, cilalar ve ayakkabı boyaları hazırlayıp satıyordu. Okuldaki dersler, özellikle de Yunanca ve Latince için yapılması gereken ezber Liebig'i çok sıkıyordu. Sınıf arkadaşları müdür yardımcısını örnek alarak, ona *schafskopf* yani mankafa diyordu.[4] Müdür de onun "öğretmenlerinin başının belası ve ebeveyninin ömür törpüsü" olduğunu söylemişti. On dört yaşında okuldan ayrıldı. Ardından babası onu bir eczacıya çırak verdi. Ama Liebig kimyacı olmak istediğine karar verip eczaneden ayrıldı; zamanını en sevdiği iki uğraşına ayırmayı seçti: kimya kitapları okumak ve atölyede deney yapmak. İki yıl sonra üniversiteye kaydoldu. Çok geçmeden yeteneğinin farkına varıldı. Bir yılın ardından, Paris'te ünlü kimyacı Joseph Gay-Lussac ile çalışmak için burs kazandı. Sonradan o günleri gülümseyerek anımsayacaktı; özellikle de her yeni keşif yaptıklarında Gay-Lussac odada neşeyle dans etmelerinde ısrar ettiğinden.[5]

Henüz yirmi bir yaşındayken, ortaçağdan kalma Giessen şehrindeki küçük bir üniversitede öğretim görevlisi oldu. Burası bilimsel

açıdan geri kalmış bir yerdi.[6] Anatomi profesörü kan dolaşımına inanmıyordu. Üniversite sadece tek bir binadan ibaretti ve diğer kimya öğretim görevlisi Botanik Bahçesi'ndeki küçük laboratuvar alanını paylaşmayı reddetmişti. Daima girişken ve azimli olan Liebig, yakınlarda bulunan atıl durumdaki askeri barakadaki bir gözcü kulübesini laboratuvar olarak kullanmasına izin vermesi için Hesse-Darmstadt Dükü'nü ikna etti. Buranın ecza kimyacılarını eğitmek için bir okul olacağını söylemişti ama kısa sürede planlarını büyüttü. Almanya'da kimyanın tamamlayıcı bir yan daldan ibaret görüldüğünü fark etmişti; bu da ona çok dokunuyordu. Kimya genellikle eczacılık veya tıp profesörleri tarafından ya da daha da kötüsü, bir "zanaat" olarak öğretiliyordu ki bu da kimyayı "soda ve sabun yapmak veya daha iyi demir ve çelik üretmek için yararlı olan kurallar"a indirgiyordu.[7] Liebig'in vizyonu çok daha yüceydi. Onun bakış açısına göre her şey kimyaydı: "Alles ist Chemie." Otobiyografisinde mineral, bitki ve hayvan âlemlerinin hepsinin birleşik olduğunun ve aynı kimyasal yasalarla birbirlerine bağlı olduklarının bilincine vardığını yazacaktı sonradan.[8] Dolayısıyla adil olan, kimyanın diğer bilimlerle eşdeğerde, hatta belki de onlardan üstün görülmesiydi.

Gözcü kulübesini yavaş yavaş harikulade bir yere, zamanın en ileri laboratuvarlarından birine dönüştürdü. Bu efsanevi mekânı resmeden çizimlerden birinde, büyük pencereleri ve modern gaz lambaları olan tam donanımlı bir laboratuvardaki kalabalık tezgâhlarda çalışan, çoğu redingotlu ve silindir şapkalı genç araştırmacılar görülür. Ziyaretçiler kolayca erişilebilecek biçimde yerleştirilmiş şişeler, yoğuşturucular ve diğer gereçlerle dolu dolaplara hayranlıkla bakıyordu. Merkezi bir fırın zararlı gazları davlumbazdan dışarı atıyordu ki bu da nadir görülen bir şeydi.[9]

En önemlisi de, Liebig'in bütün üniversiteleri derinden dönüştürecek bir yenilik yapmasıydı. Öğrencilerin yardımıyla, kendi başına yapabileceğinden daha fazla iş başarabileceğini fark etmişti. Böylece öğrencileri zorlu araştırma projelerinde görevlendirmeye başladı; kendisi de sadece danışmanlık yapıyordu. Bu yenilik sayesinde, bugün lisansüstü öğrenciler ve doktora sonrası araştırmacılar gece gündüz laboratuvarda çalışabiliyor.

Liebig sakin bir şehir olan Giessen'de epey ilerleme kaydetti. Kimyacıların organik moleküllerin içindeki karbon miktarını eskisinden çok daha yüksek doğrulukla belirlemesini sağlayan bir araç icat etti. Bütün bir günü alan çileden çıkarıcı ve çetrefilli bir süreci, bir satte biten kolay bir işleme dönüştürdü. Kimyacılar bu aracı kullanarak, organik moleküllerin bileşimini belirlemede artık hızla ilerleme kaydedebilirdi. Yeni oluşmaya başlayan organik kimya (canlı organizmaların kimyası) alanına temel önemde başka katkıları da oldu. Bunun sonucunda, 1830-1850 yılları arasında, dünyanın her yanından 700'ün üzerinde öğrenci Liebig'in laboratuvarına akın etti. Çoğu sonradan bu alanda öncü kişiler oldu.

Liebig'in etkisi, organik kimya alanında çıkan ilk dergiyi kurmasıyla büyüdü. Editörlük konumundan faydalarak, kendisiyle aynı fikirde olmayanlara verip veriştirdi. Liebig'in hedef aldığı talihsiz kişilerden biri şöyle yakınıyordu: "Esip gürleyerek kalemini hararetle kâğıt üzerinde gezdiriyor; fikirleri hakkında en ufak bir eleştiri yapmaya cüret eden herkese karşı öfkeden gözü dönüyor."[10] Tipik nüktedanlığıyla Liebig, bir meslektaşının kuramının "gerçek bilimsel araştırmanın ilkelerine yönelik katıksız bir cehaletten" kaynaklandığını ileri sürmüş ve şöyle eklemişti: "Hatalı bir görüşün laneti, içinde yeni hataların tohumlarını taşımasıdır. Bunlar sağlıklı bir atmosfere maruz kaldığı anda ölen zavallı yaratıklar gibidir."[11]

Kimyanın tarıma nasıl uygulanabileceğini açıklayan bir kitap yayımlamasının ardından Liebig cesur hayal gücünden dolayı övgüler aldı ve ünü arttı. Avrupa'nın nüfusunu beslemekte zorlandığı bir dönemde, Jean-Baptiste Boussingault'nun çağdaşı ve rakibiydi Liebig. Öne sürdüğü "minimum yasası" yani kilit önemdeki herhangi bir mineral eksik olduğunda bitkilerin büyümesinin duracağı ve çiftçilerin gübre eklerken bunu düşünmeleri gerektiği iddiası ufuk açıcı bir yenilikti. 1840'lara gelindiğinde, kendi kuşağının en önde gelen kimyacısı olarak görülüyordu.

Ama Liebig hâlâ memnuniyetsizdi. Organik kimyadaki pek çok ilerlemeye rağmen, kendi kimyamız hakkında neredeyse hiçbir şey bilinmiyordu. Tıp alanına iki bin yıl boyunca Yunan hekim Galen'in kuramı hâkim olmuştu. Galen'in düşüncesine göre hastalıklar, dört

temel akışkanın yani "salgılar"ın dengesinin bozulması sonucunda oluşuyordu. Bu akışkanlar kan, kara safra, sarı safra ve balgamdı. Salgıları yeni baştan düzenlemek için kan akıtma yapılmasının ve Britanya'nın ilk tıp dergilerinden birine *The Lancet* (Neşter) adının verilmesinin nedeni buydu. Liebig'in zamanında yani buhar makinesi çağında, fizyologlar da bedeni farklı bir gözle –mekanik bir makine olarak– görmeye başlamıştı. Mesela kalp belli ki bir pompaydı ve yakın zamana kadar fizyologlar midenin yiyecekleri çalkalayarak veya yoğurarak sindirdiğini düşünüyordu. Yine de kimyanın canlılarda meydana gelen mucizevi dönüşümleri, örneğin topraktaki bir tohumun veya rahimdeki bir bebeğin büyümesini açıklamayı umut edebilmesi düşünülemez görünüyordu. Bu süreçlerde açıklanması imkânsız bir şeyler oluyordu. Vücudumuzdaki atomlar birbirlerine tıpkı kayalarda yaptıkları gibi bağlanarak moleküller oluştursa da benzerlik burada sona eriyordu. Büyük kimyacı Jöns Berzelius'un gözlemlediği üzere, "Elementlerin canlı doğada uydukları yasalar, cansız doğada uydukları yasalardan oldukça farklı görünüyor"du.[12] Kimyanın tıp müfredatına dahil edilmesine kararlı biçimde karşı çıkan ABD'li hekim Charles Caldwell de benzer şekilde, "kimyanın ilkeleriyle canlılığın ilkelerinin birbirlerinden farklı olduğunun evrensel olarak kabul edildiğini" savunuyordu.[13] Görünüşe göre yaşamın gizemi ancak açıklanamaz bir "hayati kuvvet"in varlığıyla açıklanabilirdi.

Liebig bunu kabul etmiyordu. Organik kimyadaki emsalsiz bilgisine ve artık doruğa çıkmış olan özgüvenine dayanarak, yediğimiz kimyasalları nasıl kullandığımıza ilişkin kafa karıştırıcı soruyla yüzleşmeye karar verdi. Yiyeceklerimizde ne tür moleküller vardı? Ve bunların hangileri kasa, ete ve de enerjiye dönüşüyordu?

Liebig Londralı hekim William Prout'un uzun süre önce yürüttüğü çalışmaları temel alarak umut vaat eden bir başlangıç yaptı. Liebig gibi Prout'un da kimyanın vücudumuz hakkında pek çok şeyi açığa çıkarabileceğine inancı tamdı. Bu da onu idrarda hastalıkları teşhis etmeyi sağlayacak kimyasal işaretler aramaya yöneltmişti. Araştırma yapma konusundaki sınırsız hevesi, onu daha genel olarak hayvan salgılarına ilgi duymaya itmişti. Böylece boa yılanlarının ve bazı başka hayvanların dışkılarını ve mide içeriklerini analiz etmek için epey

zaman harcamıştı.[14] En büyük keşiflerinden biri, bizimki de dahil olmak üzere hayvan midesinin yiyecekleri sindirmeye yardımcı olması için hidroklorik asit ürettiğini fark etmesiydi. (Biz günde yaklaşık altı yemek kaşığı kadar üretiyoruz.[15]) Prout ayrıca gıdalarımızın üç temel madde içerdiğini öne süren ilk kişiydi. Onun "şekerli, yağlı ve albüminli" olarak adlandırdığı bu maddelere biz bugün karbonhidrat, yağ ve protein adını veriyoruz. İddiasına kanıt olarak, Prout her üç maddenin de anne sütünde bulunduğunu belirtmişti: O halde belli ki onlara ihtiyacımız vardı; yoksa Tanrı onları oraya koymazdı.[16]

Liebig, yiyeceklerimizin karbonhidratlardan, yağlardan ve proteinlerden oluştuğu konusunda Prout'la aynı fikirdeydi. Buraya kadar gayet iyi. Fakat sonra, geçmişteki başarılarının verdiği cesaretle, hızlı ve kararlı bir şekilde karanlık sulara doğru ilerledi. Bir meslektaşının doğrulanmamış bir keşfi onu derinden etkilemişti. Organik maddelerin bileşimini analiz eden Hollandalı kimyacı Gerhard Johan Mulder, o tarihten sadece iki yıl önce bitkilerdeki proteinler ile bizim kanımızdaki proteinlerin aynı olduğunu keşfettiği kanısına varmıştı. Hatta bu albüminli maddeye, Yunanca "ilk" anlamına gelen *protos* sözcüğünden türettiği protein adını veren de oydu.

Liebig bu doğrulanmamış keşiften yola çıkarak kapsamlı bir sonuca vardı: Eğer o proteinler özdeşse ve biz de sonuçta bitki bazlı besleniyorsak, vücudumuzdaki proteinin tamamını bitkilerden alıyor olmamız gerekir. "Sebzeler kendi bünyelerinde tüm hayvanların kanını üretiyor," diye yazdı.[17] Kısacası hayvanlar kendi proteinlerini üretmiyordu. Bu hakikaten de o sırada bilinen her şeyle tutarlıydı, ama Liebig heyecana kapılarak doğrulanmamış bir deneysel bulguyu kabul etme hatasına düşmüştü. Hatalarının ilkiydi bu.

Liebig'in bir sonraki adımı daha da tartışmalı oldu. Karbonhidratların ve yağların sadece karbon, hidrojen ve oksijen içerdiğini, proteinlerin ise bunlara ek olarak azot ve kükürt de içerdiğini bilerek, yabani hayvanların bileşimini analiz etti. Gözlemlerine göre bu hayvanların hepsi zayıftı; ayrıca kaslarında ve organlarında karbonhidrat ya da yağ bulamadı.[18] Böylece, bizimki de dahil olmak üzere hayvan vücudunun tamamen proteinden oluştuğu çıkarımını yaptı. Yediğimiz maddeler arasında, hücrelerimizi ve vücut dokularımızı oluştur-

mak için hammadde görevi gören tek maddenin protein olduğu kanısına vardı.

Bu çıkarımını destekliyor gibi görünen başka bir gözlem daha biliyordu. İdrarda bolca bulunan üre adlı molekül, tıpkı proteinler gibi azot doluydu. Bundan dolayı, kaslarımızın çalışırken enerji üretmek için protein parçalaması gerektiği ve üredeki azotun kaynağının bu olduğu Liebig'e bariz görünüyordu.

Bu derli toplu şemada, yağlara ve karbonhidratlara sadece destekleyici bir rol kalıyordu. Liebig bu maddeleri tek bir nedenden ötürü aldığımızı ileri sürdü: Kendimizi ısıtmak ve sıcak kalmak için onları kömür gibi yakıyorduk. Henry David Thoreau'nun *Walden*'da yazdığı gibi: "Liebig'e göre insan vücudu bir sobadır ve gıda da akciğerlerdeki içten yanmayı sürdüren yakıttır."[19]

Liebig bu çığır açan kuramı, 1842'de yayımlanan *Animal Chemistry: Or Organic Chemistry in Its Application to Physiology and Pathology* (Hayvan Kimyası: Veya Organik Kimyanın Fizyoloji ve Patolojiye Uygulanması) adlı kitabında sundu. İhtiyacımız olan besin maddelerinin sadece proteinler, karbonhidratlar, yağlar ve birkaç mineral olduğunu açıkladı. Bunların hepsinin nihai olarak bitkilerden geldiğini belirtti. En önemlileri proteindi; kaslarımızı ve dokularımızı oluşturan tek malzeme oydu. (Hiç şüphe yok ki bu açıklama, o zamanlar güçlü kasları olması için bira içmeleri gerektiğine inanan Bavyeralılar için büyük hayal kırıklığıydı.[20])

Liebig'in fikirleri ilk başta geniş çapta benimsendi. İskoç bir kimyacı, Liebig'in kitabının önsözünde "başkalarının çok uzun süre öylece kenarda kalmasına izin verdiği gerçekleri temel alarak, böylesine güzel bir yapı inşa edilmesini sağlayan derin bilgeliğe" hayran olduğunu yazdı.[21] Britanyalı bir hekim ise Liebig'le yaptığı bir söyleşinin "önceden kafa karışıklığı ve idrak eksikliğinin hâkim olduğu bir konuya yeni bir ışık tutarak" kendisinde hayranlık uyandırdığını söyledi.[22] Liebig'in vardığı sonuçları sorgulayanlar da vardı, ama pek çok kişinin "yaşayan bilimsel öncü"ye duyduğu büyük saygı, kuramının eğitim müfredatında yer bulmasına yardımcı oldu.[23] Başka bir deyişle, pek çok kişi "Dünyanın En Büyük Uzmanı Haklı Olmalı" önyargısının etkisinde kalmıştı.

Ardından Liebig kimya bilimini daha da ilerletmek için bilgi birikimini beslenme sorunlarına uygulamaya girişti. Bu süreçte oldukça zenginleşecekti. İcatlarından biri bilimsel olarak tasarlanmış ilk bebek mamasıydı: Liebig'in Çözünebilir Bebek Gıdası. İcatları arasında haşlanmış etten yapılan sığır bulyonu macunu da vardı; Liebig Et Ürünleri Şirketi tarafından OXO ticari adı altında pazarlandı. Liebig bulyonun vücut için uyarıcı olduğu iddiasında olsa da besin değeri çok azdı. Her halükârda bugün bile test edilip onaylanmış bir çeşni olmayı sürdürüyor.

Liebig'in ürünleri onu zengin etmeye başladığında, kuramına yönelik eleştiriler de gelmeye başladı. 1866'da İsviçreli biliminsanları Adolf Fick ile Johannes Wislicenus, Liebig'in kuramını kolaylıkla sınayabileceklerini fark ettiler.[24] Onlara tek gereken, basit fizik denklemleri ve canlandırıcı bir yürüyüştü. Serin ve sisli bir sabah saat beşte, İsviçre'deki dağlardan birinin zirvesine doğru sekiz saatlik bir yürüyüşe çıktılar. Önceki gün protein yemeyi bırakmışlardı; tırmanış boyunca ve döndükten sonraki altı saat boyunca idrarlarını özenle biriktirdiler.[25] Sonra azot içeriğini analiz ettiler. Buradan kaslarının enerji üretmek için ne kadar protein tüketmesi gerektiğini belirleyeceklerdi. Birkaç hesaplama daha yaptıktan sonra yanıtı buldular. Vücut ağırlıklarını ve tırmandıkları yüksekliği bildiklerinden, ne kadar iş yaptıklarını anlamaları kolaydı. Acaba vücutlarının parçaladığı varsayılan proteinden salınan enerji, tırmanmaya yetecek miktarda mıydı?

Pek öyle gözükmüyordu. Miktar, ihtiyaç duyduklarının yalnızca yarısı kadardı. Enerjiyi protein parçalayarak değil de başka bir yolla ürettikleri açıkça ortadaydı; karbonhidrat ve yağ yakmışlardı.

Liebig'in eski öğrencilerinden ikisi, Carl von Voit ve Max Joseph Pettenkofer, kurama benzer bir darbe vuran bir deney yaptılar.[26] Bir insanın günlerce yaşayabileceği büyüklükte, kapalı bir "solunum odası" inşa ettiler ve burayı bir masa, yatak ve sandalyeyle donattılar. Ama deneklerinden tek istedikleri orada oyalanmaları değildi. Ağır bir manivelayı dokuz saatte 7500 tur çevirerek iş yapacaklardı. Bu arada von Voit ile Pettenkofer de, Liebig'in kuramını kanıtlamak için deneklerin vücuduna giren ve çıkan her maddeyi tam olarak takip edecekti. Onlara protein içermeyen gıdalar verip, idrar ve dışkılarının

azot içeriğini ölçtüler. Bu arada odadan çıkan havanın analizi, deneklerin solunumla ne kadar karbondioksit saldığını gösteriyordu; bu da yaktıkları karbonhidrat veya yağın bir ölçüsüydü. Sonuçları hayal kırıklığı yarattı. Denekler manivelayı çevirirken azot üretimleri aynı kalmıştı. Liebig enerji üretmek için protein tüketildiğini iddia etmişti ama durum öyle görünmüyordu. Karbondioksit tüketimlerindeki ani artış tam tersini gösteriyordu; karbonhidratları veya yağları yakarak enerji üretiyorlardı. Liebig zor duruma düştü. O ve öğrencileri kuramı kurtarmak için karmaşık argümanlar öne sürdüler ama durum pek parlak değildi.[27] Liebig feci bir hata yapmıştı.

Yine de hakkını teslim etmek gerek: Onun yarattığı etki biliminsanlarını, asla keşfedilemeyeceğini düşündükleri soruları düşünmeye itti. İnsanın nelerden oluştuğunu ilk kez öğrenmeye başladık. Bizler sadece proteinden ibaret değiliz. Kaslarımız, dokularımız ve kemiklerimiz de dahil olmak üzere bütün canlı hücrelerdeki bazı yapılar aynı zamanda karbonhidratlardan ve yağlardan oluşur.

Liebig ayrıca bizim protein üretemeyeceğimiz sonucuna varırken de yanılmıştı. Proteinler yirmi çeşit amino asitten meydana gelen uzun, katlanan zincirlerdir (amino asitlerin her biri de yaklaşık yirmi atomdan oluşur). Aslında yediğimiz her protein amino asitlerine ayrılır; daha sonra hücrelerimiz yeni proteinler oluşturmak için bunları kolyeye boncuk dizer gibi art arda ekler.

Liebig yakıt kaynağımızı da yanlış anlamıştı. Normalde enerjimiz karbonhidrat ve yağların yakılmasından gelir. Kıtlık gibi zorlayıcı durumlarda, Liebig'in sezdiği gibi kaslarımızdan bir miktar protein tüketiriz; ama vücudumuz bu son çareye ancak başka seçeneği kalmadığında başvurur.

Öte yandan Liebig'in tüm fikirleri silinip gitmiş değil. İçlerinden biri hâlâ hayatta ve etkisi sürüyor. Kas geliştirmek için yüksek proteinli yiyecekler yemeniz gerektiğini düşünüyorsanız, bunun için Liebig'e teşekkür edebilirsiniz. Popüler kültürde bu fikir hiçbir zaman ortadan kaybolmadı. Ama yeterli proteine sahipken daha fazla protein yemek daha fazla kas yapmayı sağlamaz; sadece daha fazla yağ oluşturmaya yardımcı olur. Ne yazık ki daha fazla kas yapmanın tek yolu, daha fazla enerji harcamaktır.

Birçok yanlış adımına rağmen, getirdiği çok sayıda yenilik dolayısıyla Liebig hak ettiği saygın konumu korudu. Temel öğretilerinden biri evrensel olarak kabul edildi: Vücudumuzu inşa etmek için dört çeşit moleküle gerek duyarız.

Liebig ilk üçünü yani "beslenmenin kutsal üçlüsü"nü bitkilerin ürettiğini doğru bir şekilde çıkarsamıştı. Bitkiler karbondioksiti ve suyu şekere dönüştürür; sonra da şekeri protein, yağ ve karbonhidrata (şeker zincirleri) dönüştürür. Bu maddeler, suyu hariç tutarsak kütlemizin kabaca yüzde 90'ını oluşturur. Liebig bunlara ek olarak, vücudumuzu inşa etmek için gerek duyduğumuz dördüncü bir bileşen daha belirledi: sodyum ve potasyum gibi mineraller. Bu dört molekül çeşidi, "anne sütünün en mükemmel alternatifi" olan Liebig'in Çözünebilir Bebek Gıdası'ndaki içerik listesinin bilimsel temelini oluşturuyordu.[28] Ne yazık ki hiç kimse onun listesinin eksik olduğundan şüphelenmemişti, halbuki sırf onun mamasıyla büyüyen bebeklerin gelişememe nedeni buydu.[29] Anlaşıldı ki bedenimizi yapılandırmak için başka bir çeşit molekül daha yememiz lazımdı.

Ne yazık ki bu son madde çeşidinin eksikliği, dört korkunç hastalığın sorumlusuydu: iskorbüt, beriberi, pellagra ve raşitizm. 1500-1800 yılları arasındaki denizcilik çağında, yaklaşık iki milyon denizci iskorbütten öldü; bu sayı savaşta ölenlerin sayısından çok daha fazlaydı.[30] Beriberi, Asya'nın her yanında aralıklı olarak milyonlarca kişinin felç geçirmesine ve yaşamını yitirmesine neden oldu. Pellagra, Avrupa ve ABD'deki (özellikle de –başlıca gıdaları pastırma, mısır ekmeği ve melas olan– ABD'nin güneyindeki) yoksul insanları vurarak demans, cilt iltihabı, ishal ve ölüme yol açtı. Raşitizm ise hem zengin hem de fakir ailelerin çocuklarının kemiklerinin biçimini bozdu; ekonomik buhran sırasında Arkansas'da büyüyen kayınvalidemin kardeşleri de o çocuklar arasındaydı. Biliminsanları bu açıklanamayan rahatsızlıkların nedenini keşfedene kadar sayısız kurban acı çekti ve yaşamını yitirdi.

Ama bazı ipuçları uzun zamandır göz önündeydi; mesela daha Liebig'in doğumundan bile yarım asır önce bulunmuş olan oldukça sağlam bir ipucu vardı. 1747 senesinde, otuz bir yaşındaki Britanyalı

deniz harp cerrahı James Lind, elli topla donatılmış üç direkli savaş gemisi HMS *Salisbury*'nin sallantılı güvertesinde duruyordu. Fransa kıyısı açıklarındaki Biscay Körfezi'nde devriye gezerlerken, Lind güvertenin altındaki ambarı ve orada karşılaştığı sinir bozucu gizemi geride bırakmanın verdiği rahatlamayla temiz havanın tadını çıkarıyordu.

Limandan ayrılalı sadece sekiz hafta olmuştu ama gemideki üç yüz denizciden kırkı iskorbüt hastalığına yakalanmıştı bile. Lind'in revirine topallayarak giren bu adamların dişetleri iltihaplanmış, ciltlerinde kırmızı, mavi, siyah renkli benekler oluşmuştu. Halsizlerdi ve zorlukla yürüyorlardı. Eğer hastalık çok ilerlerse, yiyecekleri yutabilmeleri için aşırı derecede şişmiş dişetlerini kesmek zorunda kalacağını biliyordu.

Aslında Britanya donanmasında bu alışılmadık bir durum sayılmazdı. Uzun yolculuklarda iskorbüt yaygındı. Lind, o tarihten sadece yedi yıl önce yaşanan kötü olayın fazlasıyla farkındaydı. Donanma, Güney Amerika'daki İspanyol kalyonlarına saldırmak için Sir George Anson komutasında sekiz gemiden oluşan bir filo göndermişti. Üç buçuk yıl sonra Anson o kadar büyük bir hazineyle geri dönmüştü ki, Londra Kulesi'ne taşımak için otuz iki vagon gerekmişti.[31] Ama sefere götürdüğü 1900 adamdan sadece 400'ü yanındaydı; çoğu iskorbüt hastalığından ölmüştü.[32]

Donanma hastalığı tamamen görmezden geliyor değildi. Sorun, hastalığın nasıl tedavi edileceği konusunda fikir birliğine varılamamış olmasıydı.

Ama bu hastalığın tedavi yöntemi bir zamanlar biliniyordu; en azından bilen birileri vardı. O tarihten iki yüz yıl önce birçok gemi kaptanı, iskorbüt hastalığının denizcileri taze meyve ve sebzeden mahrum bırakan uzun yolculuklarda ortaya çıktığını söyleyebilirdi. Yazar Stephen Bown, 17. yüzyılda kaptanların hastalığa fırsat vermemek için gemilerini limandan limana adeta uçurduğunu gözlemlemişti.[33] Ayrıca limon suyunun iskorbütü önleyebileceği veya iyileştirebileceği de biliniyordu. John Woodall, 1617 tarihli *The Surgeon's Mate* (Cerrahın Elkitabı) adlı eserinde her gün limon suyu içilmesini önermişti.[34] Hollanda Doğu Hint Şirketi, mürettebatın gerek-

sinimini karşılamak için Güney Afrika kıyısında ve Mauritius Adası'nda limon bahçeleri bile kurmuştu.

Fakat maalesef, zamanla limon suyunun faydalı özelliklerine ilişkin bilgi bir şekilde ortadan kayboldu.[35] Bunun birçok nedeni vardı ve rehavet de bunlardan biriydi. İskorbüt vakaları tekrar kötüleşince, turunçgillere karşı bir direnç oluştu. Limon suyu pahalıydı ve bazı gemi sahipleri, tüccarların sırf fiyat yükseltmek için limona hayali tıbbi güçler atfettiğinden şüpheleniyordu. Bu arada hekimler, çok sayıda varsayımsal tedaviden bahsederek kafa karıştırıyordu. Yazar David Harvie'nin gözlemlediği üzere, bazı seferlerde limonun denizcilere yararlı değil zararlı olduğunu iddia eden "meyve karşıtları" bile vardı.[36]

Lind, bir önceki yaz çıktıkları on haftalık yolculukta mürettebattan seksen kişi ölene kadar, pek fazla iskorbüt vakasıyla karşılaşmış değildi.[37] Bir açıklama bulmak için etrafta dolanırken, karşılaştıkları yağmurlu soğuk havanın mürettebatın kurumasını zorlaştırdığını ve ambardaki ağır havayı beslediğini fark ederek sorumlunun bu kötü hava olabileceğinden şüphelenmişti. Ayrıca hastalığın yeterli besin içermeyen yiyeceklerden kaynaklanma ihtimalini de düşünmüştü, ama bu pek olası görünmüyordu. "Kaptan mürettebata kendi yediği kırmızı ve beyaz etten verdiği halde iskorbüte yakalandılar," diye yazmıştı.[38] Lord Anson'ın gemilerinde –kendi kanaatine göre– yeterli kumanya ve iyi su bulunmasına rağmen iskorbüt hastalığının patlak verdiğini de eklemişti.

Anson'ın sarsıcı kaybına rağmen, Britanya Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'ndaki üst düzey yetkililer konuya hiç de ivedilikle yaklaşmadı. Hastalığın nedeni konusunda büyük görüş ayrılıkları vardı. Aşırı kalabalıktan mı? Fazla tuzdan mı? Kötü havadan mı? Bazıları hastalığa sadece halsiz ve tembel denizcilerin yenik düştüğüne inanıyordu.[39] Üstelik limonların garip bir nedenden dolayı hastalığı önlemeye yardımcı olduğunu kabul etseler bile, uzun yolculuklarda büyük kasalar halinde limon taşımak çok masraflıydı. Ayrıca limon ve limon suyu bozulduğu için pratik de değildi. Belki de en önemlisi, iskorbüt genellikle subaylarda ve yüksek rütbeli denizcilerde görülmüyordu. Dolayısıyla hastalığı önlemeye çalışmanın yükünü ve ma-

liyetini üstlenmek yerine, durumun farkında olmayan daha fazla erkeği hizmete zorlayarak (çoğunlukla hile veya adam kaçırma yoluyla) kayıpları telafi etmek daha avantajlı görünüyordu.[40]

İskorbüt hastalığı, gemi cerrahlığına yeni terfi etmiş olan Lind'i dehşete düşürmüştü. Bilimsel bir kafa yapısı olduğundan, çare bulmak için kaptandan deney yapma izni istedi; bazıları o deneyi tıp tarihindeki ilk klinik deneme kabul ediyor. Lind, iskorbüt hastası on iki denizciyi ikişer ikişer gruplandırdı ve geminin ön kısmındaki hamaklara yerleştirdi. Her gruba farklı bir çare adayı verdi: elma şarabı, sülfürik asit, sirke, deniz suyu ve portakal-limon. Talihsiz son iki kişinin payına Lind'in meslektaşlarından birinin önerdiği bir karışım düştü: sarımsak ezmesi, hardal tohumu, kurutulmuş turp kökü, Peru balsamı olarak bilinen bir ağaç reçinesi ve mürden oluşan iştah kapatıcı bir macun; arada da sistemi temizlemek için bir doz demirhindili arpa suyuyla krem tartar.

Bir hafta sonra meyve kalmayınca Lind denemeyi sonlandırmak zorunda kaldı. Ama o noktada, denizcilere verdiği maddelerden ikisi dışındakilerin herhangi bir etki yaratmadığı belli olmuştu zaten. Elma şarabı biraz işe yaramış gibiydi. Turunçgiller ise inanılmaz bir şekilde büyük ölçüde iyileşme sağlamıştı; o kadar ki denizcilerden biri görevine dönmüş ve diğerini de Lind hastalara bakıcılık yapmakla görevlendirmişti.

Lind'in hemen "eureka" diye bağırarak hoplayıp zıplamaya başladığını sanabilirsiniz; ne de olsa turunçgillerdeki bir şeyin iskorbüt hastalığını iyileştirdiğini kanıtlamıştı. Ama hiç de öyle olmadı. Talihsiz Lind entelektüel bir batağa saplanmıştı – o zamanın kafa karıştırıcı tıbbi kuramlarına.

Lind yaptığı çalışmanın ne anlama geldiğini kavramak için kendine zaman tanıdı. Donanmadan ayrılıp Edinburgh'da tıp eğitimini tamamladı ve hekim olarak muayenehane açtı. Ardından iskorbüt hastalığıyla ilgili başkaları tarafından kaleme alınan birçok yazıyı inceledi ve ancak ondan sonra nihai bir açıklama yaptı.

1753 yılında yani çığır açan deneyinden altı yıl sonra Lind 456 sayfalık bir eser yayımladı. Yaptığı deneyin sonuçları gayet net görünüyordu ama çıkarımları pek de kesin değildi, öyle ki insanın "Yahu

baksana, görmüyor musun!" diyesi geliyor. İskorbüt hastalığıyla ilgili 54 adet başka eseri ayrıntılı olarak özetledikten sonra, kendi deneyine ancak kitabın ortalarına doğru değinmiş ve sadece beş paragraf ayırmıştı Lind. Turunçgillerin iskorbütü iyileştirebileceğini gösterdiğinden emindi fakat hastalığın nedenini açıklamakta zorlanmıştı. O zamanlar hastalık kavramları karmakarışıktı. Hastalıkların bedensel salgı dengesizliğinden kaynaklandığını söyleyen Galen'in düşünceleri baskındı. Böylece Lind, gemilerde yetersiz beslenmenin ve nemli soğuk havanın terlemeyi sekteye uğrattığı, bunun sonucunda da vücutta kokuşmuş, sağlıksız salgıların kaldığı sonucuna varmıştı. Turunçgillerin cilt gözeneklerini açabildiğini açıklıyordu ama daha sonraki bir basımda başka ilaçların da aynı şeyi yapabileceğini kabul edecekti. "Limon suyu ve şarabın iskorbüte karşı tek çare olduğunu söylemek istemiyorum. Pek çok hastalık gibi, bu hastalık da birbirlerinden ve limondan çok farklı ve zıt niteliklere sahip ilaçlarla tedavi edilebilir," diyecekti. Yazar Frances Frankenburg'un belirttiği üzere, "kendi bulgularından şüphe duyan bir araştırmacı varsa o da James Lind'dir".[41]

İşin iyi tarafı, Lind denizcilere hastalığı önlemek için limon suyu kullanmalarını tavsiye etmişti. Ama bu sağlam öneriyi, kendisine yakışmayan özensiz bir hata izliyordu. Meyve suyunun bozulmasını önlemek için ısıtılarak şurup yapılmasını önermişti; ısının meyve suyunun iyileştirici gücünü yok edebileceği aklına gelmemişti. Birçok seçkin doktorun tamamen etkisiz olan başka tedavileri savunması da kafa karışıklığını iyice artırıyordu. Bir deniz cerrahı sivri bir dille şöyle yazmıştı: "Dr. Lind, taze sebze ve yeşillik eksikliğinin iskorbüt hastalığının çok güçlü bir nedeni olduğunu düşünüyor; aynı mantıkla taze hayvan yemi, şarap, meyve kokteyli, ladin birası veya başka herhangi bir şeyin bu hastalığı önleyebileceğini de ekleyebilirdi."[42] Devamında da hastalığa çare olarak pirinçli yemekleri ya da suya dörtte bir oranında brendi katılmasını öneriyordu. Bu arada iskorbüt vakaları da tırmanmayı sürdürüyordu.

Lind'in incelemesini yayımlamasından üç yıl sonra, 1756'da, Britanya ile Fransa arasında Yedi Yıl Savaşları çıktı. Kraliyet Donanması'na kaydolan veya zorla getirilen 184.899 denizciden sadece 1512'si savaşırken öldü. 133.708 kişi ise başta iskorbüt olmak üzere çeşitli

hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirdi.[43] Ardından gelen Amerikan Devrimi sırasında, iskorbüt Britanya donanmasına köstek olmaya devam etti. Eğer Komutanlık mürettebata limon vermiş olsaydı, Britanyalıların kolonileri yeneceğini veya en azından Fransa donanmasını durdurup daha avantajlı bir çözüm için pazarlık yapabileceğini iddia edenler var.

Lind'in ölümünden bir yıl sonra, 1795'te, Kraliyet Donanması denizcilere limon suyu vermeye başladı. Bir süre için iskorbüt hakikaten de sorun olmaktan çıktı. Fakat donanma bir adım ileri gitmesinin ardından iki adım geri gitti. Seksen yıl sonra, Britanya sömürgesindeki Batı Hint Adaları'nda bulunan tarlalardan daha ucuza satın alabilecekleri misket limonuna (*lime*) geçtiler. Ondan sonra da Britanyalı denizcilere, bilindiği üzere *limey* denir oldu. Fakat ne yazık ki, misket limonu iskorbütü önlemede çok daha az etkiliydi ve bu da bütün turunçgil sularının tedavi kapasitesi konusunda kuşku uyandırdı. 20. yüzyılın başlarında bile, doktorlar taze meyve ve sebzelerin iskorbüt hastalığını tedavi edebileceği konusunda hemfikir olsalar da, hastalığın nedeni üzerinde hâlâ anlaşamıyorlardı. Bu nedenle iskorbüt, 1912'de Britanyalı kâşif Robert Scott'ın titizlikle planladığı Güney Kutbu keşif gezisinde başına bela oldu. Hastalığa bakteriyel gıda zehirlenmesinin yol açtığına dair inancı muhtemelen kendi ölümünü de hızlandırdı. Yüzlerce yıl sonra, iskorbüt hastalığının nedeni hâlâ gizemini koruyordu.

İskorbüt hastalığının gerçek doğası hakkındaki belirleyici ipucunu gün ışığına çıkaran, Hollanda'nın açtığı bir fetih savaşı oldu. Hollanda 19. yüzyıl sonlarında, sömürgesi olan Doğu Hint Adaları'na (şimdiki adıyla Endonezya) kuzeydoğu Sumatra'daki bir Müslüman sultanlığı ekledi. İstila şiddetli bir gerilla savaşına yol açtı ve beriberi adı verilen korkunç bir hastalık da bu katliama katkıda bulundu. Beriberi 1885'te Hollanda birliklerinin yüzde 7'sini ve Hollanda'nın yerli askerlerinin çok daha fazlasını etkiledi.[44] Hollanda sömürgesi olan Doğu Hint Adaları'nın başka yerlerinde de hastanede yatan çok sayıda hasta ölüyordu.

Hükümet beriberiye neyin sebep olduğunu bulmak için Cornelis

Pekelharing adında seçkin bir patolog atadı. O da kendisine yardım etmesi için nörolog Cornelis Winkler'ı işe aldı.

İki hekimin, çabucak başarıya ulaşacaklarını düşünmek için iyi nedenleri vardı. On yılı aşkın süre önce, Louis Pasteur mikrop adı verilen neredeyse görünmez düşmanların hastalık bulaştırdığını ortaya koyduğunda, Fransa'nın ulusal kahramanı haline gelmişti. Pasteur, periyodik olarak Avrupa'daki besi hayvanlarına musallat olan ölümcül şarbonu bakterilerin bulaştırdığını göstermişti. Sadece birkaç yıl sonra, Alman hekim Robert Koch tüberküloz ve koleradan sorumlu olan bakterileri tespit etmişti. Artık diğer birçok hastalıktan sorumlu olan mikropları bulma yarışı başlamıştı.

1886'da Pekelharing ve Winkler, Koch'u ziyaret edip ondan tavsiye almak için Berlin'e gitti. Hikâyeye göre, şık bir mekân olan *Café Bauer*'da kahve içerken göz atmak için bir Hollanda gazetesi istemişlerdi.[45] Garson da Hollanda gazetesinin okunmakta olduğunu söyleyerek, pala bıyıklı genç bir adamın masasını işaret etmişti. Masaya yaklaştıklarında, diğer bir Hollandalı hekim olan Christiaan Eijkman ile karşılaşınca çok sevinmişlerdi. Hüzünlü bakışları olan yirmi dokuz yaşındaki bu adam, Doğu Hint Adaları'nda görev yapmış ve beriberinin etkilerini görmüştü. Nedenini keşfetme konusunda da onlar kadar istekliydi. Gencecik eşi sıtmadan ölmüş, kendisi de sıtma nöbetine tutulmuş ve eve dönmek zorunda kalmıştı. Yine de tropik bölgelere dönme olasılığı onu korkutmuyordu. Bakteriyel hastalıkları incelemek için Koch'un laboratuvarına gelmişti ve dolayısıyla Pekelharing ile Winkler'ın asistanı olarak hevesle çalışmaya başladı.

Üç hekim Şubat 1887'de Sumatra'nın kuzey ucundaki Açe bölgesine ulaştı; beriberi orada endemikti. Kullanabilecekleri bir hastane laboratuvarında araştırmalarına başladılar. Kısa süre sonra beriberinin sinir sistemini etkilediğine kanaat getirdiler. Bacak şişmesi, yürüme zorluğu, felç, kalp sorunları ve korkunç bir duyum kaybı gibi çok çeşitli belirtilere neden oluyordu. "Bacaklarımın ve ayaklarımın tamamen uyuşup şiştiğini ve ağzımın etrafından neredeyse gözlerime kadar uzanan bölgenin uyuştuğunu hissetmiştim," diyordu hastalığa yakalanmış kişilerden biri.[46] Eijkman birliklerin ne kadar çabuk hastalanabildiğini öğrendiğinde şok olmuştu. Sabahki talim sırasında he-

defi on ikiden vuran bir askerin aynı gece can verdiği oluyordu.

Beriberiyi özellikle garip kılan bir şey daha vardı. Yerlilerin köylerinde nadiren ortaya çıkıyordu; ama orduda, hastanelerde ve hapishanelerde yaygın olarak görülüyordu. Birinin duruşmayı beklemek üzere birkaç aylığına tutuklanması, ölüm cezasına eşdeğer demekti.[47]

Pekelharing, Winkler ve Eijkman yeni laboratuvarlarında hemen hastalığın sorumlusu olan bakteriyel suçluyu aramaya koyuldular ama bu iş beklediklerinden daha zor çıktı. İlk başta hasta askerlerin kanında herhangi bir bakteri bulamadılar. Daha sonra bakteri tespit ettiler ama bunlar sağlıklı birliklerin kanında da vardı; bu da –onların çıkarımına göre–mikropların kışlalara neredeyse ânında yayılmış olması gerektiği anlamına geliyordu. Fakat beriberi hastalarından alınan bakterileri köpeklere, tavşanlara ve maymunlara verdiklerinde, aşırı dozda verilmedikçe hayvanlar etkilenmemiş görünüyordu. Bu çok tuhaftı.

Yine de sekiz ay sonra Pekelharing ve Winkler görevlerinin büyük ölçüde tamamlandığına kanaat getirdi. Hastalığa neden olan mikropların muhtemelen solunum yoluyla alındığı sonucuna vardılar. Sıcaklığın ve nemin büyümelerini teşvik ettiği tropik bölgelerde bu mikroplar endemik olmalıydı. Ve olağanüstü bir hızla yayılıyorlardı. Bu nedenle hekimler enfeksiyon kapmış binaların baştan aşağı sterilize edilmesini tavsiye etti.[48] Ama eğer dışarıdaki toprağa da mikrop bulaşmışsa, bina sakinlerinin yeni bir yere taşınmasının daha iyi olabileceğini belirttiler. Sonuçtan tatmin olan Pekelharing ve Winkler, işin kalan kısmını bitirmesi yani bakterilerin kimliğini bulması için otuz yaşındaki Eijkman'ı orada bırakarak Hollanda'ya döndü.

Böylece 1887'de Eijkman, kendisini Hollanda sömürgesi olan Doğu Hint Adaları'nın başkenti Batavya'da (şimdi Cakarta olarak biliniyor) beriberi hastalarıyla dolu bir askeri hastanenin arazisindeki bir laboratuvarın sorumlusu olarak buldu. Laboratuvar, kapalı bir verandadan geçilen iki büyük odadan ibaretti; verandada ziyaretçileri rahat ettirmek için koyduğu bir kanepe ve bir buzluk vardı. Batavya' nın kendisi hızla değişiyordu. Gaz lambalarının altın rengi parıltısı, yakın geçmişte karanlık olan sokakları aydınlatıyordu artık. Saatte 15 km gibi müthiş bir hızla gidebilen buharlı tramvaylar, at arabala-

rının yerini alıyordu.[49] Yiyecekler bile değişiyordu. Yeni çıkan buharlı değirmenler, elle öğütülmüş kahverengi pirinçten daha iştah açıcı görünen parlak beyaz pirinç veriyordu.[50] Ama beriberi hâlâ can alıyordu.

Eijkman hastalığa neden olan mikrobu arıyor ama bakteriler ona yardımcı olmuyordu. Beriberi hastalarından aldığı bakterileri tavşanlara ve maymunlara bir kez daha verdiğinde, hayvanlar hastalanmadı. Bunun üzerine uzun vadeli düşünerek tavuklarla çalışmaya başladı; bunun nedeni muhtemelen çok sayıda tavuğu beslemenin daha ucuz olmasıydı.[51] Şansına, bu kararın sonucu iyi oldu. Eijkman bakterileri tavuklara verdiğinde hayvanlar hastalandı. Yürüyüşleri dengesizleşti ve yürüyemez oldular; bu semptomlar beriberi belirtilerine oldukça benziyordu. Ama tam bir şeyler anlaşılacak gibi olmuşken, kafa karışıklığı geri geldi. Ayrı bir yerde bulunan kontrol grubunda da aynı belirtiler başladı. Bir kez daha, hastalık olağanüstü bir hızla yayılıyor gibi görünüyordu. Ama çok geçmeden, daha da anlaşılmaz bir şekilde, görünürde bir neden yokken tavukların hepsi birdenbire iyileşti. Bu olanlar insanı delirtmek için yeterliydi.

İşte o zaman Eijkman tuhaf bir tesadüften haberdar oldu. Yardımcısı ona tavuklara verdiği yemi değiştirdiğini söyledi. Hastalandıkları esnada onlara bulabildiği en ucuz yemi veriyordu: hastane mutfağındaki aşçının bağışladığı pişmiş beyaz pirinç artıkları. Ama o aşçı ayrılmıştı ve Eijkman'ın ifadesiyle "halefi, askeriyenin pirincini sivil tavuklara vermeyi" reddetmişti.[52] Böylece Eijkman'ın yardımcısı tavuklara pişmemiş kahverengi pirinç vermiş ve hayvanlar kısa süre sonra iyileşmeye başlamıştı.

Louis Pasteur'ün ünlü sözünde belirttiği gibi, "Şans ancak hazırlıklı zihinlere yardım eder".[53] Eijkman yaşadığı hayal kırıklıkları ve aksiliklerin ardından hazırlıklıydı. Beyaz pirincin yeni bir şey olduğunu biliyordu. Piyasaya çıkalı henüz sadece yirmi yıl olan buharlı değirmenler, pirincin kabuğunu çok daha iyi bir şekilde ayıklayabiliyordu. Makinede öğütülmüş pirinç daha uzun süre bozulmadan saklanabiliyordu ve çoğu insan bu parlak beyaz pirinç içlerini, üzerinde ince bir kepek tabakası kalan elle öğütülmüş kahverengi pirince tercih ediyordu.

Eijkman tavukların bir bölümünü pişmiş beyaz pirinçle besledi ve üç ila sekiz hafta içinde beriberi benzeri belirtiler göstermeye başladıklarını görünce epey şaşırdı. Nihayet bir şeyleri anlamaya başlıyor gibiydi.

O arada Eijkman da –muhtemelen sıtmadan ötürü– hastalandı. Yine de devam etti ve beyaz pirinçteki tavukları hasta eden gizemli maddeyi belirlemek için bir dizi deney başlattı.[54] Acaba belirli bir beyaz pirinç çeşidi mi zehirliydi? Yoksa beyaz pirinç kahverengi pirinçten daha mı hızlı bozuluyordu? Tavukların sağlıklı kalmak için sadece pirincin dış katmanında bulunan bir proteine veya tuza ihtiyacı olabilir miydi? Bu fikirlerin hiçbiri sonuç vermedi.

Beş yıl süren deneylerden sonra, Eijkman'ın keskin zekâsına göre mantıksal olarak geriye tek bir olasılık kalmıştı. Pirincin beyaz kısmının zehirli bir madde içerdiği ve onu saran kahverengi kılıfta da panzehir olduğu sonucuna vardı. Alternatif olarak ise (o zamanlarda çoğu biliminsanı bağırsaklarımızdaki bakterilerin zehir üretebildiğini düşündüğünden) bağırsaklarımızdaki bakterilerin beyaz pirinçle beslendiğinde bir zehir salgıladığı ve o zehrin de pirincin dış katmanındaki bir panzehir tarafından etkisizleştirildiği hipotezini ileri sürdü.[55]

Eijkman, Doğu Hint Adaları cezaevlerinin tıbbi müfettişi olan arkadaşı Adolphe Vorderman'dan kuramına güçlü bir destek bulduğunda çok memnun oldu. Vorderman yaklaşık 250 bin tutuklunun bulunduğu 101 cezaevindeki beriberi vakalarını analiz etmişti. Kahverengi pirinç servisi yapılan cezaevlerinde 10.000'de 1'den daha az oranda beriberi hastası olduğunu görmüştü. Beyaz pirinç dağıtan kurumlarda ise bu oran 39'da 1'di; ayrıca uzun süredir orada olan kişiler arasında 4'te 1 gibi daha da yüksek bir vaka oranı vardı. Vorderman tüm bunları, öğütme işlemiyle çıkarılan pirincin dış kepek tabakasının, beyaz pirinçteki bir zehri nötralize eden panzehiri içerdiğinin güçlü bir kanıtı olarak kabul etmişti.

1896'da Eijkman hastalığı nedeniyle Avrupa'ya dönmek zorunda kaldı ve orada sert eleştirilerle karşılaştı. Örneğin Britanyalı bir hekim beriberinin pirinç yemekle olan ilişkisinin, "balık yemenin cüzzamla veya kaplan eti çiğnemenin cesaretle olan ilişkisine denk" olduğunu söyledi.[56]

Yine de Asya'da beriberinin gıdayla bağlantılı olabileceği fikri yayılmaya başlamıştı. Malezya'daki bir "tımarhane"de çıkan ölümcül salgın, Britanyalı bir hekimi hastalarla bir deneme yapmaya itti.[57] Hekim kahverengi pirincin beriberiyi önlediğini ve hatta iyileştirdiğini şaşırarak keşfetti. O da Malay Tıbbi Araştırma Enstitüsü müdüründen gelen şiddetli şüphecilikle karşı karşıya kaldı. Ama kanıtlar giderek artıyordu. Japonya'da Takaki Kanehiro adlı bir hekimin, beriberiye protein eksikliğinin neden olduğu gibi hatalı bir inancı vardı. Yine de Japon donanmasına önerdiği beslenme değişiklikleri hastalığı neredeyse tamamen ortadan kaldırmıştı. 1910'lara gelindiğinde Asya'daki birçok doktor beyaz pirinç yemenin beriberiye neden olduğuna ikna olmuştu, ama bunun nasıl olabildiğini açıklayamıyorlardı.

Bu arada Avrupa'da çoğu biliminsanı suçlunun bakteriler olduğu konusunda ısrar etmeyi sürdürüyordu. Sanki bir optik illüzyona, iki şekil içeren bir çizime bakıyor ama şekillerden sadece birini görebiliyorlardı. Resmi bir anda bütünüyle yeni bir ışık altında görebilmeleri için tamamen farklı türde bir deney yapılması lazımdı.

O deneyi Cambridge Üniversitesi'nden Frederick Gowland Hopkins yaptı. Kariyerine ünlü zehirlenme vakaları üzerinde çalışarak başlayan Hopkins, sonraları Britanya biyokimyasının babası olarak anılacaktı. Hopkins hastalıkları araştırmak için yola çıkmamıştı; yapay yiyecekleri sıfırdan hazırlayarak, beslenme gereksinimlerimiz konusundaki bilgimizi netleştirmeye çalışıyordu. Justus Liebig'in altmış yıl önce tanımlamış olduğu temel besinleri yani proteinleri, karbonhidratları, yağları ve mineralleri ölçekli olarak yavru sıçanlara verdi. Şaşırtıcı bir şekilde, bunların yanı sıra onlara küçük bir damla süt vermediği sürece büyümelerinin gerilediğini fark etti.

Hopkins'in kafası karışmıştı. Yoksa Liebig hatalı mıydı? Acaba Liebig'in tanımladıklarının dışında, başka bir maddeden de ufacık bile olsa bir miktar yememiz mi gerekiyordu? Bu inanması zor bir şeydi. "Beslenme üzerine yarım asrı aşkın süredir dikkatli bilimsel çalışmalar yürütülmüş durumdaydı. Temel bilgiler nasıl gözden kaçırılmış olabilirdi?" diye yazacaktı ileride.[58] Ama bir süre sonra, "Neden olmasın ki?" diye düşündü. Sütte bulunan gizemli maddeyi "yardımcı etken" olarak nitelendirdi. 1912'de riske girdi ve mikropların

varlığının değil, küçük miktardaki yardımcı etkenlerin yokluğunun iki hastalıktan sorumlu olabileceğini öne sürdü: iskorbüt ve raşitizm.

Bu arada Casimir Funk adında Polonyalı, içine kapanık bir biliminsanı Londra'daki Lister Enstitüsü'nde hararetle aynı amacın peşine düşmüştü. Eijkman'ın Batavia'daki eski laboratuvarında çalışan araştırmacıların, pirinç kepeğinde bulunan ve beriberiyi tedavi eden maddeyi belirlemek için var güçleriyle uğraştıkları konusunda müdür onu uyardı. Funk, o maddeyi onlardan önce bulmaya karar verdi. İşe, güvercinleri beyaz pirinçle besleyerek başladı. Tabii ki beriberi benzeri semptomlar sergilediler: boyunları büküldü, kanatları ve bacakları zayıfladı ve yürümekte güçlük çekmeye başladılar. Ardından, hastalığı iyileştiren kahverengi pirinç kepeklerinin etken kısmını yalıtmaya çalıştı. Çoğu zaman gecenin geç saatlerine kadar "tam gaz" tek başına çalışarak, pirinç kepeğindeki iyileştirici maddeyi bulmaya uğraştı; kepeği alkolle karıştırmak, sıvıyı filtrelemek ve buharlaştırmak, kalıntıları preslemek ve başka kimyasallar eklemek gibi zahmetli işlmler gerçekleştirdi.[59] Nihai ekstraktı hasta güvercinlere verecek ve eğer iyileşirlerse daha da küçük bir kısmını yalıtmaya çalışacaktı. Sonunda 900 kg pirinç kepeğinden bir kaşık kadar etken madde çıkardı. Bunu çok küçük dozlarda verdiği güvercinler üç ila on saat içinde ayağa kalkıp yeniden yürümeye başladı. O zaman bile kuşkucu meslektaşları hâlâ onun "tedavisinin" geçerliliğini sorguluyordu çünkü sonrasında hayvanların sağlıklı kalma süresi sadece yedi ila on gündü.[60]

1912'de çığır açan bir makale yayımlayan Funk, bilinmeyen bazı maddelerin çok küçük dozlarının eksikliğinden ileri gelen beslenme yetersizliklerinin iskorbüt, raşitizm ve diğer iki korkunç hastalıktan sorumlu olduğunu ilan etti: beriberi ve pellagra. Funk akıllılık ederek, "yardımcı etkenler"den çok daha çekici bir isim bulmuştu. Onlara, *vita* (Latince "yaşam" anlamına gelir) ve amin (o maddeleri oluşturduğunu sandığı –ama aslında oluşturmayan– azotlu bir bileşik) sözcüklerinden oluşan *vitamin* adını verdi. İsim tuttu. Sonunda, korkunç hastalıklardan kaçınmak için Liebig'in proteinlerine, yağlarına, karbonhidratlarına ve minerallerine ek olarak başka bir şeye daha ihtiyacımız olabileceği fikri yayıldı.

Geriye dönüp bakınca insan sormadan edemiyor: Yahu neden bu kadar uzun sürdü? Kanıt uzun zaman önce mevcuttu. Yüzlerce yıl önce, birçok gemi kaptanı limonun iskorbüt hastalığını iyileştirdiğini biliyordu. Yine de bu bilgi yanlış yorumlandı, göz ardı edildi ve unutuldu. Beriberi ile beyaz pirinç arasındaki bağlantı da güçlüydü. Hopkins ve Funk'ın makalelerinden on yıl önce, Eijkman'ın Batavya'daki halefi Gerrit Grijns ve Eijkman'ın eski patronu Cornelis Pekelharing, daha fazla deney yaparak bilinmeyen bir maddenin eksikliğinin beriberiye neden olduğu sonucuna varmıştı. Ama Hollanda gazetelerinde çıkan makaleleri, okyanusa atılan çakıltaşları kadar az çalkantı yarattı. Meslektaşlarının çoğu onlara inanmayı reddetti; deneycilerin son derece bulaşıcı, görünmez mikropları devreden çıkaramamış olabileceğinden şüphelendiler. Ancak tamamen farklı türde bir deney (Hopkins'in sentetik gıdasının yetersizliğini keşfetmesi), biliminsanlarını başından beri bir şeyleri gözden kaçırmış olabileceklerine ikna etmeye başladı.

Neden böyle kasıtlı bir körlük içindeymiş gibiydiler? Öncelikle bu kişilerin insan olduğunu kabul etmemiz gerekiyor elbette. Saygı duyulan öğretmenlerinin öğretilerini sarsmak, herkes gibi biliminsanları için de zordur. Ayrıca hatalı olduğunu kolayca kabul edebilen insana da ender rastlanır. Sonra başka bir engel, bir düşünme tuzağı daha var: "Mevcut Kurama Uyan Kanıtları Arama ve Görme" önyargısı (genellikle doğrulama/teyit önyargısı veya yanlılığı olarak bilinir), yani sadece zaten inanılan şeyi doğrulayan bilgileri arama ve kabul etme eğilimi. Doğuştan gelen bu düşünüş kalıbı önemlidir, dünyayı hızlı bir şekilde kavramamıza yardımcı olur. Yürürken yerde gördüğünüz ince uzun, kahverengi cismin yılan mı yoksa ağaç dalı mı olduğunu düşünmeye fazla zaman harcamak istemezsiniz. Ama bu önyargının dezavantajları da vardır. Lind, Eijkman ve diğer pek çok kişi, mevcut hastalık anlayışlarına uygun kanıtlar bulmak için salgı dengesizliği, mikrop ya da zehir arayışına girmişti. Çok güçlü kanıtlar onları yeni bir açıklama aramaya zorlayana kadar, kökten farklı bir kavrama zihinsel bir sıçrama yapma konusunda isteksizdiler.

Küçük yaşlardan itibaren bize bozuk yiyecek ve içeceklerden kaçınmamız öğretilir. Viktorya dönemi İngiltere'sinde de bira içmek,

su içmekten çoğu zaman daha güvenliydi.* Yanlış şeyi yerseniz hastalanacağınızı herkes bilirdi; ama o acayip vitamin kavramı bu fikri altüst etmiş gibi görünüyordu. Biyokimyacı Albert Szent-Györgyi'nin belirttiği gibi, "vitamin, yemezseniz hasta olacağınız bir madde" idi.[61] Dolayısıyla, Hopkins ve Funk keşiflerini yaptıktan çok sonra bile birçok biliminsanının hâlâ vitaminleri "sadece bir addan ibaret" olarak görmesine şaşmamalı; ne de olsa hiç kimse var oldukları düşünülen bu maddelerin kimyasal bileşimini tanımlamış veya nasıl işlediklerini biliyor değildi.

Ama yine de büyük bir değişimin yaklaştığını hissedenler vardı. 1913 yılında Wisconsin Üniversitesi'nde Elmer McCollum ile gönüllü araştırmacı gençlerden Marguerite Davis, sıçanlar için sentetik bir diyet hazırladılar. Belli iki maddeden gıdalarında hiç olmayan yavruların büyümesinin durduğunu, bu maddelerden gıdalarında azıcık da olsa bulunanların ise büyüdüğünü gördüler. Söz konusu maddelerden biri yağlardan yalıttıkları bir "etken"di; diğeri de buğday tohumunda bulunan suda çözünür bir "etken"di. Bu etken maddelere A ve B vitaminleri adı verildi; ama X ve Y olarak da adlandırılabilirlerdi. Araştırmacılar onlar hakkında neredeyse hiçbir şey bilmiyordu.

Bu bulgu, "altına hücum" döneminin bilim alanındaki bir benzerini başlattı. Biyokimyacılar uzun çalışmaların ardından, Eijkman'ın üzerinde çalıştığı beriberi hastalığının geçmesini sağlayan gizemli etkenin bir vitamin olduğunu keşfettiler; kahverengi pirinçte bulunan bu vitamine B1 adını verdiler. James Lind'in kadim düşmanı iskorbüte ise C vitamini eksikliği yol açıyordu; sonradan bu vitamine askorbik asit adı verildi. (Yeri gelmişken, C vitamini favori elementlerimizin üçünden oluşur: karbon, hidrojen ve oksijen.) ABD'nin güneyinde yaygın olan pellagrayı B3 vitamininin tedavi ettiği ortaya kondu. D vitamini ise güneş ışığı almayan karanlık şehir apartmanlarında yaşayan birçok bebeğin başına bela olan raşitizmi tedavi etti.

Vitaminlerin çok önemli etkileri olmasına rağmen, araştırmacılar onların oldukça küçük boyutlu olduğunu da keşfetti. Vitaminler hepi

* Temiz su bulmak zordu çünkü su arıtma ve sterilizasyon konusunda henüz yeterli aşamaya gelinmemişti. İçecekte alkol bulunması, mikrop taşıma olasılığını azaltıyordu. –*ç.n.*

topu 12 ila 180 atomdan oluşan moleküllerdi.

Bekleneceği üzere, dünyayı çok geçmeden vitamin çılgınlığı kasıp kavurmaya başladı. Her derde deva oldukları iddia ediliyordu. *New York Times*'ın 1931 tarihli bir manşeti şöyleydi: "Biliminsanları Beynin Yumuşamasını Önleyen Bir Vitamine İlişkin İşaretler Buldu."[62] Vitaminler her şeye kadirmiş gibi görünüyordu: dinçliği ve morali artırmak, cinsel isteği güçlendirmek, kanseri önlemek.[63] Pek çok iyimser iddia fazlasıyla abartılı olmasına rağmen, vitaminlerle "güçlendirilmiş" yeni gıdalar bazı hastalıkları büyük ölçüde azalttı. Örneğin margarine A vitamini eklenmesi gece körlüğünü, süt ve margarine D vitamini eklenmesi de raşitizmi ortadan kaldırmaya yardımcı oldu.

1941'de vitaminlerle zenginleştirilmiş gıdaların üretimi yeni bir ivme kazandı. Pearl Harbor'dan sadece altı ay önce, Başkan Roosevelt başkent Washington'da Ulusal Savunma İçin Beslenme Konferansı düzenledi. Ulusun gıda tedariği konusunda çalışan uzmanlardan ve hekimlerden oluşan 900 kişinin katıldığı bu toplantıda, önde gelen konuşmacılar alarm zillerini çaldı. ABD'nin iyi beslenmiş Alman askerlerinin karşısına vitamin eksikliği çeken birlikler çıkarabileceği konusunda uyardılar.[64] FDA (ABD Gıda ve İlaç İdaresi) hiç vakit kaybetmeden değirmencilere ve fırıncılara, endüstriyel değirmencilik nedeniyle eksilen maddeleri beyaz una ve ekmeğe katmalarını tavsiye etti. Üreticiler gönüllü olarak una B1 vitamini (tiamin), B_2 vitamini (riboflavin) ve B_3 vitamini (niasin) eklediler. 1942 tarihli bir *Good Houskeeping* dergisinde şöyle deniyordu: "Siz de ordudasınız! Zenginleştirilmiş ekmek ve un kullanarak ailenize bu sağlık değerlerini kazandırmak vatani görevinizdir."[65] Vitaminlerle zenginleştirilmiş olmasıyla övülen yiyecekler süper besin muamelesi görmeye başladı. O dönemin bu sağlıklı gıdaları, pek çok kişi için bir sürü hastalığın geçmişte kalmasını sağladı.*

Günümüzde, vücudumuzda şişlikler oluşmasını, cilt rengimizin değişmesini, felç olmayı ve daha birçok sıkıntılı durumla karşılaşmayı istemiyorsak toplam on üç vitamine ihtiyacımız olduğu genel olarak kabul ediliyor. Vücudumuza gereken bu vitaminler A, C, D, E, K vitaminleri ile sekiz adet B vitamini. (Diğerlerine ihtiyacımız yok;

F'den J'ye kadar olan harflerle adlandırılan vitaminler ve bazı B vitaminleri sonradan fos çıktı.)

Tüm vitaminlerin ortak noktası nedir? BBC muhabiri Melvyn Bragg, "Vitamin, üretemediğimiz moleküller için kullandığımız bir ad," demişti.[66] Doğru ama şu var: Aslında vitaminlerden üçünü üretebiliyoruz. İnsan vücudu B_3, D ve K vitaminlerini üretebilir fakat miktarı çoğu zaman yetersizdir. Hücre oluşturmak ve enerji üretmek için yığınla karbonhidrat, yağ ve proteini hammadde olarak kullanırız; vitaminler ise çoğunlukla kimyasal tepkimeleri teşvik etmeye yardımcı olan küçük temel araçlar olarak işlev görür. Otomobillerde kullanılan gres yağı gibidirler bir nevi. Yağ kullanılmazsa araba varlığını sürdürür ama bir süre sonra hareket edemez olur. Ayrıca vitaminleri küçük miktarlarda almak yeterlidir. Mesela B_{12} vitaminine günde sadece gramın 2,5 milyonda biri kadar (2,5 mikrogram) ihtiyacımız var; yani bir tuz tanesinin ağırlığının yaklaşık otuzda biri kadar.

Bütün bunlar bariz bir soruyu gündeme getiriyor: Madem vitaminler bu kadar önemli ve vitamin eksikliği bu kadar tehlikeli, o zaman neden vücudumuz bunları üretecek şekilde evrilmedi? Basit açıklama tembel olmamızdır; yapmıyoruz çünkü mecbur değiliz. Mesela C vitaminini düşünelim. Primat atalarımız C vitamini üretiyordu; kediler ve köpekler dahil omurgalıların çoğu hâlâ üretiyor. Bu yüzden evcil hayvanlarımıza brokoli vermek zorunda değiliz. Fakat yaklaşık 60 milyon yıl önce, mutasyonlar bu geni atalarımızda devre dışı bıraktı.[67] Onu hâlâ taşıyoruz; sadece artık çalışmıyor. Biyokimyacı Chris Walsh şöyle açıklıyor: "Her gün yemek yememiz gerektiğinden, yediğimiz yiyeceklerde daima yeterli miktarda vitamin bulacağımızı varsayarak bir kumar oynamışız." Atalarımızın ve bizim şansımıza, bitkiler bolca C vitamini üretiyor.

Fakat ihtiyacımızın çok az miktarlarda olması sizi yanıltmasın. Vitaminler hücrelerimizin çoğunun en temel fonksiyonlarına yardımcı olur. Örneğin A, C, K ve B vitaminleri koenzimlerdir. Bu minicik

* Bugün bile çok sayıda Amerikalı hâlâ en az bir vitaminin eksikliğini çekiyor. Gelişmekte olan ülkelerde bu eksiklikler daha da şiddetli. Araştırmacıların A vitamini eksikliğini önleyebilecek Altın Pirinç gibi ürünleri genetik mühendisliği aracılığıyla üretmeye çalışmasının nedenlerinden biri de bu.

moleküller, büyük kardeşleri olan enzimlerin kimyasal tepkimeleri hızlandırmasına yardımcı olur. Enzimler (uzun, katlanmış amino asit dizileri) normalde milyon veya milyar yılda bir gerçekleşecek bir tepkimenin saniyede birçok kez gerçekleşmesini sağlayabilir. Enzimler molekülleri yakalar ve bir santimin birkaç milyarda biri kadar hata payıyla hassas bir şekilde konumlandırarak tepkimeye girmeye teşvik eder. Ama bazı enzimlerin bunu yapabilmeleri için farklı kimyasal özelliklere sahip minik yardımcılara ihtiyacı vardır. O yardımcılar da koenzimler yani vitaminlerimizden bazılarıdır. Nasıl ki inşaat işçileri binaları inşa etmek için vinç ve buldozerlerin yanı sıra matkaplara gerek duyar, hücrelerimiz de birçok temel görevi yerine getirmek için vitaminlere ihtiyaç duyar.

Tahmin edileceği gibi, vitaminlere şükreden tek tür biz değiliz. İster *E. coli* ya da mantar ister ornitorenk olsun, tüm canlı organizmalar vitaminlere gerek duyar. Vitaminlerin yaptığı iş o kadar temeldir ki, biyokimyacı Harold White onların en eski hücrelerin bazılarında evrildiğini düşünüyor.[68] DNA ve proteinlerin icadından çok önce, canlılığın ilk olarak RNA'dan evrildiğini düşünen bazı araştırmacılar olduğunu hatırlarsınız. RNA kendini eşleyebilir (replikasyon yapabilir) *ve de* kimyasal tepkimeleri hızlandırabilir. Ama RNA koenzimlerin yardımına ihtiyaç duymuş olabilir – ve "bozuk değilse kurcalama" ilkesi uyarınca biz de o zamandan beri koenzimsiz (yani vitaminsiz) yapamıyor olabiliriz.

Artık vitaminler vücudumuzda o kadar fazla sayıda başka işlev için kullanılıyor ki, hepsini takip etmek zor. Örneğin A vitamini, gözlerimizde loş ışığı algılayan çubuk şeklindeki hücrelerin üretilmesine yardımcı olur; o olmasaydı karanlıkta duvarlara çarpardınız. Ayrıca deri, kemik, diş, tırnak, saç ve bağışıklık sistemi hücrelerini üretmek için de A vitamini gerekir. Öte yandan C vitamini olmadan yürüyemezsiniz. Cildinize, kemiklerinize, tendonlarınıza ve kaslarınıza esneklik katan elastik madde olan kolajeni üretmek için C vitaminine gerek duyarsınız. Bedeninizdeki tüm proteinin en az yüzde 30'u kolajendir. Eğer C vitamininden mahrum kalırsanız, dişetleriniz ve bacaklarınız Britanya Kraliyet Donanması'ndaki bir *limey*'ninkiler gibi şişer. D vitamini hücrelerin kalsiyumu emmesine yardımcı olmasıyla

meşhurdur; yani o olmasaydı iskeletimiz olmazdı. Ama kasların ve sinirlerin de D vitaminine ihtiyacı vardır. Yani eğer D vitamini eksikliğiniz varsa, vücudunuz bir borcu başka bir borçla öder: Kaslarınızı ve sinirlerinizi canlı tutmak için kemiklerinizden kalsiyum çeker. Bunun sonucunda küçük yaşta bacaklarda ortaya çıkan eğrilik, raşitizmin söz konusu olduğunu hemen belli eder.* A, D ve E gibi bazı vitaminler de minik süpürgeler gibi çalışır. Bunlar, elektriksel yük taşıyan tehlikeli moleküller olan serbest radikalleri, hücrelerimizin işleyişini bozmadan önce süpüren antioksidanlardır.

Yüz yıldan uzun süre önce, bütün bu vitaminleri bizim için bitkiler ve maya gibi bazı mantarlar üretiyordu (bir istisna dışında: B_{12} vitaminini sadece bakteriler üretir). Bugün ise vitaminlerimizin çoğu fabrikada üretiliyor. Haplar halinde sunuluyor ve makarnaya, portakal suyuna ve kahvaltılık gevreklere ekleniyorlar. Catherine Price'ın *Vitamania* (Vitamanya) kitabında belirttiği gibi, bazı sentetik vitaminler naylon, aseton, formaldehit ve kömür katranından yapılmış olabilir.[69] Kulağa ne kadar iştah kapatıcı gelse de, sentetik vitaminler gayet iyi işe yarıyor. Fabrikada üretilen vitaminler ile bitkilerin ürettiği vitaminler aynı (veya neredeyse aynı) kimyasal yapılara sahip. Ama yine de birçok biyokimyacı vitaminleri işlenmemiş gıdalardan almanın çok daha iyi olduğunu düşünüyor. Beslenme hakkında bilmediğimiz çok şey olduğunu kabul etmekten çekinmiyorlar. Araştırmacılar bitkilerde rastlanan birçok bileşiğin besin olarak rollerini hâlâ keşfetmeyi sürdürüyor, flavonoidler adı verilen güçlü antioksidanlar gibi. Vitaminler, flavonoidlerle ve işlenmemiş gıdalardaki diğer bazı besinlerle henüz farkına varamadığımız biçimlerde birlikte çalışıp sinerjik etkiler ortaya çıkarıyor olabilirler. Yani brokoli yemek düşündüğünüzden daha da faydalı olabilir.

Bu arada, ne olur ne olmaz diyerek her gün vitamin takviyesi almak gerekir mi diye merak ediyor olabilirsiniz. Duruma bağlı. Örneğin eğer gebeyseniz veya ileri yaştaysanız, vitamin takviyesi almak

* İyi haber şu ki, D vitaminini cildinizde kendiniz üretiyorsunuz. Ama bunu yapmak için güneş ışığına ihtiyacınız var. Haftada birkaç kez öğle vakitlerinde yirmi ila otuz dakika güneşe çıkmak muhtemelen yeterli olur; şort giyiyorsanız daha az süre de yeter.

mantıklı olabilir. Yaşımız ilerledikçe D ve B_{12} vitaminlerini absorbe etme yeteneğimiz azalır. Üstelik bazı ülkelerde fasulye, mercimek ve bezelye gibi besin değeri yüksek gıdaların yerini bol bulunan ucuz pirinç, buğday ve mısırın alması, modern beriberi gibi vitamin eksikliğiyle bağlantılı hastalıklara yol açıyor. ABD'de bile çok sayıda insan bir veya daha fazla vitaminin eksikliğini çekiyor olabilir. Fakat eğer sağlıklı ve dengeli besleniyorsanız yeterince vitamin alıyorsunuz demektir. Yediklerinizle yeterince vitamin aldığınız müddetçe de vitamin hapları yutmanızın bir faydası olmaz; hatta vücudunuza (ve cüzdanınıza) zarar bile verebilir. 612 sayfalık *The Vitamins* (Vitaminler) metninin yazarlarından Gerald Combs Jr.'ın belirttiği gibi, "ABD'liler dünyadaki en pahalı idrara sahip".[70] Benim kuşkucu kayınpederim de öyle düşünüyordu. "Vitaminler tersine simyadır. Altını sidiğe çevirirler," derdi.

Justus Liebig vitaminleri gözden kaçırmış olabilir, ama "içimizdekiler" listesinin geri kalanını doğru bilmişti. Hatırlarsanız, proteinler, yağlar ve karbonhidratlara ek olarak dördüncü bir maddenin daha olduğunu söylemişti. Kendisi bile yeterince takdir etmemiş olsa da böyle bir madde var. Alınmayın ama gerçek şu ki, o olmadan pek bir şeye benzemezdiniz. Liebig, hayatta kalabilmek için birkaç minerale de ihtiyacımız olduğunu söylemişti. Listesinde isabetli biçimde demir, fosfor ve tuzdaki çok değerli sodyum ve klor yer alıyordu.

Elbette tuza olan açlığımız o kadar büyük ki tuzsuz yemeğin pek de tadı olmuyor. Tuzun birçok rolü arasında, kan basıncını korumanın yanı sıra sinir uyarımlarının gönderilmesine ve kasların kasılmasına yardımcı olmak yer alır. O kadar değerlidir ki, bir zamanlar Romalı askerlerin maaşlarının bir kısmının tuzla ödendiği rivayet edilir. Ayrıca tuz için birçok savaş yapıldı, Amerikan İç Savaşı'nda Kuzeyli generallerin Virginia'nın Saltville kentindeki tuzlalara saldırdığı baskınlar da dahil. Güneylileri tuzdan mahrum bırakarak savaşma güçlerini yok etmeyi umuyorlardı.

1930'lardan başlayarak, laboratuvar hayvanları için yapay yiyecekler hazırlayan biliminsanları, başka minerallere de az miktarda ih-

tiyaç duyduğumuzu keşfettiler: Magnezyum, manganez, bakır, çinko ve eser miktarda vanadyum, selenyum ve krom gibi.[71]

Minerallerimizin bizim için yaptıkları saymakla bitmez. Hangisinin en önemlisi olduğuna karar vermek de zor. En bol minerallerimiz olan kalsiyum ve fosfor kemiklerimizi güçlendirir. Kalsiyum kuru kütlemizin yaklaşık yüzde 1'i kadarken, fosfor onun yaklaşık yarısı kadardır. Düşünmek veya yürümek için sodyum ve potasyuma gerek duyarız. Onları hücre zarlarımızın içindeki ve dışındaki elektrik yüklerinde farklılıklar yaratmak için kullanırız. Göreceğimiz gibi bu muhteşem düzenleme, sinirlerimiz ve kaslarımız boyunca elektriksel uyarımlar göndermemizi sağlar. Öte yandan şayet demir "En Önemli Mineral" yarışmasına katılsaydı, "Demir yoksa enerji de yok" sloganıyla kampanya yürütebilirdi. Akciğerlerimizdeki hemoglobinde bulunan demir oksijeni yakalar ve kan dolaşımımız yoluyla vücudumuzdaki her bir hücreye taşır. Metabolizmamızı düzenleyen tiroit hormonlarını üretmek için de iyota ihtiyaç duyarız. Yeterli iyot olmazsa guatr olursunuz ve gözleriniz şişer. Vücudumuz ayrıca nikel, çinko, manganez ve kobalt da ister. Selenyumun ne kadar önemli olduğunu kim bilebilirdi? Eksikliği saç dökülmesine, yorgunluğa, bilinç bulanıklığına, kilo alımına, kalp sorunlarına, guatra, zayıf bağışıklık sistemine, fiziksel ve zihinsel engellere neden olabilir.

Bir de arsenik var; bu zehirli elementin çok küçük bir miktarı gerekli olabilir.[72] Ama daha fazlasını almayın. Rolü henüz anlaşılamadı ve büyük miktarlarda almak kesinlikle zehirler.

Son olarak, kullanmadığınız ama yine de bir şekilde içinize girmiş olan eser miktarda mineral taşıyorsunuz: itriyum, tantal, stronsiyum, niyobyum, altın ve gümüş gibi mineraller. Minerallerin beslenmedeki rolünü araştıran James Collins, "Toprakta olan her şey insan vücuduna giriyor," diyor.[73] Bu da vücudumuzda hemen hemen altmış çeşit element olmasına rağmen, neden yaklaşık yarısının herhangi bir işlev üstlenmediğini açıklıyor; sadece yirmi beş kadarı elzem kabul ediliyor.

Ama sürekli etrafta koşuşup bu minerallerin hepsini toplamaya çalışsaydınız hayatın nasıl olacağını bir düşünün. Molibden veya vanadyum nerede aranır ki? Çıldırırdınız herhalde. Neyse ki domates

ve bezelye gibi pek çok yaygın gıda molibden içerir. Biber, dereotu ve tahıllarda da vanadyum bulunur. Sizin için pek çok minerali önce kayalardan çıkaran, sonra da biriktirmeye devam eden çalışkan bitkilere, bakterilere ve mantarlara şükran duyabilirsiniz. Onlar bizim mineral dağıtım servisimiz.

İronik fakat insanların başına bela olan anemi, iskorbüt, beriberi ve pellagra gibi (vitamin ve mineral eksikliğiyle ilişkili) bazı hastalıklar büyük ölçüde modern dertler.[74] Avcı-toplayıcı atalarımız bu rahatsızlıklardan bizim kadar çekmemişti; çünkü tarım devriminden önce insanlar farklı karışımlarda bitki, meyve, kabuklu yemiş ve et yiyerek besleniyordu. On iki bin yıl kadar önce medeniyetler ağırlıklı olarak evcil buğday, mısır ve pirinçle beslenmeye başlayınca, farkında olmadan beslenme yetersizliklerinin kurbanı olma riskiyle karşı karşıya kaldık. Bu korkunç rahatsızlıklardan nasıl kaçınacağımızı ise ancak son yüz yıl içinde Liebig, Lind, Eijkman ve başka pek çok kişinin doymak bilmez merakı sayesinde öğrendik.

Vücudumuzu inşa etmek için gerek duyduğumuz bileşenlerin listesi artık tamamlandı. Hücrelerimizi beş çeşit molekülden yapıyoruz: proteinler, yağlar, karbonhidratlar, vitaminler ve mineraller.* Bunların neredeyse tamamı bitkilerden (az bir kısmı da bakterilerden ve mantarlardan) geliyor.[75]

Ama bu liste bilimdeki en tuhaf gizemlerden birini gündeme getiriyor. Bir miktar dilimlenmiş ve doğranmış besinden nasıl oluyor da yaşayan, nefes alan bir insan oluşturuyoruz? O besinler hücrelerimizde yaşamı nasıl yaratıyor? Başlıca soru şu: Her öğünde tükettiğimiz trilyon kere trilyonlarca atomdan bir insanı nasıl oluşturacağımızı söyleyen bilgi, içimizde nerede barınıyor? Kullanma kılavuzumuz nerede? Bu soru bir zamanlar bütünüyle anlaşılmaz görünüyordu. Ta ki irin üzerine yapılan bilimsel bir araştırmadan bir ipucu ortaya çıkana kadar.

* Bizim üretemediğimiz başka bir molekül çeşidi de yağlara dahildir: elzem (esansiyel) yağ asitleri olan omega-3 ve omega-6. Bunlar vücudumuzda birçok rol oynar, özellikle beynimizin düzgün işlemesi açısından önemlidir.

12

Göz Önünde Saklı

Genetik Tasarımımızın Keşfi

Keşif araştırması sisin içinde çalışmaya benzer.
Nereye gittiğinizi bilmezsiniz. El yordamıyla adımlar
atarsınız. Sonra insanlar keşfi öğrenir ve ne kadar
bariz olduğunu düşünür.[1]

Francis Crick

1868 YILININ SONBAHARINDA Friedrich Miescher adında İsviçreli genç bir hekim, Almanya'nın ortaçağdan kalma kentlerinden biri olan Tübingen sırtlarındaki heybetli bir kalenin büyük taş kemerli girişinden içeri girdi. Henüz yirmi dört yaşında olan bu çekingen ve içine kapanık tıp lisansüstü öğrencisi, çalışmaya başlayacağı laboratuvara gidiyordu, yani kalenin eski mutfağına. Miescher ilk başta saygın birer hekim olan babası ile amcasının izinden gitmeye niyetlenmişti. Ama geçirdiği tifüs enfeksiyonu işitme duyusunda hasar yaratıp stetoskop kullanmayı zorlaştırınca, kariyerine araştırmacı olarak devam etmeye karar vermiş ve biyokimya alanındaki büyük öncü Felix Hoppe-Seyler ile çalışmak için Tübingen'e gelmişti.

Miescher sadece altı ay içinde, baş döndürücü bir soruya ilişkin çok önemli bir ipucu bulacaktı: Uzaydan rasgele bir şekilde buraya ulaşan atomlar, hücrelerimizin içindeki fevkalade karmaşık faaliyeti nasıl yönetebiliyordu? Başka bir deyişle, sizi nasıl inşa edeceklerini ve nasıl çalıştıracaklarını hücrelerinize söyleyen moleküler kullanma kılavuzu ya da tasarım neredeydi? Darwin'in *Türlerin Kökeni*'ni yayımlamasından sadece otuz küsur yıl sonra ve James Watson ile Francis Crick'in doğmasına daha çok varken, Miescher yanıtı tahmin et-

meye inanılmaz ölçüde yaklaşmış ama kıl payı kaçırmıştı.[2]

Miescher'in Tübingen'e gittiği dönemde vücudumuz hakkında o kadar az şey biliniyordu ki, Hoppe-Seyler'in amacı farklı hücre türlerinde bulunan kimyasalları belirlemekti. İçlerindeki proteinleri analiz etmenin hücrelerin çalışma biçimine ışık tutacağını umuyordu. Miescher en basit hücrelerden biri olduğuna inanılan akyuvarlar üzerinde çalışacaktı.[3]

Şansına, genç araştırmacı hazır malzeme bulmakta zorlanmadı. Antiseptiklerden ve hastalıkların mikrop kuramından önceki zamanlarda, ölü akyuvarların (irin) vücudu zehirli "salgılardan" kurtardığına yaygın olarak inanılırdı. Hekimler bir yarada çok miktarda irin bulunmasından cesaret alarak, bandajların başlıca rolünün irini emmek olduğunu düşünüyordu. Miescher askerlerle dolu olan yakındaki bir hastaneden bol miktarda irinli (ve kötü kokulu) bandaj bulmakta hiç zorluk çekmedi.

Geniş laboratuvarının tonozlu tavanı altında Miescher bandajlardan "bulanık, koyu kıvamlı, sümüksü bir kütle" elde etti ve hücreleri tuz solüsyonlarıyla parçaladı.[4] Sonra işin zor kısmı olan içlerindeki kimyasalları belirlemeye girişti. Beklediği gibi, proteinler ve yağlar buldu ama aynı zamanda başka bir çeşit molekül daha saptadı; içinde fosfor vardı. Bu beklenmedik bir şeydi. Proteinler, yağlar ve karbonhidratlar fosfor içermediğinden, hücrelerimizde bulunan bambaşka bir molekül türünü mü keşfettiğini merak etmeye başladı. Böylece av başladı.

Göründüğü kadarıyla, bazı testlerde hücre çekirdeklerini yalıtmıştı ve yeni moleküller çekirdeklerden çıkmıştı. Eğer bunu kanıtlamak istiyorsa, daha önce hiç yapılmamış bir şeyi yaparak, çekirdekleri hücrelerden tamamen yalıtması gerekecekti.[5] Odaklı çalışma konusundaki karakteristik şevkiyle probleme saldırdı. (Yıllar sonra, düğün gününde, tarihi unuttuğu için bir arkadaşı onu laboratuvarından dışarı sürüklemek zorunda kalacaktı.[6]) Miescher'in geliştirdiği işlem için kasaptan berbat kokulu domuz midesi astarı almak gerekiyordu. Astardan sindirim enzimi pepsin elde ettikten sonra, onu alkol ve hidroklorik asitle birlikte kullanarak çekirdekleri yalıttı.

Aylar sonra, çekirdeklerden fosfor içeren beyaz bir madde çıkar-

dı. Bunun çığır açıcı bir keşif olduğundan emindi. Hücrede benzersiz bir rol oynuyor olması gereken yeni bir molekül çeşidi bulmuştu. Hatta önem açısından proteinlere rakip bile olabilirdi.

Hoppe-Seyler, genç araştırmacısının böylesine temel bir keşif yaptığına inanmakta isteksizdi. Aynı sonuçları kendisi elde edene kadar, Miescher'in makalesini editörlüğünü yaptığı biyokimya dergisinde yayımlamaya yanaşmadı. Bu arada bir yıl geçmişti ve Miescher öğretim görevlisi olarak iş bulabilmek için o makalenin yayımlanmasına çaresizce bel bağlamış durumdaydı. Aynı sonuçları başka birinin bulup ondan önce yayımlamasından korkuyordu. "İrin Hücrelerinin Kimyasal Bileşimi Üzerine" başlıklı makalesi, Hoppe-Seyler'in makalenin "öngörülemeyen koşullar" nedeniyle ertelendiğini açıklayan bir notuyla birlikte, nihayet iki yıl sonra yayımlandı.

Miescher yeni molekülüne nüklein adını vermişti. Biz onu DNA adıyla tanıyoruz.

Miescher'in çekirdeklere olan ilgisi göz önüne alındığında, kalıtıma da ilgi duyması şaşırtıcı değil. Çekirdek ve kalıtım bağlantılı görünüyordu, ama biliminsanları kalıtımın nasıl işlediği konusunda ancak belli belirsiz ipuçlarına sahipti. Yüzlerce yıl önce İngiliz doğa filozofu Robert Hooke mikroskopta mantar dilimine bakıp da birçok küçük bölmeden oluştuğunu görünce hayrete düşmüştü. Manastırlardaki küçük yaşam alanlarını akla getirdikleri için onlara hücre adını vermişti. 1850'lere gelindiğinde, daha güçlü mikroskoplar bütün canlıların hücrelerden oluştuğunu ortaya çıkardı. Bununla birlikte, biliminsanlarının çoğu yeni yaşamın sadece tozdan, ölü etten veya organik maddeden kendiliğinden oluşma yoluyla doğabileceği konusunda hemfikirdi. Daha sonra *daha da* güçlü mikroskoplar hücrelerin bölündüğünü, her hücrenin başka bir hücreden geldiğini ortaya çıkardı. Üstelik bir hücre bölündüğünde çekirdeğinin de bölündüğü anlaşıldı. Ayrıca denizkestanesinin şansımıza büyük ve şeffaf olan yumurtasında, biri spermden diğeri yumurtadan gelen iki çekirdeğin birleşmesiyle embriyonun oluştuğu gözlemlendi.

Miescher, çekirdekte bulunan ve kalıtımı iletebilecek olan molekül çeşidi hakkında tahminler yürüttü. Zamanın kimyasal teknikleri yanıt verebilecek yeterlilikte değildi ama yine de Miescher biyoloji-

deki gelmiş geçmiş en önemli öngörülerden birinde bulunmanın eşiğindeydi. 1874'te şu fikri öne sürdü: "Eğer tek bir cismin ... döllenmenin spesifik nedeni olduğunu varsayacak olursak, en başta nükleini düşünmemiz gerekir."[7] Sonradan 1892'de amcasına yazdığı dikkat çekici bir mektupta, öngörülü bir şekilde, alfabelerinde sadece 25-30 harf olan dillerde sınırsız sözcük ve düşüncenin ifade edilebilmesi gibi, benzer sayıda özelliği olan moleküllerin de bir hücreye nasıl çoğalacağını söyleyebileceğini belirtmişti.[8] Bu şaşırtıcı derecede doğruydu. DNA yirmi farklı amino asidi şifreleyen bir kod içerir.* O kod da nihai olarak hücrelerimizin faaliyetlerinin çoğunu kontrol eder.

Ne var ki ironik bir şekilde, nükleini keşfettikten yirmi yıl kadar sonra Miescher proteinlere daha çok kapılmıştı. Nükleinin kalıtımsal aktarım için gereken karmaşıklığa nasıl sahip olabileceğini anlayamıyordu; proteinlerin ise büyük ve karmaşık olduğu biliniyordu. Fikrini değiştirmesi ve DNA'yı anlaşılır fakat adil olmayan bir şekilde azımsaması nedeniyle, bilimdeki en önemli öngörülerden birinde bulunma şansını kaçırdı. Aşırı çalışmak bağışıklık sistemini zayıflatmıştı; tüberküloz nedeniyle elli altı yaşında yaşama veda etti.[9] Yaptığı katkı da büyük ölçüde unutuldu.

Ama yirminci yüzyılın başında, nükleinin potansiyelini yetersiz bulan Miescher'le aynı fikirde olmayan çok sayıda biyokimyacı vardı. Onlara göre kalıtımı ileten protein değil nükleindi.[10] Fakat bu fikir doğar doğmaz öldürüldü; hem de büyük ölçüde tek bir adamın, New York'taki Rockefeller Tıbbi Araştırma Enstitüsü'nün kimya bölümünün saygın başkanı Phoebus Levene'in çabaları sayesinde. Levene nüklein konusunda tartışmasız en büyük uzmandı. Hatta molekülün adını değiştirip DNA yaptı: deoksiriboz nükleik asit (çünkü DNA'daki riboz şekerinde, RNA'daki ribozdan farklı olarak bir oksijen atomu eksiktir). Levene DNA'nın ayırt edici özelliğinin dört küçük kimyasal baz içermesi olduğunu biliyordu: adenin, guanin, sitozin ve timin. O dönemde yapabildiği yaklaşık ölçümler, DNA'nın her bazdan aynı

* DNA kodunun alfabesi dört harflidir: adenin (A), timin (T), guanin (G), sitozin (C). Bu dört harfin üçlüler halindeki farklı dizilimleri (kodonlar), farklı amino asitleri kodlar. *–ç.n.*

oranda içerdiğini gösteriyordu. Dolayısıyla ona göre DNA, muhtemelen dört bazın aynı sabit sırayla tekrarlandığı basit bir moleküldü.

Makul bir tahmindi bu, fakat bir noktadan sonra sorgulanmayan bir bilgiye dönüşüp kaldı. Çok geçmeden, herkes DNA'nın hiçbir ilginçliğinin olmadığında hemfikirdi. "En Olası Seçenek Gibi Göründüğüne Göre Doğru Olmalı" önyargısına kapılmışlardı. Herkes DNA'nın basit olduğu konusunda hemfikir olunca, bu inancın altında yatan varsayımın zayıflığı belleklerden silindi.

O arada biyologlar kalıtım hakkında biraz daha bilgi edinmişlerdi. Avusturyalı keşiş Gregor Mendel, 19. yüzyılda bitkilerde bir özelliğin –mesela boy veya tohum şeklinin– kuşaktan kuşağa aktarımının izinin sürülebileceğini göstermişti. Biliminsanları hücrelerin özelliklerini aktaran yapılara "gen" adını verdiler; Yunanca "doğum" veya "klan" anlamına gelen *genos* sözcüğünden türetmişlerdi bu ismi. 1920'lerin sonlarına gelindiğinde, biyologlar meyve sineklerini X ışını bombardımanına tutup, ortaya çıkan mutasyonların nesilden nesle geçişini takip ediyorlardı. Bazı özellikler her zaman birlikte aktarıldığından ve kromozomlardaki (çekirdekteki ipliksi yapılardaki) fiziksel değişikliklerle ilişkili olduğundan, genetikçiler genlerin kromozomlarda bulunuyor olması gerektiğini anladılar. Ayrıca kromozomların iki bileşeni olduğunu da biliyorlardı: DNA ve protein.

Peki ama gen *neydi*? Tek bir molekül müydü? Yoksa gevşekçe bağlanmış birkaç molekülden mi oluşuyordu? Kimsenin hiçbir fikri yoktu. Ama genetikçiler genlerin muhtemelen, hücrelerimizdeki en etkileyici moleküller olan proteinlerden oluştuğu konusunda hemfikirdi. Basit DNA'nın aksine, proteinler (yirmi farklı amino asit çeşidi içerebilen zincirler) boyutları ve biçimleri bakımından baş döndürücü bir çeşitliliğe sahipti. Dolayısıyla proteinlerin daha "zeki" olduğu bariz görünüyordu. Kalıtımı aktarmak için gereken karmaşıklığa sadece onlar sahipti.

Yine o dönemde, bu fikir birliğinde belli belirsiz bir çatlak ortaya çıktı. Çatlağı açan bir genetikçi değil, bakterileri araştıran bir tıp araştırmacısıydı: Oswald Avery. Levene'in Rockefeller Enstitüsü'nden arkadaşı ve meslektaşı olan Avery, ona saygı duyan ve "profesör"ün kısaltması olarak ona Fess diyen dostları tarafından bile tuhaf biri ola-

rak görülürdü. Kariyerine hekim olarak başlamıştı ama hastalarına yardım etmek için hiçbir şey yapamadığından sık sık hüsrana uğramıştı. Örneğin başlıca ölüm nedeni olan zatürre, giderek artan üşüme, ateş ve halüsinasyonlarla birlikte, yılda elli bin ABD vatandaşının can vermesine sebep oluyordu; Avery'nin annesi de o nedenle vefat etmişti.[11] Bu yüzden Avery araştırma alanına yönelmişti. Aslında gayet hoşsohbet biriydi ve üniversitede topluluk önünde konuşma konusunda çok başarılıydı, ama Rockefeller'da kendisini bir bilim keşişine dönüştürdü. Avery ufak tefekti ama kelleşmekte olan iri bir kafası ve (hipertiroidizminin sonucu olarak) dikkat çeken patlak gözleri vardı. İçedönük ve mahremiyetine son derece düşkün biri olarak, bir diğer bekâr biliminsanıyla birlikte Rockefeller yakınlarında yaşıyor ve dikkatini dağıtan her şeye içerliyordu; hatta araştırması hakkında düşünmekten alıkoyduğundan, mektupları yanıtlamak bile onun için külfetti. Miescher gibi o da kimyasal avı seviyordu. Fakat Avery, iyice hazırlanmadan deneylere girişen araştırmacıları küçümsüyordu. Kendisi bir test tüpünü eline almaya hazır olmadan önce günlerce oturur ve deneyi nasıl daha zarif ve anlamlı hale getirebileceğini düşünürdü.[12] Laboratuvar tezgâhındayken algıları daha da açılmış gibi görünürdü ve bakışları "sanki çevredeki dünyayla ilgilenmiyormuş gibi içine odaklanırdı".[13]

Tiksinti uyandıran bir çalışmanın sonunda yapılan bir keşfe herkesten çok ilgi gösteren kişi de Avery oldu. 1928'de Londra Sağlık Bakanlığı'nda sağlık görevlisi olan Frederick Griffith, zatürre hastalarının öksürürken çıkardığı balgamı analiz etti. Genellikle bir değil iki çeşit zatürre bakterisi barındırdıklarını görünce şaşırdı. Bakterilerden birinin dış kısmında pütürlü bir kaplama vardı ve farelere verildiğinde hasta etmiyordu. Kaplaması pütürsüz olan öteki bakteri ise ölümcüldü. Aynı kişinin iki farklı zatürre türüne yakalanması Griffith'e göre pek olası değildi. Deneyler daha da ilginç bir şeyi de ortaya çıkarmıştı. Ölümcül bakterileri ısıyla öldürüp farelere verirse, fareler tamamen sağlıklı kalıyordu. Ama ölü olan ölümcül bakterilerle canlı olan zararsız bakteriler aynı anda verildiğinde fareler ölüyor ve artık canlı olan ölümcül bakteriler taşıyorlardı. Suşlar bir biçimden diğerine değişebiliyor gibi görünüyordu.

Avery ilk başta Griffith'in tuhaf sonucunun kontaminasyondan (başka bir şeylerin bulaşmasından) kaynaklandığına emindi ve arkadaşlarının deneyi yinelemek için zaman kaybetmesine izin vermemişti.[14] Ama laboratuvarındaki bir araştırmacı, Avery tatildeyken deneyi tekrarlamaya karar verdi.[15] Rockefeller Tıbbi Araştırma Enstitüsü'nün altıncı katında çalıştıklarından, taze zatürre mikrobu toplamak için hastane koğuşlarına kadar yürüyüp gelmesi yeterliydi. Avery döndüğünde Griffith'in haklı olduğunu öğrenip şaşırdı. Ölümcül bakteriler ısıtılıp öğütülse bile, canlı olan zararsız suşla birlikte bir test tüpüne koyuldukları zaman iyi huylu bakteriler ölümcül hale geliyor ve sonraki kuşaklar da hep ölümcül oluyordu. Avery'nin ifadesiyle, bu bakteriyel Jekyll'ları Hyde'lara dönüştüren bir şey vardı.[16]

İlkel bakterilerde görülen tuhaf bir olayı incelemekle ilgilenen çok az kişi vardı ama Avery bu konuyu düşünmekten kendini alamıyordu. Zararsız bakterileri ölümcül duruma getiren o gizemli şey – kendi verdiği adla "dönüştürücü ilke"– neydi? Ölen ölümcül bakterilerden çıkan bir şey, iyi huylu bakterilere tutunup onların enzimlerini, zararsız bakterileri ölümcül yapan bir madde üretmeleri için uyarıyor muydu?[17] Yoksa başka bir şeyler mi olup bitiyordu? Acaba ölü bakterilerdeki bir gen, canlı olanlara mı giriyordu? Griffith'in ilkel bakteriler hakkındaki bu garip gözleminin, kendi hücrelerimizdeki bazı moleküllerin, başka bazı moleküllerin faaliyetlerini nasıl yönlendirdiğini aydınlatabileceğini yalnızca o fark etmiş görünüyordu.

Avery bunu öğrenmeye kararlıydı ama zorluklar yakasını bırakmıyordu. 1930'ların başlarında hipertiroidizmi alevlendi; el titremesine, depresyona ve halsizliğe neden oldu. 45 kg'dan biraz fazla olan normal ağırlığına ancak ameliyat olduktan sonra dönebildi.[18] Bu arada, güvenilir sonuçlar elde etmeye çalışan ekibi, sürekli "baş ağrıtan ve kalp kıran neticelerle" karşı karşıya kalmıştı.[19] Yalıttıkları dönüştürücü madde bakterileri bazen dönüştürüyor, bazen de dönüştürmüyordu. "Kaç kere bütün projeyi çöpe atasımız geldi," diye yazacaktı sonradan Avery. "Hayal kırıklığı benim günlük azığım," derdi sık sık.[20]

Avery ancak 1940 yılında yani altmış iki yaşındayken, zorunlu emekliliğine sadece üç yıl kala tüm zamanını ve enerjisini nihayet

"dönüştürücü ilke"ye odaklayabildi. Bunun karşılığında ödül olarak epey ilerleme katetti. Çalışma arkadaşı Colin MacLeod, yaptıkları deneyler için büyük miktarlarda bakteriyi yalıtmayı sağlayan güvenilir bir yöntem geliştirdi. Büyük kaplarda zatürre bakterileri yetiştirdi ve bunları ayırmak için de büyük, endüstriyel bir süt kaymağı ayırıcıyı santrifüj olarak uyarladı. Havaya hasta edici bir zatürre sisi yaymasını önlemek için cihazı paslanmaz çelik bir kutuya yerleştirdi ve civataları gevşetilip açılmadan önce içini buharla sterilize etmek için de bir aparat tasarladı. (Kutu açılırken Avery hep ortadan kayboluyordu.)

Bir diğer çalışma arkadaşı olan Maclyn McCarty, elinde artık bol miktarda dönüştürücü madde bulunduğundan, söz konusu maddenin ne olduğunu belirlemek için çeşitli kimyasal testler yapmaya başladı. Tüm yağ ve şekerleri çıkardıktan sonra bile hâlâ zararsız bakterileri ölümcül bakterilere dönüştürdüğünü keşfetti. Bu durumda, geriye sadece iki kimyasal şüpheli kalıyordu. İlki proteinlerdi. Avery'yi şaşırtan ikinci şüpheli ise DNA'ydı.

1942'ye gelindiğinde, zararsız zatürre bakterilerini suikastçılara dönüştürebilen beyaz lifli bir ekstrakt yalıtmışlardı. Bu madde yüzde 0,01 oranında proteindi. Geriye kalan yüzde 99,99'u ise yavaş yavaş DNA olduğunu sezdikleri bir maddeydi. Araştırmaları devam ederken tavşan kemiklerinden, domuz böbreklerinden, köpek bağırsaklarından ve tavşan, köpek ve insan kanından elde edilen enzimlerle ekstraktı işleme tabi tuttular.[21] Maddeyi işe yaramaz duruma getiren yegâne enzimler, DNA'yı yok ettiği bilinen enzimlerdi. Akıllarına gelen her sınama, dönüştürücü maddenin DNA olduğunu gösteriyordu.

Ama Avery işi şansa bırakmadı; sütten ağzı yandığından yoğurdu üfleyerek yiyordu. Yirmi yıl önce, ölümcül bir zatürre suşunun, yüzeyindeki bir proteinden tanınabileceğini açıklamıştı. O tarihten altı yıl sonra ise yanıldığını anlamıştı; belirleyici molekül bir şekerdi. Yanıldığını alenen kabul etmesi şüphecilik ve alaycılıkla karşılanmıştı.[22] Yıllar sonra hâlâ bunun acısını hissediyor ve bir daha yanılmak istemiyordu. Ama Princeton'daki birkaç seçkin kimyacıya danıştıktan sonra, aklına yapacak başka test gelmiyordu. Kente dönüş yolculuğunda MacLeod ona şöyle sordu: "Daha ne istiyorsun Fess? Başka

ne kanıt bulabiliriz?"[23] Avery, Rockefeller'da başka kimyacılara da danıştı.

Nihayet 1944 yılında, yaklaşık on dört yıllık araştırmanın sonuçlarını yayımlamayı kabul etti. Kardeşine yazdığı mektupta coşkuyla, "genetikçilerin uzun zamandır hayali olan" çok önemli bir keşif yaptığını haber verdi.[24] Hazırladığı makale oldukça uzundu ve son kısmında bombayı patlatıyordu. Onlarca yıldır süregelen inancın aksine genlerin proteinden oluşmadığını, gen olarak düşünülebilecek olan dönüştürücü maddenin DNA'dan meydana geldiğini belirtiyordu. Hemen ardından da bir uyarıda bulunuyordu: Dönüştürücü maddede kontaminasyon olasılığı elbette ki hâlâ vardı; öyle bir şey olduğu bulunursa, makale dikkate alınmasındı.

"Pnömokok Tiplerinin Dönüşüm Geçirmesini Tetikleyen Maddenin Kimyasal Doğası Üzerine Çalışmalar: Pnömokok Tip III'ten Yalıtılan Bir Deoksiribonükleik Asit Parçası Tarafından Dönüşümün Tetiklenmesi" gibi sıkıcı bir adı olan makale kurşundan bir balon gibi yere çakıldı. Avery'yi en sert eleştiren kişi, proteinler konusunda dünyanın önde gelen otoritelerinden biri olan ve Rockefeller'da ondan iki kat üstte çalışan Alfred Mirsky oldu. Avery'nin yaptığı pek çok testi göz ardı eden Mirsky, hiç kimsenin DNA'yı yüzde 99'dan fazla saflaştıramayacağını ve bu nedenle Avery'nin preparatına sadece yüzde 0,1 oranında bile protein bulaşsa, söz konusu dönüşümü gerçekleştirebilecek milyonlarca protein olacağını söyledi.[25] "Dünyanın En Büyük Uzmanı Haklı Olmalı" önyargısı, bir kez daha biliminsanlarının düşünüşünü etkiledi. Elbette genellikle makul bir varsayımdır bu. Üstelik Avery bakteriler üzerinde çalışıyordu ve biyologlar, bakteriler hakkında hâlâ pek bir şey bilmiyordu. Bakterilerin genetiğinin bizimkine benzeyip benzemediğini kim bilebilirdi ki? Genlerin proteinlerden mi yoksa DNA'dan mı oluştuğu, çoğu genetikçiye pek önemli görünmüyordu; sonuçta ikisi de doğru düzgün anlaşılabilmiş değildi. DNA'yı sadece "allahın belası bir makromolekül" olarak görenler vardı.[26] Çoğu biliminsanına göre, hücrelerimizde gerçekleşen işlemleri kontrol eden moleküllerin doğası belirsizdi.

Her halükârda, Avery bir devrimin tohumlarını atmış oldu. Onu çok az biliminsanı ciddiye aldı; içlerinden biri Kolombiyalı biyokimyacı Erwin Chargaff'tı. "Önümde hatları kabaca çizilmiş haliyle biyoloji gramerinin başlangıcını gördüm," diyen Chargaff, hemen DNA'yı incelemeye başladı.[27] Levene'in her DNA'da bazların oranlarının aynı olduğu varsayımını, bir önceki yıl geliştirilmiş olan kâğıt kromatografisi adlı yeni teknikle test etmeye karar verdi. Sığır DNA'sında A:G:C:T baz oranları yaklaşık 30:20:20:30 iken, tüberküloz bakterilerinde bu oranın 35:15:15:35'e yakın olduğunu, insanlarda ise daha farklı olduğunu ortaya koydu.[28] Chargaff'a göre bu, bazların varsayıldığı gibi hep sabit, tekrarlanan bir sıralamayla dizilmediğinin kanıtıydı. Yani DNA'daki bazların dizilişi "anlamsız" olmayabilirdi.

Biliminsanları bir değil iki bilişsel tuzağa birden düşmüştü: "En Olası Seçenek Gibi Göründüğüne Göre Doğru Olmalı" ve "Dünyanın En Büyük Uzmanı Haklı Olmalı". Levene'in zamanında, baz çiftlerini kesin olarak ölçecek teknoloji yoktu ve kendisi de bunun farkındaydı. Ama bazların hep aynı oranda bulundukları ve hep aynı basit, sabit sıralamaya göre dizildikleri tahmini, zamanla genel geçer bilgiye dönüşmüştü.

Chargaff ilginç bir keşifte daha bulundu. Bazların oranlarında tuhaf bir örüntü buldu. A bazı hep T ile aynı oranda, G ise hep C ile aynı oranda bulunuyordu. Chargaff bundan ne anlam çıkaracağını bilemedi. Sonradan bunun önemini fark edemediğine çok pişman olacaktı.

Avery'nin makalesinin yayımlandığı yıl, fizikçi Erwin Schrödinger'in yazdığı *Yaşam Nedir?* adlı ince bir kitap da birkaç biliminsanını DNA'nın peşine düşürdü. Schrödinger, atomaltı parçacıkların ne kadar tuhaf davrandığını ortaya koymak için tasarladığı bir düşünce deneyi olan "Schrödinger'in kedisi"yle ünlüydü. Kuantum kuramının geliştirilmesine yaptığı katkılardan sonra, çözülecek benzer önemde bir problem aramış ve biyolojide genlerin neredeyse mistik bir kavram olduğunu fark etmişti. Biliminsanları, örneğin göz rengini veya boy uzunluğunu aktarabilen genlerden söz ediyor ama belli bir özellikle ilişkili genin yapısı hakkında hiçbir şey söyleyemiyorlardı. Gen,

bir molekül müydü? Bir şekilde ortaklaşa çalışan birden fazla molekül müydü? Schrödinger'in tahminine göre genler, bir çeşit biyolojik moleküle (onun deyimiyle bir "aperiyodik kristal"e) gömülü durumdaki bir "kod yazısı" idi. Schrödinger, söz konusu molekülün kimliğini keşfetme arayışının, zamanın en acil bilimsel sorunu olduğunu ilan ediyordu.

Schrödinger'in kısa ve etkileyici kitabı birçok genç biliminsanının dikkatini çekti; onlara kariyer değiştirip genin fiziksel doğasını araştırma konusunda ilham verdi. O gençler arasında James Watson adında ABD'li bir zooloji öğrencisi ile Francis Crick ve Maurice Wilkins adlarında iki Britanyalı fizikçi de vardı. Farkında olmadan, ucunda Nobel Ödülü olan bir yarışa katıldılar.

Uzun boylu, ince yüzlü ve sosyal açıdan çekingen bir fizikçi olan Wilkins, 1944'te Schrödinger'in kitabını okuduğunda, Berkeley'deki Lawrence Livermore Laboratuvarı'nda süren savaş çalışmalarında yer alan Britanyalı bir ekibin üyesiydi. Atom bombası için uranyum ayırma üzerinde çalışıyordu ama nükleer silahların canlılığın sonunu getirebilecek olması karşısında dehşete düşmüş ve yaşamı konu alan araştırmalara geçmeye karar vermişti. İngiltere'ye döndüğünde, Londra'daki King's College'da yeni kurulan bir biyofizik laboratuvarına katıldı. Çoğu kişi gibi Wilkins'e de kalıtımı ileten moleküllerin proteinler olduğu bariz görünüyordu. Fakat Avery'nin çalışmasını duyduğunda, birdenbire DNA da olası görünmeye başladı. DNA'nın yapısına ilişkin ipuçları aramak için yeni bir tür optik mikroskop geliştirmeye başladı ama mikroskopların çözünürlüğü sınırlıydı. Daha yakından bakmak için X ışını kristalografisine yöneldi. Bu yöntem olmasaydı, DNA'nın yapısı bugün hâlâ bir sır olarak kalırdı.

Bu etkileyici tekniğe, Wilkins'in çalışmalarına başlamasından bir süre önce Britanyalı fizikçiler öncülük etmişti. Fotoğraf filminin önüne bir kristal molekül yerleştirmiş, onu X ışınlarıyla bombardımana tutmuş ve kristal tarafından kırılan –yani etrafından veya içinden geçerken bükülen– ışınların görüntüsünü almışlardı. Sonra o görüntüye uyguladıkları karmaşık matematiksel hesaplamalar sayesinde, ışınları kıran kristalin yapısını ortaya koyabilmişlerdi. Yaptıkları işlem, duvardaki gölgelere bakarak onları oluşturan cismin şeklini çıkarmak

gibiydi; ama biçimi anlaşılmaya çalışılan nesne, görebildiğimiz her şeyden milyon kat daha küçüktü.

Şans eseri, Wilkins'in Mayıs 1950'de katıldığı bir toplantıda İsviçreli bir biliminsanı cömertlik edip, alışılmadık derecede saf DNA örnekleri dağıttı. Londra'da Wilkins ve lisansüstü öğrencisi Raymond Gosling, örneklerin görüntüsünü X ışını kristalografisi kullanarak almaya çalıştı. Pek çok deneyden sonra, daha önce yapılmış olanlardan çok daha net bir fotoğraf çıkardıklarını gördüklerinde çok heyecanlandılar. Kutlama için bir şişe şarap açıp sevinçle içtiler. Yıllar sonra Gosling hâlâ o duyguyu hatırlayıp keyiflendiğini söyleyecekti.

Yine de Wilkins bu teknikte acemi olduklarının farkındaydı. Bölüm başkanı John Randall'ın X ışını kristalografisinde deneyimli bir biliminsanı olan Rosalind Franklin'i işe aldığını duyduğunda, Wilkins başkana Franklin'in DNA çalışmalarında kendilerine katılmasını önerdi. Ne yazık ki sorunlar da o noktada başladı.

Otuz yaşındaki Franklin, Paris'te çalışmış ve kömürün yapısı hakkında halihazırda önemli keşifler yapmış başarılı bir kimyacıydı. Başkan Randall ilk başta Franklin'den proteinler konusunda çalışmasını istemiş ama gelmesinden önce DNA konusunda çalışmasını istemek için ona bir mektup yazmıştı; problem üzerinde çalışanların sadece o ve lisansüstü öğrencisi Raymond Gosling olacağına dair de güvence vermişti.[29] Görünüşe bakılırsa Randall, Wilkins'in X ışını çalışmalarını bırakmasını istiyordu ama bunu ona söylememişti; ayrıca her nedense, Franklin'e yazdığı mektuptan da Wilkins'e bahsetmemişti. Tam da o günlerde, Wilkins mikroskopların DNA'nın yapısı hakkında daha fazla bilgi veremeyeceği kanısına varmıştı; dolayısıyla ilerleme kaydetmek için tek umudu X ışını kristalografisini kullanma çabalarını artırmaktı.[30] Wilkins ve Franklin ortaklaşa çalışsalardı, ileride Nobel Ödülü almak için birlikte İsveç'e gidebilirlerdi. Ama onun yerine, bilimdeki en ünlü çekişmelerden biri yaşanacaktı.

Yanlış anlamalar en baştan başladı. Franklin geldiğinde, laboratuvarın müdür yardımcısı olan Wilkins tatildeydi. Dönünce yeni genç meslektaşına merhaba demek için sabırsızlanıyordu, ama karşısında kısacık siyah saçları ve özgüven dolu kara gözleriyle kendisini süzen deneyimli bir biliminsanı buldu. Başkan Randall, lisansüstü öğrenci-

si olan Gosling'e Franklin için çalışmasını çoktan söylemişti. X ışını kristalografisi ekipmanını ve Wilkins'in değerli saf DNA örneğini de Franklin devralacaktı. Wilkins ise hâlâ Franklin'in kendi asistanı olacağını sanıyordu. En azından işbirliği yapmalarını ve bir kuramcı olarak kendisinin, Franklin'in elde ettiği görüntülerin yorumlanmasına yardımcı olmayı bekliyordu.

Ama Franklin işbirliği yapmakla ilgilenmedi. O öyle bir beklenti içinde değildi. Kimsenin asistanı olmak gibi bir arzusu yoktu ve Wilkins'ten de hiç etkilenmemişti. Çalışmaya başladığında, net fotoğraflar almak için gereken zorlu teknikler hakkında çok daha fazla şey bildiğini gördü.[31] Çok geçmeden de, bodrum kattaki laboratuvarında daha iyi fotoğraflar elde etmeye başladı. Aldığı görüntülerin nasıl yorumlanacağı konusunda, Wilkins'in kendisinden istenmediği halde sürekli nasihat vermesi onu şaşırtıyor ve rahatsız ediyordu. Wilkins neden onun sahasına geçmeye çalışıyordu ki?[32]

Kedi-köpek gibi zıtlaşmalarının bir nedeni daha vardı: Klasik bir kişilik çatışması yaşıyorlardı. Franklin her zaman kendinden emindi. Her şeyde başarılı olmayı ve liderlik etmeyi bekliyordu. Bilimine tutkuyla bağlıydı; dobra ve dolambaçsız entelektüel tartışmalardan hoşlanıyordu. Yumuşak huylu ve çekingen Wilkins ise çatışmalardan kaçınırdı. Konuşurken sık sık başını dinleyicisinden başka tarafa çevirirdi ve bunu *sıradan* sohbetler sırasında yapardı. Bir anlaşmazlık olduğunda ise kimi zaman sessizliğe bürünüyordu. Sonradan Franklin' le birlikte çalışan Aaron Klug, Franklin'i "çok keskin zekâlı, çabuk kavrayan ve azimli biri" olarak tarif ediyordu. "Wilkins'le bu yüzden anlaşamadı. Wilkins akıllı bir adamdı. Açıkgözdü ama kavrayışı yavaştı. Franklin ise çabuk kavrayan ve azimli biriydi."[33] Aslında ikisi de karşı tarafın işini zorlaştırabilen insanlardı; ortak bir zemin bulamamaları ise onlara pahalıya patlayacaktı.

Bu arada, aylar sonra aynı problemle ilgilenen başka bir ekip oluştu. Aslına bakılırsa, DNA'nın yapısını çözmeye yönelik araştırmaya katılması için James Watson adındaki uzun boylu, pörtlek gözlü Amerikalıyı ekibe alan bizzat Wilkins'in kendisiydi. Doktora sonrası araştırmacı pozisyonunda olan Watson'ın Danimarka'daki çalışmaları hiçbir yere varmamıştı, ama buna rağmen bilim dünyasında

şan şöhret kazanmanın hayalini kuruyordu. Hocası olan Amerikalı profesörler, Avery'nin bulgusunu dikkate alarak genlerin proteinlerden değil DNA'dan oluştuğunu öğreten ender kişilerdendi ve Watson da bunu böyle kabul etmişti. Ona göre, DNA'nın yapısı biyolojideki en önemli soruydu; yanıtı bulan kişi olmak istiyordu. Ama bunu nasıl yapacağı konusunda hiçbir fikri yoktu.

Derken İtalya'daki bir konferansta Wilkins'in sunumuna katılmıştı. Wilkins, Gosling'le birlikte X ışınları kullanarak çektikleri net bir DNA fotoğrafını gösterdiğinde, Watson çok heyecanlanmıştı. Çizgi ve noktalardan oluşan örüntü, DNA'nın düzenli bir yapıya sahip olduğuna ve X ışını kristalografisinin yapıyı ortaya çıkarabileceğine işaret ediyordu.

Watson hemen işi gücü bırakıp, Londra'daki King's College'da Wilkins'le çalışmaya başlamak istemişti, ama bu mümkün değildi. O da yapabileceği en iyi şeyi yapmıştı: Wilkins'e trenle bir buçuk saat uzaklıktaki Cambridge Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmacılık. Oradaki araştırmacılar proteinlerin yapısını incelemek için X ışını kristalografisi kullanıyorlardı. Watson bu tekniği öğrenmeyi ve DNA'nın yapısına yönelik kendi araştırmasını başlatana kadar beklemeyi planladı.

Fırsat beklediğinden de erken geldi.

Cambridge'deki ilk gününde, gürültülü kahkahalar atan ve hiç durmadan konuşan sıska, züppe bir fizikçiyle tanıştı. Doyumsuz bir merakı olan yeni ofis arkadaşı Francis Crick'ti bu. Wilkins'in arkadaşı olan Crick, savaş sırasında deniz mayınlarının tasarlanmasına yardım etmiş ama sonra o da silah yapmaktansa canlılığı incelemeye karar vermişti. Fakat Wilkins'in Londra'daki laboratuvarına katılmak yerine Cambridge'e gelmişti. Cansız moleküllerden canlılığa geçişte en önemli rolü oynadığından emin olduğu karmaşık proteinlerin yapısını incelemeyi amaçlamıştı.

Watson ve Crick kafa dengi olduklarını hemen anladılar. Aslında tuhaf bir ikili olmuşlardı. Watson çok gençti ama erken olgunlaşmıştı; henüz yirmi iki yaşında olmasına rağmen doktorasını tamamlayıp araştırmacı olarak çalışmaya başlamıştı. Otuz beş yaşında ve evli bir adam olan Crick ise hâlâ doktora öğrencisiydi. Ama Crick o kadar

kıvrak zekâlıydı ki meslektaşlarını korkutuyordu. Onların bir problemden söz ettiklerini duysa, eve gidip çözümü onlardan önce bulabilirdi. Watson ise hırslı ve bir o kadar ukalaydı. Konferans dinlerken gösteriş yaparcasına gazete okurdu ve ancak dikkatini çekecek kadar ilginç bulduğu bir şey duyduğunda gazeteyi indirirdi. "Gençliğe özgü bir kibir, acımasızlık ve baştan savma düşüncelere karşı tahammülsüzlük ikimizin de tabiatında vardı," diye yazacaktı Crick daha sonra.[34]

Watson ve Crick çok geçmeden proteinlerin yerine DNA'nın yapısını araştırmayı tercih ettikleri konusunda anlaştılar. Onu bulmak daha kolay olabilirdi. Proteinler çok büyük ve son derece karmaşıktı. Crick'in danışmanı Max Perutz on beş yıldır hemoglobinin yapısı üzerinde çalışıyordu (ve dokuz yıl daha çalışacaktı). Eğer genler proteinse, onları anlamanın ne kadar zaman alacağını kim bilebilirdi? DNA çok daha basit olabilirdi; o yüzden denemeye karar verdiler. Üstelik deneylerle uğraşmalarına bile gerek kalmayacaktı, ki bu da iyiydi çünkü zaten teknik becerilerden yoksundular.

Deney yapmak yerine diğer biliminsanlarının verilerini kullanacaklardı ve "kimyanın aslanı" olarak bilinen Linus Pauling'den ders alarak zekice bir kısayoldan faydalanacaklardı. Pauling zamanının en büyük kimyacısıydı. 1920'lerin sonlarında Caltech'te atomik bağların yeni kurallarını keşfetmek için kuantum mekaniğini kullanmış ve neredeyse tek başına kimyayı daha kesin bir bilime dönüştürmüştü. Artık o da tüm moleküller arasında en önemli molekül olduğundan emin olduğu proteinlerin yapısını bulma yarışına katılmıştı. Üstelik Watson ile Crick'in Cambridge laboratuvarının öncülük ettiği tekniği kullanarak, Cambridge'i ezip geçiyordu. Cambridge'in bölüm başkanı Lawrence Bragg, sadece birkaç ay önce babasıyla birlikte X ışını kristalografisine öncülük etmiş olmasına rağmen, Pauling onların grubunu açık ara geride bırakmıştı. Pek çok proteinin yapısının helis adı verilen üç boyutlu bir sarmal içerdiğini bulmuştu.* Pauling

* Bu arada, Pauling yardım almıştı. Modeli destekleyen matematiğin çoğunu siyahi kimyacı Herman Branson çözmüştü. Pauling her nedense Branson'ın katkısını minimize etmiş ama onu makalenin üçüncü yazarı olarak belirtmişti.

bu keşfi yeni bir teknik icat ederek yapmıştı. Sadece X ışını görüntülerini analiz etmek yerine, proteinin alt birimlerinin ölçekli modellerini oluşturmak için görüntülerden alınan ölçümleri kullanmıştı. Daha sonra modelleriyle oynayarak, atomik bağlarla ilgili derin bilgisini kullanmış ve mantıksal bir yapı ortaya koymuştu.

Cambridge ekibi de aynı çözüme doğru ilerlemiş ama bir aşamada vazgeçmişti. Çünkü X ışını görüntülerinde bazı küçük dağınık noktalar vardı ve bu da onlara şeklin sarmal olamayacağını düşündürmüştü. O esnada Pauling ise bulduğu yapıyla eşleşmeyen o dağınık noktaları görmezden gelmeyi yeğlemişti. Doğru bir şey yaptığı sonradan anlaşıldı, çünkü o noktalar fotoğraflama sürecinin kalıntılarıydı. Bu durum, Crick ve tüm Cambridge laboratuvarı için travmatik bir yenilgi oldu.

Artık Crick ve Watson için Pauling'i ancak onun kendi yöntemleriyle geride bırakabilecekleri açıklık kazanmıştı. DNA'nın yapısını bulmak için onun modelleme tekniğini kullanmaları gerekiyordu; tabii o kendisi keşfetmeden önce. Fizikçi ve biyolog, ikisinin de pek kimya bilmemesine takılmadan hızla çalışmaya başladılar.

Wilkins'i de King's College'da kendi model inşasını başlatmaya teşvik ettiler. Ancak Franklin'in işbirliği olmadan Wilkins bunu yapamazdı; Franklin ise bu tür spekülatif bir yaklaşımı hiç anlamlı bulmuyordu.[35] Ona göre, tamamen X ışını verilerine dayanan daha sabırlı bir araştırma daha kesin yanıtlar verebilirdi.

Watson ile Crick, başkaları tarafından halihazırda yayımlanmış olan verileri inceleyerek işe başladı. Ama daha fazla ölçüme ihtiyaçları olduğunu hemen anladılar. Onları bulabilecekleri tek bir yer vardı: Franklin'in laboratuvarı. Tesadüfen King's College da, Franklin'in bulduğu sonuçları özetleyeceği bir bölüm toplantısı düzenlemek üzereydi. Wilkins nazik bir şekilde onlara da davetiye gönderdi. Böylece Watson, Cambridge'e gelişinden sadece altı hafta sonra Londra'ya giden trene bindi ve konferans salonuna kendi deyimiyle "bir casus gibi" sızdı.[36]

Sonra da öğrendiğini sandığı şeyi Crick'e anlatmak için hemen geri döndü.

Watson vakit kaybetmeden laboratuvar atölyesine, DNA'nın yapı-

taşlarının şekline ve göreli boyutuna sahip modeller –tellerden, tahta çubuklardan ve toplardan oluşan parçalar– yaptırdı. Sonra tuğla duvarlı ofislerindeki bir masanın üstüne modelleri koyup onlara bakarak, akıl sır ermez bir şeyi –hücrelerimizi yöneten moleküllerin yani genlerin neye benzediğini– gözlerinde canlandırmaya çalıştılar.

DNA'nın sadece beş elementten oluştuğunu biliyorlardı. Almaşık fosfat grupları (fosfor ve oksijenden oluşur) ile deoksiriboz adlı şekerleri (karbon, oksijen ve hidrojenden oluşur) içeren omurgaları vardı. Ama DNA'nın anahtarı, omurgalarının dört küçük bazı desteklemesiydi: adenin, guanin, sitozin ve timin (on üç ila on altı azot, karbon, hidrojen ve oksijen atomundan oluşuyorlardı). Muhtemelen, eğer haklılarsa ve DNA genleri taşıyorsa, bazların dizilimi bir şekilde çok büyük miktarda genetik bilgiyi kodluyordu.

Watson ve Crick DNA'nın yapısının da proteinlerinki gibi karmaşık bir kâbus olmasından korkuyordu. Hatta genlerin hem DNA hem de proteinden oluşması gibi iç karartıcı bir olasılık da vardı. Ama eğer şanslılarsa genlerin sadece DNA'dan oluştuğu ve DNA'nın da basit yapılı olduğunu ortaya çıkardı. Eğer öyleyse, tahminlerine göre DNA'nın şekli için en muhtemel aday sarmal olmalıydı. Bu biçim hem X ışını görüntülerine hem de Wilkins'in sezdiklerine uyuyor gibiydi. Aceleyle Pauling'in yazmış olduğu *The Nature of the Chemical Bond* (Kimyasal Bağın Doğası) adlı kitabı satın aldılar ve derhal işe koyuldular.

Sadece iki hafta içinde DNA modelini tamamladılar. Üç adet omurganın Franklin'in görüntülerindeki örüntülerle eşleşebileceğini tahmin ederek, merkezde sabit bir şekilde birleşen üç sarmal yerleştirdiler. Sonra da bazları Noel ağacına süs takar gibi eğreti bir şekilde yerleştirip yanlardan sarkıttılar. Crick gergin bir şekilde Wilkins'i göz atması için çağırdı.

Wilkins ertesi sabah 10:00 treniyle, yanına Franklin, Gosling ve King's College'dan iki başka meslektaşını alarak Londra'dan geldi. DNA'nın yapısını çözme çabalarında geride kalmış olabileceklerinden endişelendikleri için sıkıntılı bir halleri vardı. Ama Franklin modeli görür görmez kahkahayı patlattı. O kadar yanlıştı ki, içi dışına çıkmış gibiydi. Halbuki toplantıda, hesaplamalarına göre bazların

sarmal omurgaların dışında değil de *aralarında* olması gerektiğini açıklamıştı. Fakat konu Watson'ı aşıyordu.

Watson ve Crick madara olmuştu. Daha da kötüsü olacaktı. Wilkins ve Franklin'in bölüm başkanı Randall hışımla Watson ve Crick'in patronu Bragg'e telefon etti. Watson ve Crick'in centilmenliğe hiç yakışmayan davranışları onu öfkelendirmişti. İngiltere'de yalnızca birkaç biyofizik laboratuvarı vardı. Çalışma konularını kopyalamak doğru bir davranış değildi. Problem üzerinde çalışmaya ilk başlayan Wilkins ve Franklin'di, dolayısıyla problem onlara aitti. Utanan ve sinirlenen Bragg, Watson ve Crick'e bu işi bırakıp yapmaları gereken işe dönmelerini emretti.

Fırça yiyen Watson ve Crick, uzlaşmacı bir jest olarak Wilkins ile Franklin'e model kurma ekipmanlarını gönderip, onları kendi modellerini yapmaya davet etti. Ama Franklin bunu hâlâ gereksiz buluyordu. "Oturup sabahtan akşama kadar atom modelleri oluşturulabilir, ama hangisinin gerçeğe en yakın model olduğu asla bilenemez," diye düşünüyordu, Gosling'in daha sonra anlattığına göre.[37] Onun gözünde mantıklı olan tek bir yaklaşım vardı, o da verilerden doğru yapının belirmesine izin vermekti.

Franklin ve Gosling King's College'a döndüklerinde, Franklin'in aylar önce yaptığı bir keşfin verdiği cesaretle çalışmaya devam ettiler. Franklin, bir DNA zincirinin iki farklı biçim alabildiğini keşfetmişti. Kuru ortamda çapı genişliyordu; buna A formu adını verdi. Nemli koşullarda ise –mesela hücrelerimizde– B formu dediği daha ince bir şekil alıyordu.

Bu büyük bir ilerlemeydi.

Fakat ardından verdiği bir karar onu yavaşlattı. A formunun görüntüsü daha karmaşık olduğundan ve dolayısıyla daha fazla veri içerdiğinden, Franklin bunun daha kesin sonuçlar vereceğini düşündü ve ilk önce A formunun yapısını çözmeye karar verdi. Elde ettiği X ışını görüntülerindeki örüntüleri yorumlamak için çok karmaşık, zahmetli matematiksel hesaplamalar uygulamaya başladı. Verileri analiz ettikçe, A formunun sarmal olmadığına giderek daha çok ikna oldu.

Bu arada Wilkins'in hayal kırıklığı giderek artıyordu. Onun bakış açısından, King's College'da DNA araştırmasını kendisi başlatmış ve

Franklin'in çalışmaya yardım etmesini Randall'a kendisi önermişti; ama Franklin onun projesini ele geçirmiş ve onu yerinden etmişti. İlişkileri o kadar kötüydü ki Randall ateşkesi sağlamak için devreye girmek zorunda kaldı. Franklin A formunu analiz edecek (Wilkins'in ona verdiği saf DNA'yı kullanarak), Wilkins ise B formu üzerinde çalışacaktı (başka bir yerden bulduğu bir DNA örneğiyle). O esnada neredeyse hiç konuşmuyorlardı. Wilkins, DNA'nın B formunu incelemek için yeni ve daha büyük bir kamera satın aldı. Ama İsviçreli biyokimyacıdan aldığı DNA kadar saf olan başka bir DNA örneği bulamadığını gördü. Franklin'le olan anlaşması onu fiilen dışarıda bırakıyordu. Ara sıra Watson ve Crick'le buluşuyor, Franklin'in kaydettiği ilerleme hakkında onlara bilgi veriyor ve küçümseyici bir edayla kullandıkları hitapla "Rosy"den yakınıyordu.

Franklin de giderek mutsuzlaşıyordu. Paris'te yaşadığı sırada, oradaki kültürlü ve entelektüel açıdan ilham verici meslektaşlarının arasında kendini evinde gibi hissetmişti. Londra'da ise kadınların öğretmenler odasında erkeklerle birlikte yemek yemesinin yasak oluşu onu rencide ediyordu. Ayrıca King's College'daki personelin bir kısmı, pek yontulmamış eski askerlerdi ve Franklin'i tiksindiren alaycı bir atmosfer yaratıyorlardı. Paris'te başarılı bir biliminsanı olarak kabul görmüştü; burada ise onu tanıyan yoktu. Hepsinden önemlisi de, Wilkins sürekli kendisiyle çalışmasını teklif ederek onu çileden çıkarıyordu. Şimdi geriye dönülüp bakıldığında, Franklin'in bir çalışma arkadaşı olsa iyi olurdu gibi görünüyor, ama tabii o kişi kesinlikle Wilkins olmazdı. "Maurice ne yazık ki şovenist bir erkek gibi davranıyordu. Eminim Rosalind'in hep *ona* yardım etmesini istiyordu," diye hatırlıyordu Franklin'in yakın arkadaşı Don Caspar.[38] Franklin ise Wilkins'in yardımına ihtiyaç duymadığından emindi, fakat içinde bulunduğu durum o kadar sıkıntılıydı ki başka bir yerde iş bulmak istiyordu.

Bu arada Cambridge'deki Watson ve Crick tedirgindi. Anlayabildikleri kadarıyla, bir yılı aşkın sürede Franklin çok az ilerleme kaydetmişti. Sonra Ocak 1953'te Watson ve Crick, Pauling'in yazdığı bir makalenin taslağını gördüler ve ilk bakışta bayağı korktular.

Pauling DNA için bir yapı öne sürmüştü. Watson ve Crick önce

yıkıldı. Sonra şaşırarak ve büyük bir oh çekerek, Pauling'in doğru bir yerleştirme yapmadığını fark ettiler. Tıpkı kendi başarısız modellerinde olduğu gibi, o da merkeze üç sarmal koymuştu. Ayrıca bazı moleküllerin nasıl bağlandığını gözünde canlandırırken, kendisinden beklenmeyecek temel bir hata yapmıştı. Öne sürdüğü DNA molekülünün ânında parçalanacağı gün gibi ortadaydı. Yine de Watson, Pauling'in hatalarını çabucak fark edip doğru yapıyı bulacağından emindi; zafer şansının elinden kayıp gittiğini düşünüyordu. Watson DNA'nın yapısını keşfetmenin devasa bir ilerleme olacağına herkesten – Pauling'den, Crick'ten, Wilkins'ten ve Franklin'den– çok daha fazla inanıyordu. Keşfin, genlerin nasıl çalıştığını büyük ölçüde aydınlatacağını umuyordu. Sonradan her zamanki alçakgönüllülüğüyle, "Dünyada bu probleme hak ettiği değeri veren tek kişi bendim," diyecekti.[39] Watson, Pauling'in makalesini gördükten birkaç gün sonra, Wilkins ve Franklin'i derhal bir model oluşturmaya başlamaları konusunda uyarmak için Cambridge'den Londra'ya giden trene atladı; Pauling hatalarını fark etmeden bunu yapmaları lazımdı.

Tipik Britanyalı nezaketini hiçe saymakla övünen Watson, geleceğini önceden haber vermeksizin Franklin'in ofisine daldı. Ona Pauling'in taslağını gösterip, makalede öne sürülen ve yanlışlığı bariz olan üçlü sarmal omurgayı anlatmaya başladı. Watson'ın birdenbire içeri dalması Franklin'in hiç hoşuna gitmemişti, elinde kendisinin henüz görmediği önemli bir makale olmasıysa tuz biber ekmişti.

Bununla birlikte, Watson'ın dürüst bir anlatımla kaleme aldığı (ve bilinçli olarak yirmi üç yaşındaki bir gencin olgunlaşmamış bakış açısından yazıldığını iddia ettiği) kitabı *İkili Sarmal*'da ölümsüzleştirilen ünlü kavgaları, salt kimin borusunun öteceğiyle ilgili değildi. Franklin hâlâ DNA'nın A formunun sarmal biçiminde olduğuna ikna olmamıştı. Watson ise ona yanıldığını söyledi; proteinlerdeki sarmalların X ışını kristalografisi görüntülerini analiz etmiş olan Crick'e güveniyordu. Crick ona, Franklin'in yanıltıcı veri noktacıklarını gereğinden fazla dikkate aldığını söylemişti; Cambridge'deki kendi grubu da daha önce aynı hataya düşmüştü nitekim. Franklin, Watson'ın eleştirisini hiç hoş karşılamadı ama kaybedecek bir şeyi olmadığını düşünen Watson, ateşe ateşle karşılık verdi. *İkili Sarmal*'da şöyle an-

latır: "Hiç tereddütsüz, X ışını resimlerini yorumlamada yetersiz kaldığını söyledim. Eğer birazcık kuramsal bilgisi olsaydı, yapının sarmal olmadığının işareti sandığı özelliklerin, düzgün sarmalları kristal örgüye yerleştirirken oluşan ufak yamulmalardan doğduklarını anlardı." Sonra da Franklin'in öfkesi karşısında sindi.

O sırada Wilkins'in gelmesi, Watson'ı kurtardı. Koridorda yürürlerken Wilkins'e, "Bana vuracağını sandım," dedi. Sonra Wilkins de kendisinin neler çektiğini Watson'a göstermek için bir çekmeceden olağanüstü bir fotoğraf çıkardı. Franklin'in görüntüyü aylar önce aldığını ama onunla paylaşmadığını, sadece birkaç gün önce görmesine izin verdiğini anlatıp yakındı.

Sonradan Fotoğraf 51 diye anılacak olan o meşhur görüntüydü bu.

Watson fotoğrafı görür görmez kalbi küt küt atmaya başladı. Boğazı kurudu. DNA'nın B formunun (hücrelerimizdeki form) 62 saatlik pozlamasından elde edilen Fotoğraf 51, Franklin'in olağanüstü becerisinin kanıtıydı.[40] Şok edici derecede netti. Dahası, Watson uzun süredir DNA'nın yapısının çıldırtıcı düzeyde karmaşık olacağından korkmuş olsa da, Franklin'in ustalıklı görüntüsünde son derece belirgin bir X deseni vardı. Crick, Watson'a bir sarmalın nasıl görünmesi gerektiğini açıklamıştı ve bu da tam öyleydi; hiçbir kuşkuya yer bırakmayacak şekilde. Watson ayrıca Wilkins'ten fotoğraftaki önemli bir ölçümü de öğrendi. Ama Fotoğraf 51'in asıl etkisi çok daha basitti. Watson'ı harekete geçirmişti. Crick'le beraber mümkün olduğunca çabuk model yapımına dönmeleri gerektiğine ikna olmuştu.

Wilkins, Franklin'in elde ettiği görüntüyü onun izni olmadan Watson'a gösterdiği için eleştirilir. Fakat durum aslında daha muğlaktı, çünkü görüntü bir bakıma ona da aitti. Şöyle ki Franklin o sırada Londra'daki başka bir laboratuvarda iş bulmuş durumdaydı. Wilkins iki ay içinde King's College'daki DNA çalışmasının başına geçecekti. Bu yüzden Franklin ayrılmaya hazırlanırken, Gosling'den fotoğrafı Wilkins'e vermesini istemişti.[41] Wilkins de Franklin gider gitmez fotoğrafı analiz etmeyi ve model yapımına başlamayı planlamıştı. O arada da fotoğrafı Watson'a göstermenin ne zararı olabilir ki, diye düşünmüştü.

Ne zararı olacağını yakında öğrenecekti.

Watson hemen Cambridge'e döndü ve bölüm başkanı Bragg'e Linus Pauling'in onu bir kez daha yenmek üzere olduğunu söyledi. Pauling zaten Bragg'i iki kez küçük düşürmüştü. Bragg için bu artık bir ulusal gurur meselesi haline gelmişti; Britanyalıların bir kez daha ABD'liler tarafından yenilgiye uğratıldığını görmek istemiyordu. Bragg o anda Watson ve Crick'e model inşa etmeye başlamaları için yeşil ışık yaktı.

Watson ve Crick ıkına sıkıla Wilkins'ten çalışma konusunu gasp etmek için izin istedi. Wilkins yıkılmıştı. Franklin gidene kadar kendi model inşasına başlayamazdı ama onlara nasıl hayır diyeceğini de bilemiyordu. DNA'nın kendi malı olmadığını düşündü. Kendi laboratuvarı bu çalışma alanını çok uzun süredir elinde tutmuştu; yani onlara bir şans vermemek adil olmazdı. Gerçekteyse ikilinin model inşası çoktan başlamıştı.

Moleküler modellerine bakarken Watson ve Crick'in yeni tahminler yapmaları lazımdı. Crick hâlâ omurgada üç sarmal olduğunu düşünüyordu ama X ışını görüntüsünün yoğunluğu Watson'a sadece iki sarmal olduğunu düşündürmüştü.[42] İki sarmal omurgayı bir araya getirdi ve bunları daha önce olduğu gibi modelin ortasına yerleştirdi. Ama birkaç gün sonra, onları X ışını ölçümleriyle eşleşen bir düzenlemeyle birleştirmeyi hâlâ başarmamıştı. Hayal kırıklığı içinde, omurgaları dışarıya yerleştirmeyi denemeye karar verdi; yani Franklin'in ona yerleştirilmeleri gerektiğini söylediği yere.

Aynı hafta Crick'in başına talih kuşu kondu. Aylar önce, her iki laboratuvarı da finanse eden bir kurum, Franklin de dahil olmak üzere araştırmacılardan kaydettikleri ilerlemeleri özetlemelerini istemişti. Rapor Crick'in amirine iletildi. Franklin'in bir yıl önceki konferansta sunduğu verilerin büyük ölçüde aynısını içeriyordu. Ama Watson konferans sırasında not almamıştı ve o kadar tecrübesizdi ki anlatılan çoğu şey onu aşmıştı. Artık parlak bir kuramcı olan Crick'in elinde daha kritik veriler vardı ve bunlardan nasıl anlam çıkaracağını biliyordu.

Bir ölçüme bakan Crick, Franklin'in farkına varmadığı bir sonuç çıkardı. Tesadüfen hemoglobinde de benzer bir ölçüm görmüştü.[43] Bu sayede paralel iki sarmal olduğunu hemen anladı; ama bunlar zıt

yönlerde uzanıyordu. İki döner merdiven gibiydiler; birinin basamakları aşağı, diğerininkiler ise yukarı bakıyordu. Artık bazları aralarına yerleştirecekleri omurgaların tam olarak nasıl durduğunu biliyorlardı.

Ahşap modellerde bazları temsil edecek parçalar, laboratuvarın makine atölyesinden hâlâ gelmemişti. Watson da bazları mukavvadan kendi yaptı. Sonra onları sarmalların arasına yerleştirmeye çalıştı ama dört baz farklı şekillerde olduğundan, hangi yöne çevirirse çevirsin, büksün ya da eşleştirmeye çalışsın, bazların omurgaların arasına nasıl yerleştirileceğini bulamadı.

Şans bir kez daha işe el attı. Caltech'ten kısa süreliğine oraya gelmiş olan ve Watson ile Crick'in ofislerini paylaşan bir kimyacı, ders kitabındaki bilgilerin güncelliğini yitirmiş olması nedeniyle bazı hidrojen atomlarını yanlış yerlere koyduğunu söyledi Watson'a. Kaybedecek bir şeyi olmadığını düşünen Watson, mukavva bazlar üzerinde değişiklik yaptı.

Ertesi gün yani 23 Şubat 1953 Cumartesi sabahı, Watson masasına oturup sarmalların arasına yerleştirebilmek için bazları eşleştirmeye çalıştı. Daha önce de yaptığı gibi, aynı olanları birleştirmeyi denedi; A ile A'yı, T ile T'yi vs. Olmuyordu. Sonra mukavva bazları karıştırıp dururken, A ile T'yi eşleştirdiğinde oluşan çiftin, C ile G'yi eşleştirince oluşanla tamamen aynı boyut ve şekle sahip olduğunu gördü. Kafasında şimşekler çakmaya başladı. Bu çiftlerden istediği kadarını, iki sarmalın arasına çok uzun diziler halinde, düzgün bir şekilde istifleyebileceğini fark etti. Üstelik bu eşleştirmenin, Erwin Chargaff'ın yıllar önce keşfettiği ilginç gerçeği açıkladığını da heyecanla fark etti. A ile T ve C ile G hep aynı oranlarda bulunmuştu çünkü ancak bu iki kombinasyonda bağ kurabiliyorlardı.

Crick her sabahki gibi 10:30 civarında geldi. Masanın üzerinde duran modeli görünce eline alıp biraz kurcaladı ve sevinçten havalara uçtu. DNA'nın genleri nasıl taşıyabildiği apaçık ortadaydı. DNA'nın tasarımı beklenmedik derecede basitti. Ve muhteşemdi! Basamaklarını baz çiftlerinin oluşturduğu ve bukle yapar gibi bükülerek sarmal biçimi verilmiş bir merdivene benziyordu; genetik kodu taşıyan da bazların dizilimiydi. Watson ve Crick, sadece beş tane elementin, bü-

yük miktarda bilgi tutabilen ve iletebilen inanılmaz derecede verimli böyle bir molekül oluşturmasına hayran olmuşlardı. Bu gerçekten akıllara durgunluk verici bir şeydi. Binlerce telefon rehberine sığabilecek kadar çok sözcük, insan gözünün görebileceği en küçük cisimden milyon kat daha küçük yapıtaşlarına sahip bir moleküle sığmıştı.

Watson ve Crick'in uzun süredir içini kemiren bir şey vardı. DNA'nın yapısını bulsalar bile, bu keşfin genlerin gerçekte nasıl işlediği hakkında pek ipucu vermeme olasılığından korkuyorlardı. Ama kurdukları model, hayal ettiklerinden çok daha fazlasını ortaya çıkardı. O zamana kadar, Crick'in ifadesiyle "bir genin nasıl kopyalanabileceğini anlamak neredeyse imkânsızdı".[44] Ama bir anda, bir genin nasıl kopyalanıp aktarılabileceğini anladılar. Merdiven basamaklarını oluşturan baz çiftleri, zayıf hidrojen bağlarıyla basamağın orta noktasında birleşiyordu. Dolayısıyla bir genin –yani DNA'nın belli bir bölümünün– kapsadığı basamaklar (baz çiftleri) fermuar gibi açılabilirdi. Ardından, bir taraftaki sarmal iplikçiğe tutunmuş olan bazların karşısına, her birinin tamamlayıcı bazının (A-T ve C-G) gelmesi yoluyla, iplikçiğin ayna görüntüsü gibi bir kopyası (yani diğer taraftaki sarmal iplikçiğin aynısı) üretilebilirdi. Ayrıca mutasyonun nasıl oluşabileceği de anlaşılıyordu. Hatalı baz çiftinin kazara eklenmesi mutasyon anlamına gelecekti.

Her bir hücremizde gizli olan o muazzam zariflikteki tasarımı bilenler, kısa bir süre için sadece Watson, Crick ve ofis arkadaşlarıydı. Öğle arasında Watson ve Crick, en sevdikleri mekân olan *The Eagle*'da bir şeyler içerek kutlama yaptılar. Yaşamın sırrını bulmuş gibi hissediyorlardı (gerçi Crick, Watson'ın *İkili Sarmal*'da iddia ettiği gibi bu konuda alenen övünmemişti).[45]

Modellerini kontrol ettiler ve incelemesi için Wilkins'i bir hafta sonra davet ettiler. "Cansız atomlar ve kimyasal bağlar bir araya gelerek yaşamın kendisini oluşturmuş gibi görünüyordu. Bütün bunlar karşısında dumura uğramıştım," diye hatırlayacaktı sonradan Wilkins.[46] Modelin kendine ait bir hayatı varmış gibi hissetmiş, güzelliğinden büyülenmiş ama bir yandan da karnına yumruk yemiş gibi olmuştu. Daha bir hafta önce Crick'e kendi model inşasına başlamak üzere olduğu müjdesini vermişti, ama görünüşe göre arkadaşları onu

geride bırakmıştı. Wilkins bir an içerlemişti. Franklin ise haberi daha nazik karşılamıştı. Modelin verileriyle ne kadar da uyumlu olduğunu görebiliyordu; dolayısıyla yapının gayet doğru göründüğünün farkındaydı. Gosling'e "Hepimiz birbirimizin omuzlarında yükseliyoruz," demişti.[47] O sırada yeni bir laboratuvardaki yeni projelere geçmek üzereydi.

O tarihten sadece yedi hafta sonra, Watson ile Crick'in DNA'nın yapısıyla ilgili çığır açan makalesi *Nature*'da yayımlandı. Makaleye Franklin'in, Gosling'in ve Wilkins'in makaleleri eşlik ediyordu; içerdikleri veri ve görsellerle ikili sarmal modelini destekliyorlardı. Fakat bugün pek etik sayılmayacak bir hareketle, Watson ve Crick meslektaşlarının katkılarını tek bir cümleyle geçiştirmişti: "Ayrıca Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin ve Londra'daki King's College'daki çalışma arkadaşlarının yayımlanmamış deneysel sonuçları ve fikirleri genel bir çerçevede bize ilham verdi."

Neden bu kadar cimrilik etmişlerdi? Büyük olasılıkla, modellerini oluşturmak için Franklin'in yayımlanmamış verilerinin ne kadarını kullandıklarını ona açıklamaktan korkuyorlardı. Franklin bundan hiç haberi olmadan hayata veda etmiş olabilir.

Yıllar sonra, Franklin'in daha sonraki çalışma arkadaşı Aaron Klug onun laboratuvar notlarını okuyacak ve yarışın son ayında DNA'nın yapısını bulmaya herkesin sandığından çok daha fazla yaklaştığını keşfedecekti. Yapının ikili sarmal olduğunu bulmuş ve Chargaff'ın gözleminden A ile T bazlarının ve C ile G bazlarının bir şekilde "birbirlerinin yerine geçebilir" olmaları gerektiğini anlamıştı.[48] Franklin, ofisine Watson gelene kadar katıldığının farkında bile olmadığı bir yarışı kaybetmişti. Klug'a göre, Franklin'in bir yılı daha olsa DNA'nın yapısını kendi başına keşfederdi. Ama öyle olmadı. Virüslerin yapısının bulunmasına önemli katkılarda bulunacağı Londra Birkbeck Koleji'ndeki bir laboratuvara geçti.

Tarihi keşiflerinin ardından Watson, Crick ve Franklin nihayet birbirlerine saygı duymaya başladılar. Hatta Franklin'in daha sonraki çalışmaları konusunda Watson ve Crick'e danıştığı bile oldu. Ama 1962'de Nobel Ödülü'nü alanlar Watson, Crick ve Wilkins (King's College'da DNA araştırmasına başlayan kişi) oldu.

Trajik ama Franklin'e Nobel Ödülü verilemezdi çünkü vefat etmişti. Nobel Ödülü sadece hayatta olanlara veriliyor; Franklin ise o tarihten dört yıl önce otuz yedi yaşındayken yumurtalık kanseri nedeniyle yaşama veda etmişti. Laboratuvarda maruz kaldığı X ışınlarının da muhtemelen hastalığında payı olmuştur. Franklin o süreçte Crick ve eşiyle samimiyetini ilerletmişti; hatta geçirdiği ikinci ameliyattan sonra, nekahet döneminde haftalarca onların evinde kalmıştı.

Bu arada, genlerin DNA'dan oluştuğunu ilk kez gösteren biliminsanı Oswald Avery, birçok kez Nobel Ödülü'ne aday gösterildi ama hiç ödül almadı. Watson ve Crick'in keşfinden sadece iki yıl sonra karaciğer kanserinden öldüğünde, DNA'nın kalıtımdaki rolü henüz genel kabul görmemişti. Bazı biliminsanları Avery'nin iki Nobel hak ettiğini düşünüyor: biri DNA üzerindeki çalışması için, diğeri de zatürreyle ilgili çalışması için.

İlk zafer turlarını atıp modellerini sergilemeye başladıkları andan itibaren, Watson ve Crick'in modelin beklenmedik ve hoş zarafetine hayranlıkları sürdü. Bir konferansta, çakırkeyif Watson'ın özetle söyleyebildiği tek şey şu olmuştu: "Öyle güzel ki, görüyorsunuz işte, çok güzel."[49] Ama mutluluktan başları dönerken DNA onlarla sessizce dalga geçiyordu. Hepsi hâlâ ne kadar az şey bildiklerinin gayet iyi farkındaydı. Watson modeli fizikçi Leo Szilard'a gösterdiğinde, Szilard hemen ona, "Bunun patentini alabilir misin?" diye sordu.[50] (Szilard'ın kendisi birçok patente sahipti; bunların arasında nükleer zincirleme reaksiyona ilişkin bir patent de vardı ve onu 1934'te Britanya hükümetine bağışlamıştı.) Ama Watson, pratik bir uygulama olmadan hiçbir şeyin patentinin alınamayacağını biliyordu ve hâlâ genlerin nasıl çalıştığı konusunda hiçbir fikri yoktu.* A, C, T ve G bazlarından oluşan upuzun diziler, hücrelerimizdeki milyonlarca molekülün faaliyetini yöneterek yaşam yaratmayı nasıl başarabiliyordu? Bazlarla yazılmış bir kod, nasıl oluyordu da hücrelerimize bizi oluşturmak için yiyecekleri nasıl parçalayıp yeni baştan düzenleyeceklerini söylüyor-

* ABD'de 2000'li yıllarda pek çok insan geni patentlendi. 2013'te patentleme durduruldu. Yargıtay buna izin verilemeyeceği kararına vardı. Ama üzerinde ufak değişiklikler yapılan modifiye genler doğal kabul edilmiyor ve hâlâ patentlenebiliyor.

du? Bu kod, bir fille bir sinek arasındaki fark şöyle dursun, dudaktaki bir kıvrımı ya da burundaki bir kavisi nasıl yaratabiliyordu?

Crick'e göre bu soruları yanıtlamak yarım asırdan uzun süre alırdı ama en azından nereden başlayacakları konusunda Watson'la bir fikirleri vardı. Başkalarının daha önceden öne sürdüğü bir fikirden yola çıktılar. Buna göre her bir gen farklı bir proteini kodluyordu; her bir protein de hücrede farklı bir rol oynuyordu. Ama kafaları hâlâ karışıktı. Genler nasıl protein üretebiliyordu? Genler sadece dört çeşit bazdan oluşan dizilerdi ve hücre çekirdeğinden dışarı çıkamazlardı; proteinler ise yirmi çeşit kadar amino asitten oluşan dizilerdi ve hücrenin her yanında bulunuyorlardı.

Yıllar boyunca, ilerleme kaydetmeye çalışan biliminsanları karmaşık bulmacalar arasında yollarını bulmaya çabaladı. Hücrelerimizdeki RNA'nın genler ile proteinler arasında aracılık yapabileceğinin anlaşılmasıyla ileri doğru bir adım atılabildi. Bir RNA molekülü, DNA iplikçiklerinden birinin bir bölümünün ayna görüntüsüdür. RNA ile DNA arasındaki başlıca farklar, DNA'daki timin bazının yerine RNA'da urasil bazının bulunması ve DNA iki iplikçikten oluşurken RNA'nın tek iplikçikten ibaret olmasıdır. 1961 yılına gelindiğinde, DNA'daki bir genin bir RNA'ya kopyalanabileceği ve o RNA'nın da çekirdekten çıkıp –kısa süre önce keşfedilmiş olan– ribozom adlı yapıya gidebileceği kanıtlanmıştı; ribozom RNA'yı kullanarak protein üretebiliyordu. Buraya kadar gayet iyiydi.

Fakat Watson, Crick ve diğer herkes hâlâ bir çıkmazdaydı. RNA'daki anlamsız baz dizileri (mesela GAGAUUCAG) bir ribozoma belli bir proteini oluşturmak için hangi amino asitlerin sıralanması gerektiğini nasıl söyleyebiliyordu? Eğer bazlar bir kod içeriyorsa, o kodun anahtarı neydi? 1950'lerin ortalarından beri çok sayıda genetikçi, fizikçi ve matematikçi bir sürü zekice matematiksel ve mantıksal şema kurgulayıp, kodu çözmek için çırpınıyordu, ama kafaları hâlâ allak bullaktı. Crick, başlangıçtaki "belirsizlik aşaması"nı ve ardından gelen "iyimserlik aşaması"nı geride bıraktıktan sonra, artık "kafa karışıklığı aşaması"na sıkışıp kaldıklarını itiraf etmişti.[51] DNA'nın nasıl çalıştığını anlamanın en az yarım yüzyıl süreceği yönündeki sezgisi tam isabet gibi görünüyordu.

Sonra 1961'de, Ulusal Sağlık Enstitüleri'nden tanınmamış bir araştırmacı olan Marshall Nirenberg, bilimdeki en büyük zihinlerin çoğunu alt etti. Lisansüstü eğitimini sadece iki yıl önce tamamlamış olan Nirenberg, mantığı bir kenara bırakıp deneyler yaparak bu düğümü çözdü. Ribozoma sorup öğrenmek varken, neden kodu tahmin etmeye uğraşıyoruz ki, diye düşünmüştü. Nirenberg'in dâhiyane fikri, bir hücreden ribozomları çıkarmak, onları bütün amino asitlerin doldurulduğu bir test tüpüne koymak ve ribozomlara yapay olarak üretilmiş RNA vermekti. Ribozomların, hücrelerde doğal olarak yaptıklarını yapmaya devam ederek, yani amino asitleri zincir gibi dizerek, onu mutlu edeceklerini umuyordu. Bir sabah saat altı civarında, çalışma arkadaşı olan doktora sonrası araştırmacı Johannes Matthaei, ribozomlara UUUUUU baz dizilimli RNA molekülü verdiğinde, ribozomların iki adet fenilalanin amino asidi molekülünü uç uca eklediğini keşfetti. Nirenberg ve Matthaei, ilk kez yaşam kodunun sözcüklerinden birinin şifresini çözmüştü. Kod sözcükleri üçer harfliydi; UUU kodu fenilalanin amino asidini şifreliyordu. Çılgınca bir yarış halini alan benzer deneyler sonucunda, yirmi amino asidimizin her birini birkaç üçlünün kodladığı anlaşıldı. Örneğin UUU, GUU ve ACG'nin üçü de fenilalanini kodluyordu. Bazı üçlülerin ise (mesela TAA) başka bir anlamı vardı; amino asit kodlamak yerine ribozoma "dur" diyorlardı: "Bu kadarı yeterli. Protein tamamlandı."

Bu kod, pek çok parlak zekânın yıllardır aradığı zarif çözümlere hiç benzemiyordu. Temelinde hiçbir matematiksel veya mantıksal örüntü yoktu. Yaşamın kodu, işe yarar bir rastlantısal oluşumdu. Dünyadaki en başarılı icatlardan biriydi. Bu kadim kod, biz de dahil yaşayan bütün canlılarda aynıdır: *Thiomargarita namibiensis* bakterisinde, vampir kalamarda, domuzkıçı solucanında (*Chaetopterus pugaporcinus*) ve soyu tükenmiş Bambiraptor'da.* Kod çözülür çözülmez, genetik ve biyoloji alanında emsalsiz bir bilgi patlaması yaşandı. Öyle bir patlama ki, genetikçi Sean Carroll'ın ifadesiyle, bugün artık gelişmeleri takip etmek yangın hortumundan su içmeye benziyor.

* Kodun ender rastlanan birkaç küçük varyasyonu da vardır.

Sonunda biliminsanları yanıtlanması bir zamanlar bütünüyle olanaksız görünen soruları yanıtlayabilirdi. Milyarlarca yıl önce Dünya'ya ulaşan atomlar, nihayetinde nasıl bizim gibi canlıları yarattı? Peki dün akşam yemeğinde yediğimiz atomlarla ne yapacağımızı nereden biliyoruz? Aldığımız besinleri kendimiz haline nasıl dönüştüreceğimizi söyleyen talimatlar nerede duruyor?

Artık cevapların DNA'mızda olduğunu biliyoruz. Milyarlarca yıl boyunca DNA'daki sayısız küçük mutasyon, çok çeşitli biyokimyasal deneyler yaptı. Başarılı olanlar, muazzam çeşitlilikte canlılar ürettiler. Nihayetinde bizim şansımıza düşen DNA, hücrelerimize yediklerimizi nasıl bize dönüştüreceklerini anlatıyor.

DNA'yı genellikle kullanma kılavuzuna ya da tasarım planına benzetiriz ama aslında çok daha acayip bir şeydir. Alınmayın ama açıkçası DNA'nız karmakarışık bir ahırdan hallicedir. Tüm hücrelerinizde aynı DNA bulunur. Bu DNA, her biri sıkı sıkı katlanmış paketçiklerden ibaret olan yirmi üç çift kromozoma bölünmüş haldedir. (Sperm ve yumurta hariç tüm hücrelerinizde her bir kromozomun tıpatıp aynı kopyası bulunur.) Kromozomlar o kadar sıkı paketlenmiştir ki, tek bir hücrenizdeki tüm kromozomları düzleştirip uç uca ekleseniz, üç milyar baz çifti uzunluğunda bir kod dizisi (ATTGACCACAGG...) olur ve uzunluğu 180 santimetreyi bulurdu.

Hücrelerinizden birindeki genler üzerinde yürüyüşe çıksaydınız ânında kaybolurdunuz. Çünkü insan DNA'sı, bilinen bir işlevi olmadığı için "çöp DNA" (çok tartışılan bir terim) adı verilmiş olan baz dizilerinden bolca içerir. Bunların bir kısmı işgalci virüslerin kalıntılarıdır (retrovirüsler olarak bilinirler). Sık rastlanan bazı yinelemeli dizilimler ise parazit öğelerdir (bunlara da sıçrayan genler denir). Bir de sayıca daha az olan "hayalet genler" vardır: mutasyonların sakatladığı, devre dışı kalmış atasal genlerden artakalan kodlar. Bununla birlikte, işe yaramayan DNA miktarı hararetle tartışılıyor: Kime sorduğunuza bağlı olarak yüzde 20 ile 90 arasında bir oran duyabilirsiniz.

Asıl genlerimiz ise bu asalak kısımların arasına saçılmış halde bulunan işe yarar dizilimlerdir. Kalıtsal bilgiyi aktarır ve gelişimimizi yönetirler ama daha fazlasını da yaparlar. Hücrelerimize, çalışabil-

meleri ve onarım yapmaları için besinleri nasıl kullanacaklarını anlatırlar durmaksızın.

DNA'nın bunu yapmasını sağlayan stratejinin beklenmedik ölçüde basit olduğu ortaya çıktı. Genlerin aslında tek bir görevi vardır: yeni proteinlerin üretimini kontrol etmek.* Hücrelerimizdeki En Önemli Moleküller yarışmasında, proteinler kolaylıkla DNA'dan sonra ikincilik ödülünü alır. Bir zamanlar sanıldığının aksine, proteinler genetik bilgi saklamaz ve kendi kopyalarını yapmaz, ama hücrelerdeki diğer işlerin neredeyse tamamını onlar gerçekleştirir. Proteinler küçük mıknatıs toplarından oluşan diziler gibi eğilip bükülerek, birçoğu çok büyük olan, inanılmaz çeşitlilikte karmaşık şekillere bürünebilirler. Mesela hemoglobin 574 amino asitten, yani 9272 atomdan oluşur. Kaslarda bulunan ve lastik bant benzeri bir molekül olan en büyük proteinimiz titin ise 34.350 amino asitten meydana gelir, yani yaklaşık 540.000 atomdan. Oksijen taşıyan hemoglobin gibi bazı proteinleri araç olarak kullanırız. Derimizdeki ve kemiklerimizdeki esnek kolajen gibi bazı proteinleri de yapısal öğeler olarak kullanırız. Fakat hücrelerimizdeki işin en büyük kısmını enzim olarak adlandırılan proteinler yapar. Enzimler kimyasal tepkimeleri hızlandırma konusunda harikadır. Ama her biri kendine özgü bir biçime sahip olduğundan, çoğu sadece bir veya iki çeşit tepkimeyi hızlandırabilir. Bu yüzden DNA'nın işi epey zorludur. Bir hücrenin ömrü boyunca ihtiyaç duyacağı kimyasal tepkimelerin çeşitleri o kadar fazladır ki, DNA'sı binlerce farklı türde enzimin üretilmesini sağlamalıdır.

Çekirdeğin içinde bulunan DNA'nın, hücrenin diğer kısımlarında rasgele gezinen sayısız enzimin ve çeşit çeşit başka molekülün yarattığı curcunayı nasıl kontrol ettiğini merak edebilirsiniz. Bir ilkokuldaki öğretmenlerin öğretmenler odasından çıkamadığını, bahçede koşuşup duran tüm öğrencileri oradan kontrol etmeye çalıştıklarını hayal edin. Biliminsanları DNA'nın böyle bir kontrole sahip olmasının, çoğu protein gibi enzimlerin de hızlı yaşayıp genç ölmesinden kaynaklandığını keşfetti. Enzimlerin çoğu birkaç saat veya birkaç

* Protein üretmek için genlerin ne zaman ifade edileceğini kontrol eden pek çok başka molekül de vardır, ama bu moleküllerin üretim talimatları da nihayetinde DNA'da kodlanır.

gün içinde bozulur.[52] Dolayısıyla bir hücrenin içindeki faaliyeti büyük ölçüde kontrol eden şey, yeni enzimlerin üretimini başlatan (veya başlatmayan) gen açma-kapama sıralamasıdır. Bir hücrenin nasıl işleyeceğini, kendini onaracağını ve çoğalacağını belirleyen şey, o hücrenin her saniye ürettiği on binlerce enzimin ve diğer proteinlerin oluşturduğu aralıksız üretim hattındaki değişikliklerdir.[53]

İlke basittir: DNA bir hücreye hangi proteinleri üreteceğini söyler ve proteinler de geri kalan hemen her şeyi yapar. Ama DNA'nın yeni proteinlerin üretimini düzenlemek için işlettiği süreç aşırı derecede karmaşıktır. DNA bazlarının sadece yüzde 1 ila 2'si protein kodlar. Bunun iki katı veya fazlası ise genlerin ne zaman açılıp kapanacağını belirleyen feci karmaşık işlemlerin koreografisine yardımcı olur.[54] Pek çok gen, kendilerinden uzakta konumlanmış başka genler tarafından kontrol edilir; o genler ise daha başka yerlerdeki başka genler tarafından açılıp kapatılır. Bir gen belli bir gen takımını etkinleştirebilir; altrutinleri etkinleştiren bir bilgisayar programı gibi, gen takımındaki genlerin her biri de diğerlerini kademeli olarak etkinleştirebilir.

Peki o zaman rahimdeki tekhücreli bir embriyo, uzuvları ve organları olan bir canlıya nasıl dönüşür? İşin sırrı, hücredeki genlerin ve gen takımlarının regülasyonundaki sıralama ve zamanlamadır, yani gen açma-kapama örüntüsü. Embriyo büyürken her hücre yenilerini üretir ve üç farklı hücre katmanı belirir: ektoderm, mezoderm, endoderm. Dıştaki ektoderm katmanından derinin, beynin ve sinirlerin büyük bölümü oluşur. Ortadaki mezoderm katmanından kalp, kan hücreleri, kaslar, kemikler ve üreme sistemi oluşmaya başlar. İçteki endoderm katmanı ise akciğerleri, bağırsakları, karaciğeri ve başka pek çok kısmı oluşturur. Belirli genlerin açılıp kapanma sıralamasına bağlı olarak (her hücre için bu süreç, kendisini çevreleyen hücrelerden gelen sinyallere göre şekillenir), hücrelerden biri ayak parmağınızdaki bir hücreye dönüşürken, bir başkası üst dudağınızdaki bir hücreye dönüşmüştür.

Tam olarak erişkin olduğunuzda bile, DNA için durup dinlenmek yoktur; hâlâ aralıksız bir faaliyet içinde bulunur. (Ki oldukça büyük miktarda DNA'dan bahsediyoruz. Eğer trilyonlarca hücrenizdeki tüm DNA iplikçiklerini uç uca ekleseydiniz, Güneş Sistemi'nin çapının iki

katı uzunluğunda olurdu.) Etkinleştirilmesi gereken genlere ulaşmak için sarılı haldeki DNA sürekli olarak kısım kısım açılır. Tam şu anda, hücrelerinizin her biri genlerinizden binlercesini RNA'lara kopyalıyor.* Koşarken, ağırlık kaldırırken, yemek yerken, hastalandığınızda ya da yeni bir dil öğrenirken, yeni proteinler üreten genleri etkinleştirirsiniz.

Geriye başka bir bulmaca kalıyor. Eğer bir test tüpüne DNA'nızın bir kopyasıyla beraber bir hücrenin ihtiyaç duyabileceği tüm besinleri koyarsanız, canlı bir şey oluşmaz. En azından insan ömrünün yeteceği sürede oluşmaz. Peki nasıl oldu da sizin ilk hücreniz yani o döllenmiş yumurta, döllenme ânından itibaren sizi oluşturmaya başlayabildi? DNA'dan başka şeylere de sahip olması sayesinde yapabildi bunu. O hücrede DNA'ya ek olarak tepkime hızlandıran enzimler, enerji üreten mitokondriler ve protein yapan ribozomlar vardı; hepsi de annenizden gelmişti. DNA gibi onlar da milyarlarca yıl boyunca bir organizmadan diğerine aktarılarak size kadar ulaştı. Yani oluştuğunuz ilk andan itibaren kurucu hücreniz sadece bir DNA planı içermekle kalmayıp, aynı zamanda yemeğinizi size dönüştürmeye başlamak için ihtiyaç duyacağı araç gereci de taşıyordu.

Yine de bütün bunlar kafa karıştırıcı bir başka soruyu gündeme getiriyor. Her bir hücremiz çok fazla sayıda atomdan oluşuyor; yaklaşık yüz trilyon kadar. O atomlar bir zamanlar Dünya'ya ulaşmadan önce uzayda geziniyordu. Peki yiyecekler biçiminde vücudumuza aldığımız devasa atom yığını, canlılık sıçramasını nasıl gerçekleştirebiliyor? Bütün işi DNA'ya, proteinlere ve ribozomlara indirgemek mümkün mü? Yoksa hücrelerimizi oluşturan ama eskiden cansız olan atomlara can vermek için başka görünmez mekanizmalara da mı ihtiyaç var? Daha 1920'ler gibi yakın bir tarihte, bu soru muhtemelen asla yanıtlanamayacak gibi görünüyordu. Fakat açık fikirli genç bir Belçikalı biliminsanı, cevabı bulmayı denemeye kararlıydı.

* Sadece olgunlaşmış alyuvarlar buna istisnadır. Olgunlaşmalarının ardından çekirdeklerini ve DNA'larını atarlar; çünkü asıl görevleri hemoglobin taşımaktan ibarettir.

13

Elementler ve Diğer Şeyler

İçinizde Gerçekten Ne Var?

Diğer organizmalar gibi insan da o kadar kusursuz bir koordinasyon halindedir ki, ister uyanık ister uykuda olsun, aslında faaliyet halindeki bir hücre kolonisi olduğunu ve kendisinin yaptığını sandığı şeyleri onun aracılığıyla hücrelerin yaptığını kolaylıkla unutabilir.[1]

Albert Claude

FARKINDA OLMAYABİLİRSİNİZ ama siz çok yüksek bir gökdelensiniz; otuz trilyon hücreden oluşan bir binasınız.[2] Hücreleriniz uç uca eklense, Dünya'nın etrafını dört kez saracak uzunluğa ulaşırlardı. Hücre en küçük canlılık birimidir; yani bir hücrenin içinde bulunan herhangi bir öğenin canlı olduğu söylenemez. Acaba Dünya'ya ulaşmadan önce cansız olan atomlar, hücrelerimize nasıl can verebiliyor? DNA ve enzimler dışında bu işte rolü olan bir şeyler var mı? Duyu organlarımızla algıladıklarımızın, düşüncelerimizin ve duygularımızın bilincinde olmamıza rağmen, bunlar içimizde olup bitenler hakkında bize çok az şey söyler – Empire State Binası'nın sokaktan çekilmiş bir fotoğrafına bakarak ofislerde ve koridorlarda neler olup bittiğini anlamaya çalışmaya benzer bu. Peki hücrelerimizden birine zum yaptığımızda, her bir hücrenin içindeki trilyonlarca atomun bir araya gelerek yaşam yaratmasının sırrını anlayabilir miyiz?

1920'lerde şık giyimi ve modaya uygun taranmış saçlarıyla Belçikalı tıp öğrencisi Albert Claude için son derece kişisel bir soruydu bu. Bir fırıncının oğlu olan Claude, kırsal kesimdeki küçük bir köyde

büyümüş ve tek sınıflı bir okulda okumuştu. Daha üç yaşındayken, trajik bir şekilde annesi meme kanserine yakalanmıştı. Sonraki dört yılı aşkın süre boyunca, amansız hastalığın acı verici ilerleyişine tanık oldu ve sonunda annesi yaşamını yitirdi. Claude büyüdükçe, sevgili annesini çalan gizemli hastalığı anlama arzusu arttı; ama onu tıp diplomasına götürecek yol alabildiğine çetrefilli oldu.[3] On yaşındayken, beyin kanaması geçiren felçli amcasına bakması için babası onu okuldan aldı. İki yıl sonra, Claude bir çelik fabrikasında çalışmaya başladı ve teknik resim çizmeyi öğrendi. Ardından Birinci Dünya Savaşı çıktı ve Belçika'da acımasız bir Alman işgali yaşandı. Artık ergenlik çağında bir genç olan Claude, hayatını riske atarak İngiliz istihbarat servisine gönüllü olarak Alman birliklerinin hareketleri hakkında bilgi aktarmaya başladı.[4] Kanseri tedavi etme hayalinin peşinden gitmesini beklenmedik biçimde olanaklı kılan da savaş zamanında yaptığı bu hizmet olacaktı. Çünkü kısa bir süre boyunca, Belçika hükümeti üniversiteye kaydolmak isteyen savaş gazilerini lise mezunu olma mecburiyetinden muaf tuttu. Beşinci sınıfa kadar okumuş olan Claude, derslerin tamamının Latince öğretilmesinden korkmasına rağmen tıp fakültesine başvurdu; öyle olmadığını görünce de çok rahatladı.[5]

Claude tıp fakültesinde mikroskopla hücrelere bakarak uzun saatler geçirdi; yaşamı yaratan, kansere ve diğer hastalıklara neden olan mekanizmaları anlayabilmeyi umuyordu. Ama gözlerini ne kadar kısarsa kıssın veya odaklama kadranını ne kadar çevirirse çevirsin, çok az şey görebiliyordu; sadece bir çekirdek, kromozomlar ve mitokondri adı verilen, işlevi bilinmeyen oval cisimler. Bunlardan başka, ilk kez İtalyan hekim Camillo Golgi tarafından görülmüş olan Golgi cisimciği adında bir leke daha vardı. Hiç kimse onun gerçek bir cisim mi, yoksa sadece renklendirme sürecinin kalıntısı mı olduğunu anlayamamıştı. Görüp görebildiklerinin hepsi bu kadardı. Hücrenin iç kısmının geri kalanı bulanık bir sisten ibaretti. Claude'a göre bu moral bozucu bir sınırdı ve "hücre yaşamının bilinmeyen mekanizmalarının bulunabileceği gizemli temel maddeyi gizliyor"du.[6]

Daha da cesaret kırıcı olanı, mikroskopların artık hiçbir işe yaramamasıydı; büyütme güçlerinin kuramsal sınırına ulaşılmıştı. Astro-

nomlara yıldızlar ve galaksiler ne kadar uzak görünüyorsa, hücrelerin iç kısımları ve kanserin nedeni de o kadar uzak gibiydi.[7]

Bu durum biyokimyacıları hücrenin içinde başka neler bulunduğuna ilişkin iyi bir fikirleri olduğunu düşünmekten alıkoymadı. Cevapları şuydu: Pek bir şey yok. Kimyasal tepkimeleri hızlandıran enzimlerin tüm işi yaptığına inanıyorlardı. Hücrenin içinin koyu kıvamlı bir çorbaya benzediğinden, enzimler ile diğer moleküllerin çarpışıp tepkimeye girdiği "biyokimyasal bir bataklık" olduğundan emindiler.[8] Daha önce de gördüğümüz bir önyargının etkisindeydiler: "Mevcut Araçlarımız Saptamadı, Demek ki Yok."

Claude laboratuvar hayvanlarında kanser üzerine çalışmalar yaptı ve 1928'de tıp doktoru unvanı aldı. Daha sonra Berlin'de bulunan bir araştırma enstitüsüne katıldı; kurum müdürü, kanserin bakteri kaynaklı olduğu fikrini benimsemişti. Güçlü bağımsız çizgisiyle Claude, müdüre ait olan laboratuvarda yapılan deneylerde kontaminasyon olduğunu, dolayısıyla deneylerin bir değerinin olmadığını göstermekten çekinmedi. Bunun üzerine, en kısa sürede kurumu terk etmesi istendi.[9] Neyse ki bir sonraki adımda ne yapmak istediğini zaten biliyordu. Manhattan'daki Rockefeller Enstitüsü'nde çalışan araştırmacılar, tavuklarda olağandışı bir tümör hücresi suşu bulmuştu. Bu hücrelerden filtrelenmiş bir ekstraktın enjekte edilmesi kanserin bulaşmasına neden oluyordu; fakat hiç kimse kansere neden olan maddeyi ekstrakttan yalıtmayı başaramıyordu. Claude bunu yapacak kişinin kendisi olduğunu ve işi almanın en iyi yolunun da doğrudan müdüre yazmak olduğunu düşündü. Şaşırtıcı bir şekilde, zayıf İngilizcesine rağmen mektup işe yaradı.

Ünlü Rockefeller Enstitüsü, parlak ve azimli araştırmacılarla dolu olmasıyla tanınıyordu. Claude 1929'da orada çalışmaya başladı, yani yıldızların güç kaynağının hidrojen atomlarının füzyonu olduğunun ve evrenin genişlediğinin keşfedildiği yıl. Kuşkusuz, hücre biyolojisinde de yakında benzer devrimlerin yaşanacağını umuyordu.

Claude tam donanımlı bir laboratuvarda, tavuk tümörlerindeki kanser yayan maddeyi yalıtma işine girişti. Meslektaşlarının düşüncesine göre sevimli ama biraz tuhaf biriydi. Ağır bir Belçika aksanıyla konuşuyordu. Son derece kültürlüydü; bilimden müziğe, tarih-

ten siyasete kadar her konuda bilgi sahibiydi. New York'taki arkadaşları arasında birçok müzisyen ve sanatçı vardı; içlerinden biri de ressam Diego Rivera'ydı. Ama çalışma arkadaşlarından birinin hatırladığı kadarıyla, Claude çalışırken sürüden ayrı bir yabandomuzu gibiydi.[10] Kısa boylu ve tıknazdı; naif sorular soruyor ve kendi işine bakıyordu. Orijinal bir fikri olduğunda, onu kendi başına mümkün olduğu kadar geliştirmek için kendini yalıtır ve genellikle gece geç saatlere kadar çalışırdı (bu durum, bekleneceği üzere ilk evliliğini mahvetmişti).

Fakat tüm çabalarına rağmen, Claude üç yılın sonunda çok az ilerleme kaydedebildi. Sıkıntılı bir durumda kalmış olmalı; enstitü müdürü onun yerine gerçek bir kimyacı atamak istiyordu zira.[11] Ama Claude'un laboratuvar şefi, onun yeni teknikler geliştirmedeki yaratıcılığını övdü ve çalışmaya devam etmesi gerektiğini savundu. Tedirgin haldeki Claude iki yıl sonra, 1935'te, İngiltere'deki araştırmacıların kanser yapıcı etkeni yüksek hızlı bir santrifüjle yalıtma konusunda ilerleme kaydettiğini duydu.

Geniş bir tencere büyüklüğünde olan ve solüsyonları lunaparklardaki kamikazeler gibi döndüren bir cihaz, kulağa pek de yüksek teknoloji ürünü gibi gelmeyebilir. Fakat hücre biyologları için devrim niteliğindeydi. Döndürme işlemi, solüsyondaki maddeleri ağırlıklarına göre katmanlara ayırır. Bu nedenle çiftçiler, kaymağın sütün üstüne çıkmasını sağlamak için ilk santrifüjleri kullanmışlardı. Claude'un zamanına gelindiğinde, mühendisler muazzam bir gayretle ultrasantrifüjlerin yüksek hızlarda dönmesini (dakikada 10.000 devirden fazla) ve yerçekiminin yaklaşık 17.000 katı bir kuvvet yaratmasını sağlamıştı.[12]

Claude maden tuzu eklediği tavuk tümörü hücrelerini havanda tokmakla nazikçe öğüterek işe başladı.[13] Solüsyonu santrifüjde döndürmenin onu katmanlara ayırdığını gördü. Sonra bir beyin fırtınası yaptı ve katmanları tekrar santrifüjledi. Bu daha da fazla katman üretti; ardından onların santrifüjlenmesi daha da fazlasını üretti. Claude'a göre bu durum her katmanın farklı karakteristik ağırlıklara sahip büyük moleküller içerdiğini gösteriyordu. Bu teknik, kansere neden olan maddenin çok daha yüksek konsantrasyonlarını yalıtmasına ola-

nak sağladı sonunda. Üstelik maddenin RNA içerdiğini de saptadı.[14] Yıllar sonra Claude o RNA'nın bir virüse ait olduğunu iddia edecek ve bazı virüslerin kansere neden olabileceği fikrini destekleyecekti.

Claude'un en büyük buluşu ise başkaydı. Tekniğinin sadece kanserli hücrelerde değil, normal hücrelerde de çok büyük molekülleri yalıtabileceğini fark etti. Bu onu çok heyecanlandırdı. Bunlar hücrelerimizde mikroskopla görülemeyecek kadar küçük olan yapılar olabilirdi. Bunları incelemek hücrelerin nasıl çalıştığına, hatta belki işlerin nasıl ters gittiğine dair yeni ipuçları ortaya çıkarabilirdi. Claude hemen vites değiştirdi. Kanseri anlayabilmek için önce normal hücrelerin nasıl çalıştığını anlamamız gerektiğine ikna olarak, kanserle ilgili çalışmalarını askıya aldı.* Hücrenin içine ulaşmaya kararlıydı. Mikroskop ona yardımcı olmazsa –sonradan ifade ettiği gibi– hücrelere çekiçle vuracak, onları kıracak ve içindekileri araştıracaktı.[15]

Claude tavuklardan, farelerden ve diğer laboratuvar hayvanlarından alınan dokuları havanda öğütmeye ve santrifüje koymaya başladığında çoğu kişi çabalarını küçümsedi. "Claude hücreleri parçalara ayırmaya, parçaları çıkarıp incelemeye başlayınca, kendilerini saygın birer ... hücre biyoloğu olarak görenler ona karşı tavır aldı," diyecekti meslektaşı Keith Porter sonradan.[16] "O muhteşem yapıyı parçalamanın ne faydası vardı ki?" Onunla "hücresel mayonez" yaptığı için alay ettiler.[17] Bazı meslektaşları bunu bir ihanet olarak gördü.[18] İlk suçu güzelim hücreleri parçalamaktı; bunu yaptıktan sonra yalıttığı her şeyin sağlam kaldığını, parçalanmadığını iddia etmesi de ikinci suçuydu.

Ama Claude biliminsanlarının kavrayışlarının, kullandıkları cihazların keskinliğiyle sınırlı olduğunun gayet iyi farkındaydı. Büyük

* O zaman için iyi bir karardı bu. Biyologların kanserin temel nedenini bulma çabaları duvara toslamıştı çünkü gereken araçlara sahip değillerdi ve hücre hakkındaki bilgileri çok azdı. Claude'un Rockefeller'daki meslektaşı Oswald Avery, genlerin DNA'dan oluştuğunu henüz keşfetmemişti. Sonraki yıllar boyunca, bazı araştırmacılar kanserin birincil nedeninin virüsler veya bakteriler olduğunu göstermeye çalışmaya devam etti. Kanserin genetik mutasyonlar tarafından tetiklendiği ise ancak 1970'lerde fark edilebildi. Kansere neden olan nispeten az sayıda virüs ve daha az sayıda bakteri de vardır ama diğer mutasyon kaynaklarına göre oranları çok düşük kalır.

ilerlemelerin bazen ancak "tesadüfi bir teknik ilerlemeyle" yani yepyeni bir aracın ortaya çıkmasıyla gerçekleşebildiğini biliyordu.[19] Bir tarihçinin belirttiği üzere, Claude da yeni araçlardan yararlanmakta ustaydı.[20]

Mikroskop altında "hücresel mayonez"in katmanlarına bakan Claude, "granüller" veya "partiküller" olarak adlandırdığı zar zor görülebilen noktalar fark etti. Bunların hücrelerin içinde bulunan ama var olduklarını kimsenin düşünmediği yapılar olduğundan emindi. Katmanlarda farklı enzimler de vardı. Muhtemelen yapıların ne yaptığı hakkında ipuçları sunuyorlardı. Hatta gördüğü partiküllerin, hücrenin kimyasal fabrikaları olduğundan şüphelendi.[21] Yine de onların ayrıntılarını seçebilmekten umudunu kesmişti; birçok meslektaşı ise gördüğü minik noktaların hiçbir anlamı olmadığını düşünmeye devam ediyordu.

Berlin'de çalışan bir Alman elektrik mühendisi, evrenimizle ilgili tuhaf bir gerçekten yararlanarak Claude'un imdadına yetişti. On yıldan uzun süre önce Ernst Ruska, tıpkı bir merceğin ışığı odaklaması gibi, teoride bir elektromıknatısın da ince bir elektron demetini odaklamak için kullanılabileceğini fark etmişti. Eğer bu yeterince hassas bir şekilde yapılabilirse, yönlendirilen elektron dalgalarının ekranda bir görüntü oluşturması lazımdı. Bu son cümlenin kafanızı karıştırması çok normal. O sıralarda kuantum kuramı, parçacık olarak düşünülen elektronların dalga gibi de davrandıklarını daha yeni ortaya çıkararak fizikçileri şaşkınlığa sevk etmişti. Bu hâlâ tam olarak anlayamadığımız acayip bir paradoks. Ama Ruska için bu paradoks bir nimetti. Bir elektronun dalga boyu görünür ışığınkinden bin kat küçük olduğundan, bir "elektron mikroskobu"nun çözünürlüğü de en azından ilkesel olarak sıradan bir mikroskobunkinden bin kat daha büyük olabilirdi.

Elektron akışından görüntü çıkarmak çoğu uzmana boş bir hayal gibi geliyordu. Ruska onları dikkate almadı. 1933'te çok az kişinin işe yarayacağını düşündüğü bir elektron mikroskobu prototipi yaptı. Bir dergiye görüntüleri de eklediği bir makale gönderdi ama cihazının "hiçbir yararlı amaca hizmet etmeyeceği" gerekçesiyle reddedildi; yine de Ruska cihazı geliştirmeye devam etti.[22] En sonunda Sie-

mens şirketi fikrin işe yarayabileceğine karar verdi ve Ruska'yı destekledi. ABD'de ise RCA Corporation kendi elektron mikroskobunu geliştirdi.

1943 yazında savaş sürerken, New York kentinde tek bir elektron mikroskobu vardı. Boya ve kimyasal madde üreten bir firma, cihazı yeni ürünler geliştirmek için kullanıyordu. Kuruluşun araştırma müdürü Albert Gessler, aynı zamanda kanserle de ilgileniyordu; yakın arkadaşlarından birini kanser nedeniyle kaybetmişti.[23] Gessler bir gün *Science* dergisinin sayfalarını karıştırırken Claude'un bir makalesine rastladı. Makale, normal hücrelerdeki partiküllerin nasıl çoğaldığına daha yakından bakmanın, kanserin nedeni konusunda ipuçları verebileceğini ileri sürüyordu. Gessler Claude'u mesai saatleri dışında şirketin elektron mikroskobuyla çalışmaya davet etti. O da hevesle kabul etti.

Teknik zorluklar göz korkutucuydu. Kontrast yaratmak için bir hücreyi kimyasallarla nasıl kaplayacaklarını ve mikroskobun odacığındaki vakumun hücreyi yok etmesini nasıl önleyeceklerini anlamak zorundaydılar. Neyse ki Claude'un çalışma arkadaşı Keith Porter hücre kültürü yapma konusunda olağanüstü yetenekliydi. Elektron demetinin nüfuz edebileceği kadar düz ve ince olan tavuk hücreleri yetiştirmek için ustaca bir teknik geliştirdi. Bir yıl sonra, 1944'te, biliminsanları nihayet tek bir hücrenin ilk elektron mikroskobu görüntüsünü ürettiler. Bir anda önlerinde yepyeni bir manzara belirmişti. Porter sonradan şöyle anlatacaktı: "Harikaydı. İnanın, hiç böyle bir şey görmemiştik. İnsanlar Ay'a gitti ... ama biz ... parçacıkları gören, ışık mikroskobunun çözemediği yapıları gören ilk kişiler olduk."[24] Artık hücre biyolojisinin karanlık çağı sona ermek üzereydi.

Canlı atomlarının hücrelerimizde başka türden yapılar oluşturup oluşturmadığını tartışmak için artık hiçbir neden kalmamıştı. Elektron mikroskobu teknikleri daha da geliştirilerek son derece keskin görüntüler elde edildi. Claude'un tekniklerini zekice kullanan Rockefeller'daki "küçük bir kâşif grubu", özellikle de Keith Porter, Christian de Duve ve George Palade, keşfettikleri yeni yapıların sayısı karşısında şok oldular. Ribozom bulundu (Francis Crick ve diğerleri bunun protein yapmak için RNA'yı kullandığını keşfedeceklerdi). Clau-

de'un santrifüjünde yalıttığı diğer "parçacıkların" çoğunun, artık organel dediğimiz, zarla çevrili büyük yapılar olduğu anlaşıldı. Hepsinden iyisi, Claude'un tekniklerinin birleştirilmesiyle bu yapıların işlevlerinin belirlenebileceği fark edildi. Bir elektron mikroskobu organelin yapısını ortaya çıkarabilirken, bir santrifüj de onun enzimlerinin tanımlanmasına olanak sağlıyordu. Endoplazmik retikulum adı verilen organel ve onun komşusu olan Golgi cisimciği, başka işlevlerinin yanı sıra yeni proteinleri kimyasal olarak modifiye ediyor, onları kesecikler halinde paketliyor ve hücrenin diğer yerlerine gönderiyordu. Lizozom adı verilen bir diğer yapı ise hücrenin çöp öğütücüsüydü. Hücre biyologları coşku içindeydi. Araştırmacılar organellerdeki bozuklukların hastalıklara neden olduğunu keşfederek tıbba da katkıda bulundu. Örneğin hatalı ribozomlar Diamond-Blackfan anemisine neden olur. Mitokondriyal bir bozukluk, MERRF adı verilen bir tür epilepsiye yol açar. Lizozomlardaki bir enzimin eksikliği ise Tay-Sachs hastalığının sebebidir.

Claude sadece birkaç organelin araştırılmasında doğrudan rol oynadı. 1949'da memleketi Belçika'da bir kanser araştırma merkezini yönetme teklifi gelince Rockefeller'dan ayrıldı. Görünen o ki dehası, hücrelerin sırlarını araştırmak için bulduğu teknikleri kullanmaktan çok, araştırmada kullanılacak yeni araçlar yaratmakta yatıyordu, ki bunu çok kez de yapmıştı.[25] Claude, buluşlarını kullanarak çığır açıcı birçok keşif yapan de Duve ve Palade ile birlikte Nobel Ödülü alacaktı.

1950'lerin başlarında, DNA içeren çekirdeğe ve proteinleri oluşturan ribozomlara ek olarak, farklı enzimlere sahip organellerin de özel işlevleri olduğu anlaşılmış durumdaydı. Ama yine de hücreye ilişkin eski görüşlerin çoğu hâlâ yaygındı. Araştırmacılar, elektron mikroskobuyla bile organellerin dışına baktıklarında, yalnızca bulanık bir çorba görüyordu. "Organellerin, birbirleriyle çarpışan ve sağa sola dağılan çözünebilir moleküllerden oluşan bir denizdeki katı adalar gibi olduğunu düşünüyorlardı," diyor hücre biyoloğu Franklin Harold. Hücrenin iç kısmının geri kalanı her zamanki gibi karanlık görünüyor ve enzimlerin hâkimiyetinde olduğu düşünülüyordu. Orada daha fazlasının olduğunu düşünen çok az kişi vardı.

Fakat "çatlak" bir biyokimyacı, hiç kimsenin hücrelerde var olabileceğini hayal etmediği yepyeni mekanizmaların keşfinin fitilini ateşleyerek bu görüşü sarstı. Peter Mitchell dünya çapında tanınmıyor olabilir ama biyokimyacılar arasında ona geniş çapta hayranlık duyulur ve hürmet beslenir. Mitchell, Cambridge Üniversitesi'ndeki ilk günlerinden itibaren unutulması zor bir figürdü. Öğrenci olarak 1939'un sonlarında şık bir Morgan otomobille gelmiş, sonradan inşaat şirketi sahibi amcasının cömertliği sayesinde ikinci el bir Rolls-Royce'a geçmişti. Biyografisinde yazdığına göre: "Arkadaşlarının çoğu Mitchell'ı gösterişli giyimiyle hatırlıyor: bordo bir ceket, düğmeleri bazen göbeğine kadar açılmış bir gömlek, neredeyse omuzlarına gelen uzun saçlar."[26] Odasına büstünü koyduğu Beethoven'a benzetiyorlardı onu. Mitchell'ın sıradışı ve felsefi düşüncelere hep bir sempatisi olmuştu. Hücrelerimizdeki atomların yaşamı nasıl yarattığına ilişkin alışılmadık fikirleri de bilimdeki en sert çekişmelerden birini, neredeyse yirmi yıl boyunca sürecek bir tartışmayı başlatacaktı.

Mitchell 1954'te Edinburgh Üniversitesi'ndeki bir biyokimya birimini yönetmek üzere, doktorasını aldığı ve araştırmacı olarak çalıştığı Cambridge'den ayrıldı. Orada fikir ayrılıklarının kökenindeki temel soruyla boğuşmaya başladı: Hücrelerimiz nasıl enerji üretiyor? Mitchell diğer herkesin konuya yaklaşımının yanlış olduğu kanısındaydı.

Çoğu biliminsanı ortada bir problem görmüyordu. Bu soruyu yanıtlamak zor olacağa benzemiyordu. Ne de olsa yapbozun hemen hemen bütün parçaları zaten birleştirilmişti.

Claude bir santrifüj ve elektron mikroskobu kullanarak, mitokondrinin enerjiyi serbest bırakmak için şeker ve oksijen yaktığını belirlemişti. İcat ettiği bir ifade o zamandan beri sınıflarda yankılanır: Mitokondriler hücrenin "enerji santralleri"dir.[27]

Bu da başka bir soru doğurmuştu. Bir hücre bu enerjiyi uzak uçlarındaki moleküllere ve organellere nasıl dağıtır? Sonuçta hücrelerimizdeki mitokondrilerde kablo yok.

Biyokimyacılar bulmacanın bu kısmını da çözmüştü. ATP (adenozin trifosfat) adı verilen, yalnızca 47 atomlu küçük bir molekül keşfetmiş ve bunun ufak, taşınabilir bir pil takımından başka bir şey

olmadığını fark ettiklerinde hayrete düşmüşlerdi. ATP fosfor içerir; parladığı ve tekinsiz bir şekilde kendiliğinden yanma eğiliminde olduğu için bir zamanlar fosfora "şeytan elementi" derlerdi. ATP çok önemlidir çünkü onun son fosfatını koparmak bol miktarda enerji açığa çıkarır.

Biliminsanları, Güneş'ten enerji almamızı sağlayan sürecin son adımını ATP'nin gerçekleştirdiğini keşfettiler. Bitkiler ilk önce fotosentez sırasında bu enerjiyi yakalar ve şekerin içinde paketler. Biz o şekeri (veya ondan yapılan yağları) yediğimizde, hücrelerimizdeki mitokondriler enerjiyi serbest bırakır. Sonra ATP, Güneş'ten gelen bu enerjiyi hücrelerimizde ona ihtiyaç duyan bütün moleküllere taşır. Bu durumda bolca ATP molekülü üretmemiz gerektiği biyokimyacılar için açıktı. Artık tipik bir insan hücresinin her saniye 10 ila 100 milyon ATP tükettiğini biliyoruz.[28] Tüm canlıların enerji dağıtımı için ATP'yi (veya benzer bir molekülü) kullanması, bu küçük enerji paketlerinin canlılık kadar eski olduğunu düşündürüyor. Araştırmacılar ayrıca şunu da biliyordu ki, bir ATP bir fosfat kaybederek enerji saldığında, ATP'nin geri kalanı ana gemiye yani mitokondriye geri döner ve orada ona bir enzim tarafından yeni bir fosfat eklenerek, minik pil takımı tekrar şarj edilir.

Artık geriye sadece ufak bir soru kalmıştı. ATP sentaz adı verilen enzim ATP'yi nasıl üretiyordu? Bu soruyu yanıtlamak çocuk oyuncağı olmalıydı. Biyokimyacılar enzimlerin kimyasal yolaklarını nasıl belirleyeceklerini biliyorlardı. Ama "mitokondriciler" bu enzimin nasıl çalıştığını bir türlü açıklayamıyordu.

Haber yayıldıkça daha fazla laboratuvar yanıtın peşine düştü – kimyacılar ve fizikçiler, düzinelerce laboratuvar, yüzlerce araştırmacı. Büyük laboratuvarlar ve büyük biliminsanları yarışa girdi.[29] Enzimin işleyişini açıklamak acil bir mesele haline geldi.[30] Ama problem üzerinde yirmi yılı aşkın süre çalışan biyokimyacı Efraim Racker'ın hatırladığı üzere, "sadece hareketli parçaların gölgeleri görülüyor" ve umutsuzluk hüküm sürüyordu.[31] Arada bir ekiplerden biri muzaffer bir edayla problemi çözdüklerini duyuruyordu. Kısa süre sonra da zafer iddiaları boşa çıkıyor ve herkes eskisinden de şaşkın bir vaziyette kalakalıyordu. "Kafası tamamen karışık olmayan biri varsa, meseleyi

anlamamış demektir," dedi Racker bir konferansta.[32] Boşa kürek çektiklerinin ve bunun onlarca yıl daha süreceğinin farkında değillerdi.

Felsefi düşüncelere meyilli olan Mitchell, araştırmacıların zamanlarını boşa harcadıklarına kanaat getirmişti. Problemleri kendi başına detaylı bir şekilde düşünmeyi tercih eden Mitchell öyle yeni bir alternatif önerdi ki, balatayı sıyırmanın eşiğinde gibi görünüyordu. Sokrates öncesi felsefecilerden Herakleitos'un aynı nehre iki kez girilemeyeceği yönündeki gözlemi zihnini kurcalıyordu.[33] Mitchell hücreyi de benzer şekilde düşünmeye başladı, atomları sürekli olarak değişse de nehir veya mum alevi gibi sabit kalan bir yapı olarak. Hücre zarının, içine ve dışına akan sonu gelmez molekül trafiğini nasıl düzenlediğiyle ilgilenmeye başladı. Sonunda zarların basit bir bekçi görevi görmekten çok daha fazlasını yaptığına ikna oldu.

Mitchell mitokondrinin mimarisini yeniden inceledi. Elektron mikroskopisi onun oval olduğunu ve bir zarla çevrili olduğunu gösteriyordu. İçinde de bir iç odacık oluşturan başka bir kapalı zar vardı. Mitchell'ın öne sürdüğü sıradışı fikir, bu iç zarın yapısının ATP yapımı için elzem olduğuydu. Eğer öyleyse, geleneksel bir enzimin ATP'yi nasıl oluşturduğunu açıklamaya çalışan tüm araştırmacılar aslında var olmayan bir hayaleti arıyorlardı. Ona göre, mitokondri şekerden serbest kalan enerjiyi kullanarak çok sayıda pozitif yüklü hidrojen iyonunu iç zarından dışarı taşıyordu. Sonra da zarın iki tarafı arasındaki elektrik yükü farkını kullanarak ATP üretiyordu.

Yani Mitchell'a göre –tuhaf bir şekilde– mitokondri hücreye güç sağlayan bir elektrik akımı yaratmak için zarını kullanıyordu. Bu akımı pozitif yüklü protonlardan yani hidrojen çekirdeklerinden sağlıyordu; elektrik kablolarımız ve cihazlarımızdan akan negatif yüklü elektronlardan değil. Zarda bulunan ve ATP üreten bir mekanizmaya güç sağlamak için de bu akımı kullanıyordu.

1961'de bu fikir herkese acayip göründü. Bu süreç bilinen molekül üretme yollarından hiçbirine benzemiyordu. Ayrıca sadece bir tahmindi. Mitchell'ın iddiasını destekleyecek hiçbir deneysel kanıt yoktu.[34] "Bu işin bu şekilde yürümediğine dair her türlü bahse girebileceğimi düşündüğümü hatırlıyorum," diye yazacaktı Leslie Orgel sonradan.[35] Biyokimyacı Racker ise, "Bu formülasyonlar bir saray

soytarısının veya felaket tellalının beyanlarına benziyordu," diyecekti.[36] Mitchell'ı destekleyen neredeyse hiç kimse yoktu. Otomatik bir tepkiyle birçok biliminsanı bir kez daha "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısına kapılmıştı. Olası görünmediği, kendilerine öğretilen her şeye aykırı olduğu ve üstelik hantal olduğu için kuramı reddettiler.

Mitchell yılmadı ama bir dâhi olsa da kendi işini pek kolaylaştırmıyordu. Kuramını mitokondricilerin aşina olduğu terimlerle değil, kendi muğlak terimleriyle sundu.[37] Proton akımının ATP'yi nasıl ürettiğini açıklamak için önerdiği mekanizmaların çoğu da doğru çıkmayacaktı.

Edinburgh Üniversitesi'nde birkaç yıl çalıştıktan sonra Mitchell ciddi bir mide ülseri nedeniyle istifa etmek zorunda kaldı. İyileşmek için Cornwall kırsalındaki yıpranmış bir malikâneye taşındı. Ama çalışmaktan vazgeçmedi. İki yıl sonra zarif binayı yenilemiş ve binanın bir kanadını özel bir laboratuvara dönüştürmüştü. Cambridge ve Edinburgh'da kendisiyle birlikte çalışmış olan yetenekli çalışma arkadaşı Jennifer Moyle'u işe aldı. Ormanlık bir alana bakan laboratuvarda kuramını desteklemek için deneyler yaptılar. Ödüllü süt ineklerinden elde edilen gelir, çalışmalarının desteklenmesine yardımcı oldu.[38]

Mitchell on yıl boyunca meslektaşlarıyla çok az ilerleme kaydetti. Meslektaşlarından biri, gelecekte Nobel Ödülü alacak Mitchell'ın bir konferansta yaptığı konuşmayı şöyle hatırlayacaktı sonradan: "Sözleri bir kulağımdan girip ötekinden çıkıyordu, bu kadar gülünç ve beceriksiz bir konuşmacıya izin verilmesinden rahatsız olmuştum."[39] Karşıt görüşlü bir başkası da Mitchell'la tartışırken o kadar sinirlenmişti ki, kalkıp tek ayak üstünde zıplamaya başlamıştı.[40]

Mitchell, evindeki dünya haritası üzerinde kendisini eleştirenlerin yerlerini kırmızı raptiyelerle işaretlemişti.[41] İçlerinden biri tereddüt etmeye başlarsa, Mitchell "ikna monitörü" üzerindeki kırmızı raptiyeyi beyazıyla değiştiriyordu. Fikrini tamamen değiştirirse, Mitchell beyazın yerine yeşil raptiye koyuyordu.

Zamanla Mitchell ile Moyle'un yanı sıra kuramı çürütmeye çalışan başka birçoklarının yaptığı deneyler yavaş yavaş gidişatı tersine

çevirdi. Sonunda biyokimyacılar Mitchell'ın haklı olduğunu kabul etmek zorunda kaldı. Mitokondriler, ATP'mizi üretmek için hidrojen iyonlarını (pozitif yüklü protonları) kullanarak iç zarlarının iki tarafı arasındaki elektrik yükünde bir fark yaratıyordu ve bu yük son derece –neredeyse yıldırım kadar– güçlüydü (metre başına yaklaşık 300 milyon volt).[42]

Mitchell'ın görüşlerine uzun süredir karşı olan UCLA'dan Paul Boyer, Mitchell'ın kuramını daha anlaşılır duruma getirmeye yardımcı olan dikkate değer bir keşif yaptı. 1960'ların başlarında Boyer ATP'yi üreten enzimin sıradan bir enzim olamayacağına kanaat getirdi. İlk önce, süreci kolaylaştırmak için şekil değiştiren komşu proteinlerle uyum içinde hareket etmesi gerektiğini düşündü. Ama 1970'lere gelindiğinde daha net bir fikri vardı. ATP'yi üreten enzimin kendisinin sıradışı olduğuna inanıyordu. Aslında onu küçük bir moleküler makine haline getiren, birbirine bağlı birçok hareketli parçadan oluşan karmaşık bir yapıydı. Mitchell'ın hidrojen atomu akımının o görünmez makineye güç vermesi gerektiğini düşünmeye başladı.

Boyer ATP sentaz olarak bilinen bu makinenin yapısının gerçekten de sıradışı olduğunu keşfetti. Albert Claude'un hayal etmediği bir mekanizma vardı burada. Leonardo da Vinci'nin tasarlayabileceği türden, su çarkı gibi çalışan bir mekanizmaya benziyordu; tek farkı barajın arkasındaki suyun değil, zarın arkasındaki protonların birikmesiyle dönmesiydi. Küçük bir döner motor olan bu cihaz iç zarı kaplıyordu. Saniyede yaklaşık 300 kez dönebilen bir şafta sahipti.[43] Sonradan cihazın kesin moleküler yapısını ortaya çıkardığı için Nobel Ödülü alan X ışını kristalografı Sir John Walker, cihazı anlatırken rulmanı, pistonları veya valfleri, krankı veya kamı, yayı veya volanı olduğunu belirtiyor.[44] Rotoru ve ona bağlı mekanizmaları döndüren bir proton akımıyla işliyordu. Makinenin bir bölümü bir fosfat ve bir adenozin *di*fosfat molekülü yakalıyordu; diğer bir bölümü adenozin *tri*fosfat (ATP) oluşturmak için ikisini birleştiriyordu. Başka bir bölüm de yeni üretilmiş ATP'yi güçlü bir vuruşla hücreye geri fırlatıyordu.

Boyer 1975'te Mitchell'a zeytin dalı uzattı. Çekişmenin sona erdiğinin kabulü olarak, Mitchell ve diğer bazı eski muhaliflerle birlik-

te bir derleme makalesi yazmayı teklif etti. Üç yıl sonra Mitchell kulağında küpesiyle Nobel Kimya Ödülü'nü almak üzere Stockholm'e gitti; bir biliminsanına göre "biyohayalgücü"nden ötürü layık görülmüştü ödüle.[45] Mitchell ödül parasıyla, araştırmasını ve çiftliğini finanse etmek için altına girdiği borcu ödedi.[46] Yıllar sonra Boyer da Nobel aldı. Hücrelerimizde, enzimlerin sadece tepkimeleri hızlandırdığı yolundaki eski görüşe hiç uymayan bir mekanizma keşfetmişlerdi. Aslında mitokondriler, elektrik akımı ağları oluşturmak için şekerdeki enerjiyi kullanıyordu. Bu proton elektriği incelikli moleküler makinelere güç sağlıyor ve onlar hareket ettikçe de yaptığımız her şeyin güç kaynağı olan küçük piller sürekli yeniden şarj oluyordu.

İlginç bir şekilde, yaşamın kökeniyle ilgili 7. Bölüm'de gördüğümüz gibi, Mike Russell ve William Martin benzer bir proton akımının canlılığın ilk olarak ortaya çıkmasına yardımcı olduğunu düşünüyorlar.[47] Derin denizlerdeki hidrotermal bacalarda Mitchell'ın elektrik akımlarının eski izlerini görüyorlar. Orada hidrojen iyonları tıpkı hücrelere benzeyen, zar kadar ince duvarlara sahip küçük odacıklarla dolu mineral birikintilerinin içinden kabarcıklar halinde çıkıyor. Araştırmacılar farklı konsantrasyonlardaki pozitif yüklü hidrojen protonlarının bu duvarların iki tarafında birikmesiyle elektrik akımları oluştuğunu öne sürüyorlar. Bu proton akışının, daha karmaşık organik bileşiklerin oluşumunu, nihayetinde de yaşamın ortaya çıkmasını mümkün kıldığını düşünüyorlar.

Öyle olsun ya da olmasın, Mitchell ile Boyer'ın mekanizması mitokondrilerin evrimi nasıl hızlandırdığını açıklıyor. Lynn Margulis'in öne sürdüğü üzere, mikrop türlerinden biri enerji üretiminde özellikle verimli hale gelene kadar gezegenimize mikropların hâkim olduğunu hatırlayın. O verimli mikroplardan biri başka bir hücre tarafından yutuldu ve torunları evcilleştirildi. Mitokondriye dönüştüler; sonrasında olanlar sonucunda da bugünlere gelindi. Biz ortaya çıktık. Her hücremizde ortalama bin ila on bin arasında mitokondri bulunur.[48] Mitokondriler bir kalp kası hücresinin hacminin yaklaşık yüzde 35'ini kaplar.[49] Hücrelerimizden tek bir tanesinin bir bakteriden on binlerce kat fazla enerji üretmesini sağlarlar.[50] Bu süper-destek sayesinde DNA'mız ribozomları daha fazla protein ve enzim üretmeye yönlen-

direrek, hücrelerimizi yoğun bir faaliyet alanına dönüştürebilir. Vücudunuzda her saniye, eskiden bakteri olan katrilyonlarca organel, zarlardan proton pompalayarak, ATP üreten döner motorlar için elektrik üretiyor. Bu motorları çalışır durumda tutmak için dakikada kabaca bir su bardağı hacminde oksijen tüketiyorsunuz; bu da onların 100 watt'lık bir ampul kadar enerji üretmelerini sağlıyor.[51]

Hücrelerimize hayat vermek için moleküllerimiz DNA, RNA, ribozomlar, enzimler ve organellerden çok daha fazlasını oluşturur; minik makineler de yaparlar ve protonlardan elektrik akımı üretirler. Aslında vücudumuz da farklı türde bir akıma bağımlıdır. Bunu Luigi Galvani adında bir hekim 1780 yılında keşfetti. Galvani elektrik kıvılcımının ölü bir kurbağanın bacağının seğirmesine neden olduğunu gözlemlemişti. 1950'lerin sonlarında, biyologlar bu elektriği sinirlerimizdeki başka tür bir görünmez mekanizma –yüklü atomları hareket ettiren bir pompa– yardımıyla ürettiğimizi belirlediler. Bu sodyum-potasyum pompaları tüm hücrelerimizde bulunur ve biz de enerjimizin yaklaşık üçte birini sırf bu pompaları çalışır durumda tutmak için harcarız.[52] Ama onlar olmadan düşünemeyeceğimizi ya da beynimizden ayaklarımıza "Koş!" diye bir mesaj gönderemeyeceğimizi hesaba katarsak, tükettikleri büyük miktarda ATP'yi onlara çok görmeyiz herhalde.

Bu önemli pompalar, hücrelerimizin dışında daha fazla yüklü sodyum molekülü tutarken, hücrelerimizin içinde daha fazla potasyum tutar. Bu, hücrenin iç basıncını korumaya, patlamasını önlemeye ve diğer kimyasalların dengesini korumaya yardımcı olur.

Biliminsanları sinirlerimizin bu pompaları başka amaçlar için de kullandığını keşfetti. Elektriksel mesajlar gönderiyorlar ama elektronlar ya da protonlar olmadan. Araştırmacılar bunun nasıl işlediğini 1939'da, zırhsız dev kalamarın savunmasının hızla kaçmak olduğunu ve bunu da dev nöronların mümkün kıldığını keşfettiklerinde anlamaya başladılar. Bu sinirler öyle genişti ki, araştırmacılar iç ve dış elektrik potansiyellerini ölçmek için bunlardan birine tel geçirebiliyorlardı. Sinirin elektrik akımının negatif yüklü sodyum ve pozitif yüklü potasyum molekülleri tarafından oluşturulduğunu gördüler. Daha da tuhafı, iyon adı verilen bu yüklü moleküller siniri bir uçtan

diğer uca katetmiyordu. Onun yerine, futbol taraftarları gibi bir dalga hareketi yapıyorlardı. Hücre zarında, sodyumun girmesine veya potasyumun çıkmasına izin veren uzun bir dizi küçük kanal hayal edin. Her bir kanal açıldığında, saniyede bir milyondan fazla sodyum iyonu içeri giriyor ya da potasyum iyonları dışarı çıkıyor.[53] Tıpkı futbol taraftarlarının kol hareketinin komşularının hareketini tetiklemesi gibi, bunlar da bitişik kanalların açılmasını tetikliyor. Sodyum ve potasyum iyonları zarın içine girip çıkarken, sinir boyunca ilerleyen bir elektrik yükü dalgası yayıyorlar.

Bu çılgın sürecin işlemesini sağlayan şey, dinlenme halindeki bir sinirin dışında içeriden çok daha fazla sodyum iyonu ve içeride dışarıya göre daha fazla potasyum iyonu bulunmasıdır. Bu farkı koruyan ise hücrenin dış zarını kaplayan bu küçük makinelerdir. ATP'den gelen enerji darbesiyle her pompa üç sodyum iyonunu dışarı atar. Daha sonra pompa şekil değiştirir ve yalnızca iki potasyumun içeri girmesine izin verir. Bir sinirde bulunan bir milyon civarındaki sodyum-potasyum pompasının yarattığı yük farkı, mesajların saniyede 100 metre hızla iletilmesini sağlar.[54,55] Bu küçük makineler için daha fazla kullanım alanı bulan başka hücreler de var. Kas hücreleri –kalp de dahil– onları kasılmaya yardımcı olmaları için kullanıyor.

Farkında olmayabilirsiniz ama hayatımız katrilyonlarca ufacık sodyum-potasyum pompasına bağlı.[56] Bu küçük makineler olmadan yaşamamız, düşünmemiz ya da yırtıcılardan kaçmamız mümkün olmazdı. Bu arada, sodyum klorürün, daha doğrusu tuzun tadının o kadar güzel olmasının nedeni de bu. Yediğimiz bitkilerde bolca potasyum olmasına rağmen pek sodyum yoktur. İçsel elektrik yüklerimizi korumak için günde bir çay kaşığı kadar tuza ihtiyacımız olur. Bu nedenle avcı-toplayıcılar tuzlarını etten alsalar da, tarımcılar diyetlerine tuz eklemek zorundaydı.[57] Tuzluğumuzun içindeki tuz parmaklarımızı hareket ettirmemizi, kulağımıza dokunmamızı, düşünmemizi ve konuşmamızı mümkün kılar.

Zarif ATP sentaz ve sodyum-potasyum pompalarının ötesi de var. 1960'lı ve 70'li yıllardan bu yana, hücrelerimizde ATP yakıtlı başka bir sürü moleküler makine bulundu. Bazıları minicikti; büyük organeller fabrika boyutunda olsa, bunlar sadece el arabası boyutunda

olurdu. Örneğin kinesin adı verilen iki ayaklı küçük yürüyen makineler hücrede dolaşırken, her bir adımlarına bir ATP güç sağlar. Kinesinler, mitokondrilere veya diğer organellere gerek duyulan her yere sürekli olarak döşenen ve gerek duyulmayan yerlerden çekilen mikrotübüller halinde düzenlenmiş proteinlerden oluşan yollarda yürürler. Günlerini hücrenin bir tarafından diğer tarafına protein dolu kesecikler taşıyarak geçirirler. Kaslarınızda ATP ile çalışan küçük motorlar –miyozinler– tırtırlı yollar boyunca ilerlerken şekil değiştirerek kas liflerinizi genişletir ve daraltır. Biyofizikçi Holly Goodson şöyle diyor: "Hayvanların öldüklerinde katılaşmasının nedeni, miyozinlerinin tutkalla yapışmış gibi güçlü bir şekilde bağlı kalmasıdır." Başka bir deyişle, kasların minik motorları durur. Şaperonin adı verilen küçük makineler ise tüm hücrelerinizde yeni üretilen proteinlerin serbest bırakılmadan önce uygun şekilde katlanmasına yardımcı olur. Bu sırada proteazomlar da tıpkı ağaç öğütücüler gibi, hurda yığınına giden gereksiz proteinleri parçalar.

"Esasen bir hücrenin içi inşaat sahası gibidir; bir şeyler yapan, bir şeyleri bir yerlere taşıyan makinelerle dolu bir yerdir. Hâlâ belli bir miktar sıvı var ama her yıl yeni keşifler oluyor; dolayısıyla çorba için arada kalan yer azalıyor," diyen Franklin Harold, hayatı boyunca ne kadar çok yeni moleküler makine keşfine tanık olduğuna şaşırdığını ekliyor.

Bütün bu mekanizmalar –fabrika benzeri organeller, elektrik akımları ve minik moleküler makineler– trilyon kere trilyonlarca atomun hücrelerimizde nasıl yaşam yarattığını açıklamada epey yol almamızı sağladı. Ama hikâyede onlardan bile fazlası var.

İlk olarak, basit moleküler çekme ve itme kuvvetlerinin, bazı yapıların kendiliğinden oluşmasını sağlaması gibi şaşırtıcı bir durum söz konusu. Gördüğümüz üzere Alec Bangham bunu ilk kez 1960'ların başlarında, yeni elektron mikroskobunu test ederken fark etmişti. Yağ moleküllerinin, su sevmeyen uçlarını saklamak için döndükçe kendiliğinden zar oluşturduklarını görüp şaşırmıştı. Aynı şekilde proteinlerin bazı bölgeleri su severken bazıları su sevmez. Bu çekme ve

itmeler, proteinlerin origamideki gibi sabit şekiller oluşturmalarına yardımcı olur.

Moleküllerimizin nasıl olup da yaşamı yaratabildiği sorusunun cevabına dair bir ipucu daha var. Yaklaşık üç milyar baz çiftinden oluşan DNA da dahil olmak üzere, hücrelerimiz çok fazla sayıda yapı içerir. Buna rağmen büyüme döneminde, yara iyileşmesi sırasında veya sorunlu bir hücrenin yenilenmesi gerektiğinde, bir hücre sadece yirmi dört saat içinde yepyeni bir hücre üretebilir. Ben üç milyar harfi hiç ara vermeden yazacak olsam, on beş yıldan fazla zamanımı alırdı. Acaba hücrelerimiz nasıl o kadar hızlı çalışabiliyor?

1827'de İskoç botanikçi Robert Brown, mikroskopla yaptığı incelemeler sırasında bir ipucu buldu. Suya koyduğu polen tanelerinin neden çökmediğini, neden sürekli çarpışmayı sürdürdüklerini anlayamıyordu. İlk başta canlı olabileceklerini düşündü. Ama taşların üzerindeki tozların da aynı şekilde davrandığını görünce fikrini değiştirdi. Neden hareket ediyorlardı? Albert Einstein 1905 yılında, onların sarhoş yürüyüşüne benzeyen düzensiz hareketine, çevrelerindeki göremediğimiz su moleküllerinin sürekli rasgele çarpışmasının neden olduğunu kanıtladı. (Aslında birçok fizikçiyi atomların gerçekten var olduğuna ikna eden de, Einstein'ın bu makalesi oldu.) Fakat Brown'ın ve Einstein'ın bilmediği şey, bu aralıksız çarpışmaların hücrelerimizin canlanmasına yardımcı olduğuydu. Bunun nedeni nano düzeyde (atom ve molekül düzeyinde) dünyanın bulanık olmasıdır. Isı, hücrelerimizdeki moleküllerin titreşmesine ve rasgele çarpışmalarına neden olur; fizikçi Peter Hoffmann buna moleküler fırtına adını vermişti.[58] Bu fırtına, beşinci kategoride sınıflandırılan en şiddetli kasırgalardan çok daha şiddetlidir. Hücrelerimizdeki moleküller, her milisaniye sayısız çarpışmaya göğüs gerer.

Bu bitmek bilmeyen çarpışan araba benzeri çarpışmaların ortalığı kasıp kavurmasını bekleyebilirsiniz, ama ilginç bir şekilde hücrelerimiz bundan rahatsız değilmiş gibi görünüyor. Daha ziyade, bu aralıksız hareketi yaşamın ortaya çıkmasını sağlayacak şekilde kullanıyorlar. Bu aralıksız salınım, moleküllerin hücrelerin içine ya da dışına itilmesine, proteinlerin şekil değiştirmesine ve enzimlerin dolaşmasına yardımcı oluyor. Çarpışmalar, örneğin küresel bir proteinin

saniyede iki milyon defadan fazla dönmesine neden olur.[59] Tepkimeye girmeye hazır her molekül, hücredeki her proteinle saniyede ortalama bir kez çarpışır.[60] Bu aralıksız etkiler, küçük su moleküllerinin saatte 1600 km'nin üzerinde bir hızla hücreleriniz boyunca zikzak çizerek hareket etmesine neden olur (her ne kadar başka bir moleküle çarpmadan önce ancak bir santimin on milyarda biri kadar gitseler de).[61] Glikoz gibi biraz daha büyük moleküller saatte yaklaşık 420 km hızla gider. Devasa proteinler bile saatte 32 km hızla hareket eder.[62] Dünyanın en hızlı koşucusu ise ancak saatte 45 km hızla koşabilir. Kısacası, hücrelerinizdeki faaliyetlerin çoğu inanılmaz derecede hızlıdır.

Peki ama hücrelerimiz küçük moleküler makinelerle dolu olduğuna göre, onların da arabalarımız ve bulaşık makinelerimizle aynı kaderi yaşaması gerekmez mi? Sürekli bozulmaları gerekmez mi? Biyofizikçi Dan Kirschner, hücrelerde ters gidebilecek şeyleri düşündükçe uykularının kaçtığını söylüyor. Lisansüstü derslerinden birinde hücre gelişiminin işlendiği sırada eşi hamileymiş. Hücrelerde yanlış yapılmaya müsait onca olasılığı düşündükçe, kızının zürafa gibi bir boyunla doğmasından korkmaya başlamış. Ama öyle bir şey olmamış tabii. Hücrelerimiz, ömürlerinin uzun olması için bir dizi akıllıca strateji geliştirmiştir. Birincisi, mekanizmaları olağanüstü ölçüde güvenilirdir. Örneğin ribozomun protein üretirken yanlış amino asit yerleştirme oranı on binde bir mertebesindedir.[63] DNA'mızı kopyalayan makineler ise sadece milyonda bir ila on milyonda bir civarında hata yapar.[64]

Tabii yine de hiçbir şey kusursuz değildir. Bazen hatalar olur. Ayrıca şiddetli çarpışmalar, morötesi ışık ve serbest radikaller gibi tehlikeli moleküller hasara neden olur. Hücrelerimizin tüm bu tehditlerle başa çıkmak için bazı ustaca yöntemleri vardır. Birincisi, zekice onarım mekanizmalarıyla doludurlar; yani devriye gezerek hataları arayıp düzeltmekle görevli makineler vardır. Hücrelerimizde hata kontrol eden moleküler makineler ve kopyalamada olağanüstü bir sadakat sağlayan otomatik düzeltmeli geribildirim döngüleri bulunur.

Atlanta Constitution'da yer alan 1954 tarihli bir gazete haberi, hücrelerimizin hayatta kalmak için benimsediği ikinci bir stratejiden

söz ediyordu. "Kendinizden sıkıldınız mı? Aynada aynı vücudu ve suratı görmekten bıktınız mı? O zaman bir kez daha bakın. Bir bakıma sürekli yeniden doğuyorsunuz. Tıpkı otomobil endüstrisi gibi, insanlık da her yıl radikal bir şasi değişikliğine gidiyor."[65] Bu tuhaf iddianın ardındaki bilim, Paul Aebersold adında yaratıcı bir nükleer fizikçinin çalışmasıydı. Kariyerine Berkeley'deki Radyasyon Laboratuvarı'nın siklotronunda (karbon-14 ile ünlenen Martin Kamen'in yeni radyoaktif izotoplar geliştirdiği yerde) başlayan Aebersold, daha sonra Atom Enerjisi Komisyonu'nda izotopların tıbbi kullanım için geliştirilmesini denetledi. Bir noktada, izotopları kullanarak vücudumuzdaki atomları ne sıklıkta değiştirdiğimizi öğrenebileceğini fark etti. Tek yapması gereken sofra tuzu gibi bir maddeyi radyasyonlu hale getirmek, o maddeyi yutacak birini bulmak ve Geiger sayacı benzeri bir radyasyon takip cihazıyla tuzun yolunu izlemekti. Bir keresinde, bir televizyon muhabirine "bir gramın milyar kere milyarda biri" kadar küçük miktardaki radyoaktif atomların takip edilebildiğini söylemişti gururla.[66]

Aebersold, her bir ila iki ayda bir karbon atomlarımızın yarısını yenileriyle değiştirdiğimizi buldu. Tüm atomlarımızın yüzde 98'inin ise her bir yıllık süreçte yenileriyle değiştiği sonucuna ulaştı.[67]

Durun biraz, nasıl yani? Böyle bir şey mümkün mü? Anlaşılan mümkün. Bedenimizin yarısından fazlası su ve kaybettiğimiz suyun yerine sürekli yenisini koyduğumuzu zaten biliyoruz. Bir diğer büyük yüzdeyi de proteinler oluşturuyor ve hatırlayacağınız gibi çoğu protein birkaç saatin ya da günün sonunda parçalanır. Esasen proteinden oluşan ribozomlarımızın ve mitokondri gibi büyük organellerimizin bile parçalarını yeniliyoruz.

Aebersold hücrelerimizin o kadar uzun yaşamasını sağlayan bir strateji daha keşfetmişti. Hücrelerimiz kalıcı gibi görünen öğelerini ve yıpranan moleküler makinelerini sürekli yenileriyle değiştirir. Yenilemedikleri tek şey devasa kromozomlarımızdır. Onlar için de aralarında dolaşıp sorun var mı diye bakan, varsa düzelten makineler vardır.

Peki ya bir hücredeki hasar onarılamayacak kadar büyükse? Bunun için de alternatif bir planımız var. Hücre tümüyle yıkılır, geri

dönüştürülebilir birimlere ayrılır ve yenisi üretilir. Ortalama olarak hücrelerimizin çoğu her on yılda bir yenilenir; o halde her gün yaklaşık 330 milyar hücre yenileniyor demektir.[68,69] En zor koşullarda çalışanlar, en sık emekliye ayrılır. Sert asitlere maruz kalan bağırsaklarınızdaki pek çok hücrenin zarar göreceği o kadar bellidir ki, bu hücreler planlı bir şekilde intihar eder ve her iki ila dört günde bir yenilenirler.[70] Çizilmelerle ve morötesi ışınlarla karşılaşan cilt hücreleriniz yaklaşık olarak her ay yenilenir. Kan dolaşımınızda gezinirken darbe alan alyuvarlarınız ise her yüz yirmi günde bir yenilenir.[71] Bu, her saniye neredeyse üç buçuk milyon yeni alyuvar üretmeniz gerektiği anlamına gelir.[72] Kemiklerimizdeki hücreler gibi diğer hücreler daha az sıklıkla, sadece on yılda bir hizmet dışı bırakılır.[73]

Dolayısıyla hücrelerimiz, güvenilir makineler kullanmanın yanı sıra hayatta kalmak için üç aşamalı bir ilkeye sahiptir: Durmadan hataları kontrol et, devamlı onarım yap ve sürekli yenisiyle değiştir. Vücudunuz büyük bir New York otoyolu gibidir; her zaman açıktır ve her zaman onarımdadır.

Bunların hepsi kulağa gayet güzel geliyor. Bu noktada şunu düşünüyor olabilirsiniz: *Ölümsüz olmam gerekmez mi?* Keşke. Hücrelerimizi sürekli yeniden inşa edip değiştiriyor olsak da bazı genetik mutasyonlar olduğunda bir hücre yoldan çıkabilir; özellikle de ona ne zaman bölüneceğini veya hasarlı DNA'nın nasıl onarılacağını söyleyen genlerde mutasyon olursa. O durumda hücre, kardeşleriyle yaptığı anlaşmayı bozar ve bencilce, başkalarını düşünmeden, kontrolsüzce çoğalır. Buna kanser denir ve her an ortaya çıkabilir.

Bu süreci kontrol altına almak için olasılığını azaltacak bir yol evrilmiştir. Ne yazık ki bizi ölümsüzlükten alıkoyan da budur. Bizim gibi büyük boyutlu hayvanlar için şöyle bir sorun vardır: Fare gibi ufak türlere kıyasla, hücrelerimizden birinin kansere dönüşme olasılığı daha yüksektir çünkü hücre sayımız çok daha fazladır. Ama bununla başa çıkmak için bir stratejimiz vardır. Doğmadan önce, diğer hayvanlarınkiler gibi bizim fetal hücrelerimiz de telomeraz adı verilen bir enzim üretir. Bu enzim, kopyalanan DNA'nın uçlarının kısalmasını önleyerek onu hasardan korur. Doğduğumuzda ise hücrelerimiz bu enzimi üretmeyi bırakır. Telomeraz olmadan, hücrelerimiz

ancak DNA uçları kopyalama yapılamayacak denli yıpranana kadar bölünebilir.* İyi haber şu ki, o duruma gelen hücrelerde yeni mutasyon olsa bile artık çoğalamazlar; dolayısıyla kanser oluşturamazlar. Kötü haber de şu ki, hücreler bozulmaya başlayabilir ve eğer söz konusu duruma gelenler kök hücreyse, yani bazı hücrelerimizi yenileyen hücrelerse, artık işlerini yapamazlar.

Sonsuza kadar yaşayamıyor olmamızın başka nedenleri de var. Kansere neden olmasalar bile zayıflatıcı mutasyonlar yine de birikir; enerji üreten mitokondrilerde ve kök hücrelerde de olur bu.

Asla ölümsüz olamamamızın belki de daha temel bir nedeni ise, hiçbir şekilde yenisiyle değiştiremediğimiz bazı hücrelerin olmasıdır. Dizi yaralanan birinin deri hücrelerinin yenilenmesi gibi, felç ya da kalp krizi durumunda da hasarı onarmak için yeni beyin ya da kalp hücrelerinin oluşması iyi bir güvence olabilirdi, ama bazı istisnalar dışında öyle olmuyor ve bunun iyi bir nedeni var. Beyin, her biri komşularıyla 10 bin bağlantı kurabilen yaklaşık 86 milyar nörondan oluşan bir ağdır.[74] Bu karmaşık bağlantılar, kişinin kimliğini yaratan anılarını ve deneyimlerini kodlar. Sizi siz yaparlar. Eğer onları değiştirmeye kalkışırsanız, dünyaya ilişkin zorlukla kazanılmış bilgilerinizi yitirirsiniz. Kendinizi kaybedersiniz. Bebeklikten sonra çok az yeni beyin hücresi oluşur (beynin hipokampus adı verilen kısmı dışında). Aynı şekilde, kalbiniz de yeni hücre oluşturma yeteneğini büyük ölçüde kaybetmiştir. Kimse bunun nedenini tam olarak bilmiyor. Belki de bu kadar güçlü bir şekilde pompalayabilmek için bir hayli özelleşen kalp kası hücrelerinin, bir zamanlar yenilenmelerine olanak veren genetik yolaklardan vazgeçmesi gerekmişti. Yetişkinler kalp kası hücrelerinin her yıl yaklaşık yüzde 1'ini yeniler.[75] Biyolog Nick Lane'e göre bunun anlamı şu: "Bizi insan yapan şeyler, yani beyinlerimiz ve kalplerimiz, aynı zamanda yaşlanmamıza ve ölmemize yol açıyor. Hücrelerimizden bazılarının yeri doldurulamıyor." Bu nedenle *Yaşam Neden Var?* adlı kitabında şöyle diyor Lane: "Sadece fizyolojimize

* Hücre bölünerek çoğalacağı zaman, yeni hücreye aktarılmak üzere DNA kopyalaması gerekir. Taşıdığı DNA ile yaptığı her kopyalama işlemi ise DNA'sının uçlarının biraz daha yıpranmasına ve belli bir süre sonra kullanılamaz hale gelmesine yol açar. *–ç.n.*

ince ayar yaparak yüz yirmi yaşın çok ötesine geçmenin bir yolunu bulacağımızı pek sanmıyorum."[76] Sonuçta eskiyeceğimiz gerçeğinden kaçış yok.

Bu nihai sınırlamaya rağmen, vücudumuzun onarma, yeniden inşa etme ve yenisiyle değiştirme stratejileri bize oldukça iyi bir işleyiş sağlıyor.

Sonunda meselenin özüne ulaştık. Artık Büyük Patlama'dan ve yıldızlardan buraya ulaşan gözüpek atomların nasıl işbirliği yaparak hücrelerimizin içinde yaşamı yarattığını anlamaya başlayabiliriz. Albert Claude'un hücre biyolojisinin karanlık çağı boyunca boşuna aradığı "gizli mekanizmalar"ı bulduk. Elbette bugün bile çoğumuz bir hücrenin karmaşıklığını takdir etmekte zorlanıyoruz çünkü onun basit, çocuksu bir çizimle temsil edildiğini görmeye alışığız, ama aslında hücrede basit olan hiçbir şey yok. Bir hücreye zum yapıp içine bakarsanız, kendinizi baş döndürücü karmaşıklığa sahip devasa, kalabalık bir şehirde bulursunuz.

Çekirdeğin içinde, DNA'mızdaki binlerce gen her saniye kopyalanır. Genlerin böylece üretilen RNA klonları, hücreye ne yapacağını, işlemleri nasıl sürdüreceğini ve ne şekilde çoğalacağını söyleyecek olan protein ve enzimleri üretmek için ribozomlara gider. Ama bunlardan çok daha fazlası var.

Güç istasyonları yani mitokondriler, saniyede yüz milyonlar ile bir milyar arasında ATP üreten küçük döner motorlar aracılığıyla ilerleyen hidrojen protonlarından elektrik akımları üretir.[77] Hücrenin içi özel fabrikalar ve üretim merkezleri, depolama alanları ve çöplükler olarak işlev gören diğer büyük organellerle doludur ve kargoların taşındığı ulaştırma yolları ağıyla kaplıdır.

Bu arada, diğer birçok moleküler makine de dönmekte, pompalamakta, çark döndürmekte ve yürümektedir. Kimyasal çekme ve itmeler bazı yapıların kendiliğinden oluşmasını sağlar. Hücre, moleküllerinin dip dibe olmasından akıllıca yararlanır; o kadar sıkışık durumdadırlar ki fizikçi Peter Hoffmann moleküllerin yoğunluğunu, arabaların arasında 30 santim kadar mesafe bırakılmış bir otoparka benze-

tiyor.[78] Bu balık istifi moleküllerin yüksek enerjili rasgele itişmeleri, hücre içindeki hareketleri ve etkileşimleri hızlandırır. Ayrıca hücrenin genç kalma stratejileri de vardır. Tıpkı vücudumuzun sürekli tüm hücreleri yenilemesi gibi, tek bir hücre de eskiyen ve hasarlanan makineleri ve yapıları sürekli yenileriyle değiştirir.

Aslında hücrelerimiz vücudumuzun geri kalanına ihtiyaç duymayacak kadar karmaşık yapılıdır. Bir insan hücresini alıp ona isteyebileceği tüm besinleri verirseniz, en azından bir süreliğine gayet iyi yaşayacaktır. Hatta bazı kanserli hücreler ölümsüzdür; adını uzun süre önce 1951'de vefat eden kanser hastası Henrietta Lacks'ten alan HeLa hücreleri gibi. Sonsuza kadar çoğalmaya devam etme potansiyeli olan bu anormal hücreler hâlâ birçok biyolojik araştırma için kullanılıyor.

Hiçbir biliminsanı, tüm bu atomların ve moleküllerin nasıl canlı hücrelere dönüştüğünü bütünüyle anladığımızı iddia etmeyecektir. Tek bir hücrede o kadar çok şey olup bitiyor ki bunların hepsini anlamak zor. Carnegie Bilim Enstitüsü'nden George Cody bana şöyle dedi: "Sözde çok basit olan bir canlı sistemde bile kaç tane molekül bulunduğunu ve herhangi bir noktada aynı anda kaçının etkileşime girdiğini düşünürsek, hepsinin işleyişini anlamak kavrayış yetimizi zorlar." Meydana gelen tüm kimyasal tepkimeleri temsil etmek için biliminsanlarının oluşturdukları akış şemalarındaki çizgiler o kadar yoğun ki zor okunuyor. Cody hücrelerin nasıl çalıştığını anlama konusunda bazı yeniliklerin kimyadan değil kuramsal fizikten geleceğini düşünüyor. Holly Goodson ise bunların bilgisayarlı modellemeden çıkmasını bekliyor. Hücre biyoloğu Franklin Harold, hücrelerin içindeki inanılmaz sayıdaki molekülün ait oldukları yerlere ulaşabilmesinin hâlâ yaşamın en büyük sırlarından biri olduğunu düşünüyor. Bitki fizyoloğu Tony Trewavas'a göre, tekhücreli bir organizmanın karmaşıklığı bile Aretha Franklin'in istediği şeyi hak ediyor: saygı.* "Tüm tekhücreli organizmalar, henüz bilmediğimiz veya anlamadığımız şekillerde birtakım şeyler yapabiliyor. Hâlâ ufak tefek ipuçları

* Aretha Franklin'in, "Tek istediğim şey birazcık saygı" sözlerini içeren "Respect" adlı şarkısına gönderme. – *y.n.*

buluyoruz. Bütün tabloyu tam olarak kavrayabileceğimizden emin değilim. Yanılıyor olabilirim ama bence orada anlayamadığımız şeyler oluyor. Etrafımızda gördüğümüz organizmalara biraz daha saygılı olmamız gerekiyor," diyor.

Albert Claude'un keşfettiği gibi, hücrelerimizin iç kısmı o bulanık sisin altında sadece enzim çorbasından ibaret değil. Hücreler birer şehir, devasa birer metropol. İçlerinde sıvı kadar katı madde de var; sadece tepkimeye giren moleküllerle değil, aynı zamanda makinelerle, koordineli hareketlerle, geribildirim döngüleriyle ve kısmen moleküler vatandaşların sürekli hareketi tarafından yönlendirilen kendi kendini düzelten süreçlerle dolu. New York kentindeki herkesin aynı anda sokakta olması ve caddelerde koşuşurken birbirine çarpması ve dirsek atması gibi bir nevi.

Elbette atomlarımız Dünya'ya ilk ulaştıklarında, kendi kendini idame ettiren devasa bir yaşam döngüsünün, hele de düşüncelerimizi, isteklerimizi, planlarımızı ve eylemlerimizi yaratan hücrelerimizdeki göz kamaştırıcı mekanizmaların parçası olacaklarından hiç haberleri yoktu.

Böylece sonunda hem bilimsel hem de felsefi açıdan en derin sorulardan birine ulaşıyoruz. Hücrelerimiz binbir türlü olağanüstü mekanizmayla dolu, peki ya biz? Artık içimizde neler olduğunu biliyoruz, ama sonuçta biz neyiz?

Sonuç

Ne Kadar da Uzun ve Acayip Bir Yolculuk Oldu

Bilim tam anlamıyla kavrandığı takdirde
gizemin, hayranlığın ve saygının sonu değil
başlangıcı olur.[1]

Frederick G. Donnan

BENİ BU KİTABI YAZMAYA sevk eden beyin fırtınasına şunu merak ederek başlamıştım: Tam olarak nelerden oluşuyoruz? Ve o şeyler nereden geliyor? Derine indikçe, öğrendiklerimin nasıl bir bütün oluşturacağını merak etmeye başladım. Büyük Patlama'dan yayılan tüm o parçacıklar ne yarattı? Fiziksel ve felsefi olarak neyiz biz? Bilim bize ne olduğumuz ve nihai kökenlerimiz hakkında ne söylüyor?

Buna cevap vermek sırf maddesel bir bakış açısıyla bile kolay değil. Gördüğümüz gibi, varlığımız üzerinde düşünebileceğimiz pek çok farklı düzey var. Biliminsanlarına nihai olarak nelerden oluştuğumuzu sorarsanız, birçok farklı yanıt alırsınız.

Bir bakıma, detaylarına akıl erdirilemeyecek kadar karmaşık olan harikulade biyolojik makineleriz biz. İçimizdeki tipik bir hücre, yüz trilyon kadar atomdan oluşan bir atom galaksisinden meydana geliyor. Şunu düşünün: Yüz trilyon banknotu üst üste koyacak olsanız, Ay ile Dünya arasındaki mesafenin yirmi beş katından daha yüksek olurdu. Her bir hücrenizde, her saniye yüz milyonlarca molekül zarlara girip çıkıyor. Binlerce gen açılıp kapatılıyor. Milyonlarca ribozom ve organel çalışıyor. Elektrik akımları dolaşıyor. Yüz binlerce, belki de milyonlarca motor dönüyor ve pompalar inip kalkıyor. Tüm bunlar sadece tek bir hücrede oluyor. Siz ise Samanyolu'ndaki yıldızların sayısının yaklaşık yüz katı kadar hücreden oluşuyorsunuz.[2]

Bir açıdan, biyokimyacı Peter Mitchell'ın gözlemlediği üzere, daha ziyade atomları sürekli değişen bir alev gibiyiz. Biz ölebiliriz ama atomlarımız ölmez. Kimyasal bir atlıkarıncada canlılığın, toprağın, okyanusların ve gökyüzünün içinde dönüp dolaşırlar. Jeolog Mike Russell, "Bizleri birer ürün olarak değil, birer işlemci olarak görüyorum," diyor. Hücre biyoloğu Franklin Harold da aynı fikirde. Hücrelerimizi, ancak tekerlekleri dönmeye devam ettiği sürece dik duran bisikletler gibi sürekli hareket halinde kalması gereken sistemler, düzenli örüntüler olarak görüyor.

Bir diğer temel düzeyde, Büyük Patlama ve yıldızların oluşturduğu elementlerin geçici birleşimlerinden başka bir şey değiliz. Nihayetinde periyodik tablodaki 132 kadar elementin yaklaşık 60'ından oluşuyoruz.

Fizikçiler daha da temel bir varlığımız olduğunu söylerdi, zira yetmiş oktilyon atomumuzu oluşturan daha küçük parçacıklar var: elektronlar, protonlar ve nötronlar. Ayrıca protonlar ile nötronlar da daha küçük parçacıklar olan kuarklardan ve gluonlardan oluşuyor. Bunların hepsi bir araya gelerek, bireysel potansiyellerini fazlasıyla aşan atomaltı parçacıkların devasa bir topluluğu yapıyor her birimizi.

Bunu yeterince acayip bulmadıysanız daha da derin bir fiziksel düzeye inebiliriz. Çoğu kuantum fizikçisine göre, temel parçacıklarımız uzaya nüfuz eden enerji alanlarının (kuantum alanlarının) lokalize uyarılmalarından ibaret aslında; dolayısıyla en küçük bileşenlerimizin aynı anda hem parçacık hem de dalga olduğunu söylüyorlar. Öyleyse biz de dahil olmak üzere tüm evren, dalgalanan enerji alanlarından oluşan iç içe geçmiş bir ağ demektir. Aydınlanmaya ulaştığınızı düşünüyor olmayabilirsiniz ama yine de bir bakıma hepimiz evrenle biriz.

Hâlâ başınız dönmediyse şunu düşünün. Atomlarınızın hacminin yaklaşık yüzde 99'unu temel parçacıklar arasındaki boşluk oluşturuyor. Fakat daha yakından incelendiğinde o boşluğun bile gerçekte hiçlik olmadığı görülüyor. Boşluk, sanal madde-antimadde çiftlerinin her an oluşup yok olduğu enerji alanları içeriyor.

Bir şekilde tüm o ufacık alanlar, dalgalar, parçacıklar ve atomlar bir araya gelerek –bütün zaaflarımızla– bizi oluşturuyor.

Biyokimyanın öncüsü Justus Liebig'in cüretkâr bir tutumla kimya çalışmalarına hayvanları dahil etmesinden yüz elli yıl sonra, artık insan vücudunun işleyişini açıklamak için esrarengiz bir "yaşam gücü"ne başvurmamıza gerek yok. Yine de birçok derin gizem varlığını sürdürüyor. En büyük güçlük, temel insani niteliklerimiz olan bilincimizin, maneviyatımızın, dilimizin ve düşünüşümüzün, atomlardan ve hücrelerden nasıl ortaya çıktığını açıklamak. Bir gülü koklamaktan duyduğumuz haz ya da Büyük Kanyon'a bakarken hissettiğimiz hayranlık gibi duygular, sadece kimyasal tepkimelerin, nanomakinelerin ve bilinen fizik kuvvetlerinin yaratımı mı? Bilim buna bir yanıt sunabilecek mi?

Bu konuda araştırmacıların büyük ölçüde ayrıştığını anladım. Atomlarımızın toplamı mıyız, yoksa bundan daha fazlası mıyız? Halihazırda bu tartışma geniş bir alanda sürüyor.

Kuarkın parlak kâşifi Murray Gell-Mann da dahil olmak üzere, pek çok biliminsanı keşfedilen temel parçacıkların ve fiziksel kuvvetlerin var olan tek şey olduğundan ve bunların nihai olarak her şeyi açıklayabileceğinden emin. Gell-Mann'ın dikiz aynasından geriye bakıldığında, evren başlangıçta "sıkışmış" bir enerji durumundaydı.[3] Genişledikçe evrenin genelindeki düzensizlik de arttı. Ama bir yandan da çok düzenli ufak bölgeler oluştu; işte canlılığı oralarda buluyoruz.

Oxford Üniversitesi'nden tanınmış fizikçi Roger Penrose'un da aralarında olduğu birkaç biliminsanı, beynimizdeki henüz keşfedilmemiş kuantum mekaniksel etkileşimlerin, bilinçli deneyimlerimizi günün birinde açıklayacağını umut ediyorlar. Bazı biliminsanları ise bilincin köklerini gün yüzüne çıkarabilmek için önce yeni bazı fiziksel fenomenlerin keşfedilmesi gerektiğine inanıyor.

Yaşamın kökenini araştıran kimyacı Günter Wächtershäuser, yaşamın kesinlikle okyanus tabanında başladığını düşünüyor. Fakat önceden patent avukatlığı yapmış olan Wächtershäuser, maddi dünyanın yanı sıra zihinsel bir dünyanın da olması gerektiğine inanıyor. Fikirlerimizin, kültürümüzün ve bizi insan yapan zihinsel icatlarımızın, fiziksel alandan bağımsız olarak var olduğundan kuşku duymuyor.

Uzayda organik moleküller olduğunu keşfeden Nobel ödüllü Charles Townes, o moleküllerin Dünya'ya ulaşmasının, canlılığın oluşmasına yardım etmiş olabileceği görüşündeydi. Ama diğer yandan evreni Tanrı'nın yarattığından ve muazzam bir incelikle ayarlanmış fizik yasalarıyla insanın ortaya çıkışını kaçınılmaz kıldığından da emindi. Büyük Patlama'yı ilk olarak akıl eden rahip ve evrenbilimci Georges Lemaître de benzer bir düşüncedeydi. İnsanın doğa hakkında bilgi edinmek için bilime, nasıl selamete erileceği hakkında bilgi edinmek içinse kutsal kitaba bakması gerektiğine inanıyordu.

Bazı yönlerden bilim ile din benzer temel insani ihtiyaçlara cevap veriyor. Hücre biyoloğu Franklin Harold bana şöyle dedi: "Bilimin asıl amacı dünyayı anlaşılır kılmaktır." Biz anlam verici varlıklarız; dünyanın gizemlerini açıklama ve onların ortasındaki yerimizi anlama arzusu doğuştan gelen bir parçamız.

Elbette bilim hiçbir zaman bütün sorularımızı yanıtlamayacak. Evren hakkında bilmediğimiz çok fazla şey var. Bilim henüz moleküllerimizin bilincimizi nasıl canlandırdığına dair tam bir açıklama sunamadığı gibi, evrenimizin neden var olduğunu da açıklayamıyor.

Ama bilim, bir başka büyük soruyu yanıtlayabiliyor.

Bilim bugünlere nasıl geldiğimizi *açıklayabiliyor*, en azından son 13,8 milyar yıl için. O başlangıç noktasından itibaren, atomlarımız aynı muazzam yolculuğu yaptı: Büyük Patlama ile başlayan hayranlık verici bir yolculuk.* İnsanlar da dahil olmak üzere bütün canlıları oluşturan maddenin kökeninde uzay-zamandaki aynı minik nokta var.

* Günümüzde biliminsanlarının "Büyük Patlama" ile neyi kastettiği bilimsel bir tartışma konusu. En azından evrendeki tüm maddenin başlangıçta inanılmaz küçük ve aşırı sıcak bir uzay-zaman hacmine sıkışmış olduğu ve patlamadan bu yana evrenin büyüyüp soğuduğu söylenebilir. Evrenin Einstein'ın denklemlerinin işaret ettiği şekilde uzay-zamanın var olmadığı kadar küçük bir nokta yani bir "tekillik" olarak başlayıp başlamadığı ise bilinmiyor. Böylesine olanaksız görünen bir durumdan kaçınmak için fizikçiler Büyük Patlama'dan önce var olabilecek şeylerle ilgili birçok kuram öne sürüyor. Mesela sürekli art arda genişleyip daralan, her seferinde bir Büyük Sekme (*Big Bounce*) ile döngüyü yineleyen bir evrende yaşıyor da olabiliriz. Ya da bir şekilde yenilerini doğuran çok sayıda evrenden birinde yaşıyor olabiliriz. Pek çok kuram var ama kesin kanıtlar yok.

Atomlarımız, çekim kuvvetiyle hidrojene dönüşen daha küçük atomaltı parçacıklar olarak doğdu. Ardından kütleçekim hidrojenleri dev yıldızlar haline getirdi ve atomaltı parçacıkların tepkimeleriyle karbon, oksijen ve öteki yaşamsal elementler oluştu. Moleküllerimiz soğuk ve karanlık uzayda bir süre yol aldıktan sonra, Güneş sistemimizi oluşturan devasa toz bulutuna sıkışıp kaldı. Yakınlarımızda çarpışan moleküller, bizi oluşturan elementlerin bolca bulunduğu kayalık ve sulak bir Dünya meydana getirdi. İnanılmaz çeşitlilikte uzun zincirler oluşturabilen yapışkan yapıtaşları aynı ortamda buluşunca, önce yeni molekül çeşitlerini, ardından kendi kendini idame ettiren hücreleri ve en sonunda da bizi var etti.

Gezegenimizde canlılığın ortaya çıkmasının kaçınılmaz olduğunu düşünen çok sayıda biliminsanı var. Alçakgönüllü olmamızı gerektiren pek çok nedenden biri bu; sandığımız kadar özel olmayabiliriz. Evrenimizin başka yerlerinde de canlılık olabilir; üstelik kozmik kardeşlerimizden bazıları bizden çok daha zeki olabilir.

Biz insanlar yeryüzünde muhteşem, yaratıcı bir hayat ağacının parçasıyız; bir kez filizlendikten sonra inatla tutunan ve durmadan değişen bir ağaç bu. Atomlarımızın yolculuk güzergâhı, en az 3,8 milyar yıl önceye dayanan kesintisiz bir organizmalar zinciriyle döşeli. Onların hikâyesini öğrenince, yaşamın çerçevesini belirleyen en eski bakteri akrabalarımıza borçlu olduklarımızı daha iyi anladım. En temel araçlarımızın çoğuna, mesela RNA, DNA, ATP, ribozomlar ve sodyum-potasyum pompaları gibi kullanışlı şeylere öncülük ettiler. Fotosentez yapan bakterilerin atmosferimize oksijen katmasıyla, bitkilerin havadan ve kayalardan molekül çekerek, bize besin olan şekerleri, proteinleri, yağları, vitaminleri ve mineralleri üretmeleri mümkün oldu.

Canlılığın gezegenimizi kökten değiştirdiğini hatırlamakta fayda var. Yaşam olmasa atmosferde neredeyse hiç oksijen olmazdı ve çok daha fazla karbondioksit olurdu. Fotosentezin havadan çektiği karbondioksit daha sonra fosil yakıtlara gömülü duruma geldi ya da toprakta ve bitkilerde depolandı. Yalıtımlayıcı bu gazın bir kısmı atmosfere geri salındığı zaman Dünya ısınır, tıpkı daha önceki birçok karbondioksit artışı olayında olduğu gibi.

Tüm yaşamın temelinde mikroorganizmaların olduğu gerçeği, Dünya'daki bütün diğer canlılarla derin bir bağımız olduğu anlamına geliyor. Biz tekhücreli canlılardan geldik ve en küçük hücrenin bile saygıyı hak eden inanılmaz bir varlık olduğunu artık daha iyi anlıyorum. Aslında bir açıdan, mikrop atalarımızla epey ortak yanımız var; hepimiz aynı temanın çeşitlemeleri gibiyiz. Lynn Margulis'in belirtmekten hoşlandığı gibi, bizler sonuçta devasa mikrop kolonileriyiz.

Ama yine de sadece bundan ibaret değiliz. Yıldızlardan gelmiş olan atomlar içimizde yüzlerce çeşit özelleşmiş hücre oluşturuyor. Onlar da hiçbir bakterinin yapamayacağı yollarla birbirleriyle iletişim kurup işbirliği yapıyor; bu sayede maneviyat ya da evrenin doğası gibi konuları tartışabiliyoruz.

Bir zamanlar uzaydan kaotik bir şekilde buraya ulaşan atomlarımızın, artık zamanda geriye bakıp kendi yolculuklarını çıkarsaması, evrenimizle ilgili kayda değer bir gerçek. Başka bir deyişle, kimyasal ve biyolojik evrim sonucu belirmiş kendini kopyalayabilen bir varlık olan insan, artık dünyayı "görebiliyor", araştırabiliyor ve kendisini oluşturan moleküllerin kökenini ve yolculuklarını inceleyebiliyor. Carl Sagan'ın ifadesiyle, "Bizler kozmosun kendini bilmesinin bir yoluyuz".[4] Nasıl oldu da bu kadar çok şey öğrenebildik, o kadar eski zamanlara, hatta zamanın başlangıcına bakış atabildik?

Bu kavrayış, araç değil amaç olarak bilgiye derin bir arzu duyan sayısız araştırmacının yılmazlığının ve azminin kanıtıdır. Radikal keşifler yapan kimi araştırmacılar içine kapanık kişilerdi. Birçoğunun yaşamı zorlu koşullarda başlamıştı. Aralarında liseden atılıp kendi kendini yetiştirdikten sonra üniversiteye girenler de vardı.

Dünyamızı anlamanın getirdiği o tatmin duygusu ve yeni bir keşif yapan ilk kişi olmanın verdiği o heyecan, insanlık tarihi boyunca güçlü bir motivasyon olageldi. ATP sentaz enziminin karmaşık moleküler yapısını çözen Sir John Walker, bunu Winston Churchill'in şu sözüyle özetliyor: "Başarı, insanın şevkini kaybetmeden başarısızlıktan başarısızlığa koşmasıyla yakalanır."

Evrenimizin yapısının, kâğıt üzerine denklemler karalayan matematikçilerin ve fizikçilerin önceden keşfettiği örüntülerle uyumlu ol-

ması biliminsanlarına çok yardımcı oldu. Örneğin Einstein'ın genel görelilik kuramı, Büyük Patlama'nın anlaşılmasını sağladı ve sonradan da gözlemlerle doğrulandı. Kuantum mekaniği ve geometri, Murray Gell-Mann'ın kuarkların ve gluonların varlığını tahmin etmesini sağladı. Evrenimizin yapısı, insanların zihinlerinde türettiği matematikle pek çok yönden uyumlu.

Zamanın örtüsünü kaldırıp o kadar geriye bakabilmemizi sağlayan etkenlerden biri de duyularımızın çok keskin ve son derece ince ayarlı olması. Gözlerimiz, bir toz zerresinden on milyon kat küçük parçacıklar olan ışık fotonlarından sadece birkaçını bile tespit etme kapasitesine sahip. Gece hiç bulut olmadığında, çıplak gözle Samanyolu'na en yakın galaksi olan Andromeda'yı görebiliyoruz. O fotonlar 2,5 milyon yıl önce o uzak galaksiden bize doğru yola çıkmıştı. Duyularımız ve onların kapasitesini artıran cihazlarımız, kendimizden çok ama çok daha küçük olan atomları, parçacıkları ve dalgaları saptamamızı sağlıyor. Kullandığımız cihazlar sayesinde görünür ışıktan, X ışınlarından, mikrodalgalardan ve elektromanyetik ışınımın öteki dalga boylarından, hatta görünmez atomaltı parçacıkların izlerinden inanılmaz miktarda bilgi edindik.

Elbette zihnimizin o parlak ve etkileyici muhakeme gücü –örüntüleri fark etme, saptamalarımızdan mantıklı çıkarımlar yapma ve kanıtları izleyerek yol alma yetimiz– olmadan kadim yolculuklarımızı asla zihnimizde canlandıramazdık.

Fakat bu açıdan mükemmel olduğumuz söylenemez. Gördüğümüz gibi, biliminsanları da sonuçta insan. Hırsları ve egoları var. Rekabetler ve kişisel çıkarlar, tıpkı hepimiz gibi, onların da olaylara bakışına gölge düşürebiliyor.

Bir de bilişsel önyargılara yenik düşebiliyoruz; hiçbirimiz onlardan kaçamıyor. İktisatçı Pierre Cremieux'nün işaret ettiği gibi, inekkuşları yumurtalarını diğer kuşların yuvalarına bırakıyor çünkü yuva sahiplerinin bilişsel bir önyargıya sahip olduğunu biliyorlar: Yuvalarında bulunan her yumurtanın kendilerine ait olduğunu varsayıyorlar. Benzer şekilde, biz de her gece "Acaba sabah güneş doğacak mı" düşüncesiyle yatağa girmiyoruz. Eğer sürekli her şeyi sorgulasaydık, hiçbir şeyi varsaymasaydık, kıpırdayamaz olurduk. Herkese olduğu

gibi biliminsanlarına da bilişsel önyargılar yararlı kısayollar sağlıyor. Eğer bir biliminsanı önceki çalışmaları kaale almazsa, çalıştığı alandaki uzmanların çoğunlukla haklı olduğunu varsaymazsa, üretken olması çok zordur.

Ama önyargıların bir bedeli var. Varsayımlarınızı sürekli kontrol etmezseniz, "basit" DNA'nın o kadar da basit olmayabileceği ihtimalini gözden kaçırabilirsiniz. Hepimizin yenik düştüğü bilişsel önyargıların ötesinde, bu hikâyede gördük ki biliminsanları radikal bilimsel keşiflerle (ya da onlara dair bariz ipuçlarıyla) karşılaştıklarında, bazı önyargılar koca bir camiayı defalarca yanlış yola itmiş – "Gerçek Olamayacak Kadar Tuhaf" önyargısı veya "Bir Uzman Olarak, Hâlâ Bilinmeyen Ne Kadar Çok Şey Olduğunu Gözden Kaçırıyorum" önyargısı gibi.

Radikal keşifler yapan birçok araştırmacının son derece bağımsız ruhlu, alaylara ve küçümsemelere rağmen kendi yollarına gitmeye istekli kişiler olması şaşırtıcı değil.

Biliminsanlarının en başarılı olduğu zamanlar, test edilebilir hipotezler ortaya attıkları zamanların yanı sıra, neyin bilindiğini, neyin muhtemel göründüğünü ve neyin (ne kadar saçma gelirse gelsin) mümkün olduğunu ayırt edebildikleri zamanlardır. Bilim tarihi, kıdemli kişilerin azametle ilan ettiği bazı şeylerin, kısa süre sonra doğru olmadığının anlaşılmasının örnekleriyle doludur. Eskiden evrenbilimciler evrenin kesinlikle genişlemediği ve hep var olmuş olduğu iddiasındaydı. Fizikçiler elektron, proton ve nötrondan oluşan temel üçlüden daha küçük hiçbir şey olamayacağından emindi. Saygın astronomlar, yıldızlar ile gezegenlerin aynı bileşime sahip olduğu ve organik moleküllerin uzayda asla sağlam kalamayacağı konusunda hemfikirdi. Biyologlara göre okyanusun derinliklerinde yaşamın var olması olanaksızdı. Önde gelen paleontologlar, 500 milyon yıldan daha eski tarihli fosil bulunamayacağını ilan etmişti. Bitkiler kesinlikle iletişim kuramaz, kimya katiyen canlılığı açıklayamaz ve DNA asla kalıtımı aktaramazdı.

Bilimin merkezinde, bilişsel önyargılar ile onlara meydan okuma isteğimiz arasındaki karşılıklı etkileşim yer alıyor. Bu da bilimin inişli çıkışlı da olsa ilerlemesini sağlıyor. İronik ama yeni fikirleri red-

detme dürtüsü de –çoğu zaman bilimin hızını kesse bile– bir kuvvet aslında. Biliminsanlarının işi kalıpların dışında düşünüp, yeni ve çoğunun yanlış olduğu sonradan kanıtlanacak olan kuramlar üretmektir. Yeni kuramları ciddiyetle inceleyen ve o kuramları ortaya atan kişileri olası her türlü hata kaynağının saf dışı bırakıldığını göstermeye zorlayan araştırmacılar olmasa, ilerleme sağlanamazdı. Hayal gücünün, yoğun kuşkuculuğun ve entelektüel dürüstlüğün bir arada olması gerekir. Yoksa araştırmacılar sağlam bilimsel çalışmaları sağlam olmayanlardan ayıklayamaz, ilerleme de çok az olurdu. Daha geniş bir çerçeveden bakıldığında, görüşleri doğru çıkanların yanlış çıkanlara çok şey borçlu olduğu olduğu söylenebilir.

Bu kitaba, üzerinde siyah papaz cüppesiyle Katolik rahip Georges Lemaître'in, Büyük Patlama olarak anılacak kuramının özünü şaşkın bir izleyici kitlesine sunmasıyla başladık. Lemaître'in esrarengiz konuşmasına rağmen, katılımcıların o gün kutlayacak çok şeyi vardı. Sene 1931'di ve Britanya Bilimi İlerletme Derneği'nin yüzüncü yıldönümü dolayısıyla orada bulunuyorlardı. Derneğin kuruluşundan itibaren geçen yüz yıllık zaman zarfında, biyologlar evrimin muazzam gücünü keşfetmişti. Jeologlar gezegenimizin kadim zamanlarda geçirdiği büyük dönüşümleri ortaya çıkarmıştı. Fizikçiler elektronları ve protonları saptamıştı. Kimyacılar atomların nasıl bağlandığına ilişkin ayrıntıları öğreniyordu. Evrenbilimciler ise evrenimizin akıl almaz ölçüde geniş olduğunu ve hatta hâlâ genişlediğini keşfetmişlerdi, ki bu tuhaf olgu onu keşfeden Lemaître'in kendisini de hayrete düşürmüştü.

Derneğin yüzüncü yıl kutlamaları çerçevesinde, Birmingham piskoposu Ernest Barnes, Liverpool Katedrali'nde geniş bir dinleyici kitlesine anma vaazı verdi. "Tüm bu bilimsel ilerleme ... tablosundaki en şaşırtıcı gerçek," dedi Barnes, "insanın ta kendisidir. Modern astronom binlerce milyon yıl çerçevesinde düşünür, halbuki kendisi ancak yetmiş yıl yaşar. Zihni tüm uzayı kapsar: Düşüncede binlerce, milyonlarca, milyarlarca kilometrelik mesafelere uzanır ama ebedi istirahatgâhı iki metrelik bir yer olur."

O gün Barnes, artık benim de paylaştığım bir duyguyu dile getirmişti. Bu kitabı yazmak, benim için sürekli bir merak, şaşkınlık, coşku ve şükran kaynağı oldu. Evrende keşfettiğimiz fiziksel kuvvetlerin, buraya nasıl geldiğimizi açıklamak için gereken tek şey olduğunu bir şekilde öğrenmiş olsak bile, hayatın anlamsızlığı düşüncesiyle karamsarlığa veya umutsuzluğa kapılmamız gerekmez. Evrenimizin doğası karşısında hayranlık ve şükran duymak için daima sayısız nedenimiz var.

Ben bu kitabı bitirmek üzereyken, annem doksan üç yaşında öldü. Küllerini Cambridge, Massachusetts'teki güzel bir mezarlığa gömdük. Hemen öncesinde, küllerinin bulunduğu küçük oymalı ahşap kutuyu elimde tutuyordum; bir ayakkabı kutusundan daha küçüktü. Onu bu kadar sevilesi bir insan yapan atomların yalnızca yüzde birkaçını temsil ediyordu. Yine de onlara minnettar olduğumu hissettim. Elimde tuttuğum o atomlar yolculuklarına Büyük Patlama ile başlamıştı. Ona hayat verebilmek için birçok sıkıntıya katlanmışlardı. O atomlar yıllarca toprakta kalacak ve sonra özgürleşecekler; belki de başka bir yaşamın parçası olacaklar, ister bir çimen, ister bir kuş olsun. Peki o nerede? En azından benim kalbimde. Ve aklımda. Nefes almaya devam ettiğim sürece onunla ilişkim asla ölmeyecek. Diğer insanları tutkulu bir şekilde savunan ve seven onun gibi bir insanı yaratabilen evrenin karmaşıklığı, el üstünde tutulması gereken bir güzellik. Şimdi bunları yazarken kederliyim. Ama ailem ve arkadaşlarım onun hayatını sevgiyle anarken, ben aynı zamanda içinde yaşadığımız dünyaya şükran duyuyorum.

Atomlarımızın yolculuklarının izini sürmek, dünyaya yeni bir gözle bakıp kıymetini takdir etmektir.

—

Teşekkür

BU KİTABA BAŞLARKEN, böylesine geniş kapsamlı bir hikâyeyi nasıl anlatabileceğimi düşünüyordum. Çok sayıda biliminsanının, arkadaşın, aile fertlerinin ve destek veren diğer kişilerin cömert yardımları olmasaydı, bu mümkün olmazdı.

Öncelikle, William Morris Endeavor'daki temsilcim Suzanne Gluck'a çok şey borçluyum; en başından itibaren bu kitabın umut vaat eden bir proje olduğunu düşünmüştü. Ona ne kadar minnettar olduğumu anlatamam. Harika editörüm Noah Eaker da aynı derecede hevesliydi ve kitaba –ancak İngiliz dili okumuş birinden gelebilecek sorular sorarak ve başka birçok açıdan– büyük katkısı dokundu. Keskin gözlü kopya editörü Gary Stimeling, yardımcı editör Edie Astley ve WME'den Andrea Blatt'ın aralarında olduğu diğer arkadaşların da kitabın yayıma hazırlanmasında büyük yardımları oldu. Ayrıca birçok önerisi için Meghan Hauser'a ve baştan sona bilgece öğütler verip çok ihtiyaç duyduğum teşviği sunan Toby Lester'a da teşekkür ederim.

Bu kitabın araştırma ve yazım süreçleri için cömert bir bağışta bulunan Doron Weber'a ve Alfred P. Sloan Vakfı'na minnettarım.

Bu kadar farklı konulardaki bilimsel kuramların girdilerini çıktılarını takip edebilmek, en hafif tabirle zorlayıcıydı. Bazı şeyleri kavramama nazikçe yardım eden pek çok biliminsanı ve tarihçi olmasaydı, kaybolup giderdim: František Baluška, Janet Braam, Ted Bergin, Lawrence Brody, Don Caspar, Thomas Cech, James Collins, Kent Condie, Dale Cruikshank, Brian Fields, Simon Gilroy, Owen Gingerich, Alfred Goldberg, Stjepko Golubic, Douglas Green, Linda Hirst , Nicholas Hud, Joe Kirschvink, Keith Kvenvolden, Jack Lissauer, Nick Lane, Avi Loeb, Steven Long, Tim Lyons, Simone Marchi, Jim Mauseth, Jay Melosh, Carol Moberg, Alessandro Morbidelli, Wayne Nicholson, Rob Phillips, Jonathan Rosner, Dave Rubie, Mike Russell, Kim Sharp, Fred Spiegal, Paul Steinhardt, Tony Tre-

wavas, John Valley, Elizabeth Van Volkenburgh, Günter Wächtershäuser ve Jack Welch.

Benimle konuşmalarına ek olarak, onca işleri arasında zaman ayırıp kitabın ilk taslağının bazı bölümleri hakkında yorum yapan biliminsanlarına da teşekkür boçluyum: John Archibald, Alisa Bokulich, Peter Bokulich, David Catling, Frank Close, George Cody, Gerald Combs, Jr., Don Davis, David Devorkin, Holly Goodson, Govindjee, Franklin Harold, Dave Jewitt, Paul Kenrick, Andy Knoll, Simon Mitton, Hans-Jörg Rheinberger, William Schopf, Jack Schultz, Thomas Sharkey, Ruth Lewin Sime, Martha Stampfer, Christopher T. Walsh ve Martin Wuhr. Ayrıca Conel Alexander, Lynn DiBenedetto, Daniel Kirschner ve Anna Sajina'ya da içten teşekkürlerimi sunuyorum: Muazzam yardımlarınız dokundu ve beni düşünmek istemeyeceğim yanlışlardan kurtardınız. Geriye kalan tüm hatalar elbette bana ait.

Yoldan sapmamamı sağlayan ve son derece samimi yorumlarda bulunan arkadaşlarıma: Bu kitabın yazımını çok daha eğlenceli hale getirdiniz! Larry Braman, Isabel Bradburn, Anne Braude, Steve Collier, Pierre Cremieux, Polly Farnham, Marc Freedman, Jennifer Gilbert, Alex Hoffinger, John Jelesko ve Tse Wei Lim'e kocaman teşekkürler. Harika okurlar olmakla kalmayıp, aynı zamanda bitmek bilmeyen destekleri ve zarif önerileriyle bu kitabı birçok farklı düzeyde daha iyi hale getiren Georgann Kane, Megan McCarthy ve Carol Thomson'a özel bir teşekkür borçluyum.

Yedi yaşındayken bana kimya seti hediye ederek, erken yaştan itibaren içimde bilim sevgisinin uyanmasını sağlayan annem Lore ve babam Dave'e özellikle minnettarım. Harika bir okur olan babam Dave de taslaktaki bazı bilgilerin doğruluğunu kontrol etti. Çocuklarım Eli ve Zoe, her fırsatta kitap hakkında gevezelik ettiğimde bana karşı fazlasıyla sabırlı davrandılar, fikir ve yardımlarını esirgemediler. Ve son olarak, en ferasetli okurlarımdan biri olan harika eşim Ariadne'nin teşviki ve sevgisi olmasaydı bu kitabı asla yazamazdım. Ona –ve yedi milyar kentilyon atomuna– çok şey borçluyum ve sonsuza dek minnettar kalacağım.

Notlar

Giriş: Hesabınızda 1942,29 Dolar Var

1. Sender, Fuchs ve Milo, "Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body", 9.
2. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 68.
3. Blatner, *Spectrums*, 20.
4. İnsan vücudundaki elementlerin değerine ilişkin hesaplamalar büyük farklılıklar gösteriyor. 1942,29 dolar şu şekilde hesaplandı: Vücuttaki her bir elementin kütlesi, John Emsley'nin *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements* (Doğanın Yapı Taşları: A-Z'ye Elementler Rehberi) adlı kitabından alındı. Her bir elementin maliyeti ise *Chemicool.com* web sitesinden alındı. Elbette gerçek maliyetler, örneğin suyu sıfırdan mı yapmayı yoksa süpermarketten satın mı almayı planladığınıza bağlı olarak değişir.

1. Doğum Gününüz Kutlu Olsun: Zamanın Başlangıcını Keşfeden Papaz

1. Shaw, *Annajanska, the Bolshevik Empress*, 139.
2. *The Times*, "The British Association: Evolution of the Universe".
3. Lemaître, "Contributions to a British Association Discussion on the Evolution of the Universe", 706.
4. Barnes, "Contributions to a British Association Discussion on the Evolution of the Universe", 722.
5. Mitton, "The Expanding Universe of Georges Lemaître", 28.
6. Mitton, "Georges Lemaître and the Foundations of Big Bang Cosmology", 4.
7. Deprit, "Monsignor Georges Lemaître", 365.
8. Deprit, "Monsignor", 366.
9. Lambert, *The Atom of the Universe: The Life and Work of Georges Lemaître*, 56-57.
10. Lambert, "Georges Lemaître: The Priest Who Invented the Big Bang", 11.
11. Aikman, "Lemaitre Follows Two Paths to Truth".
12. Lambert, "Georges Lemaître", 16.
13. Kragh, "'The Wildest Speculation of All': Lemaître and the Primeval-Atom Universe", 24.
14. *New York Times*, "Finds Spiral Nebulae Are Stellar Systems: Dr. Hubbell [sic] Confirms View That They Are 'Island Universes' Similar to Our Own".
15. Mitton, "The Expanding Universe", 29-30.

16. Galaksiler arasındaki boş uzay genişlese de galaksilerin kendileri ve içlerindeki madde genişlemez. Bunun nedeni, galaksilerdeki madde kümeleri arasındaki çekim kuvvetinin, uzayı ve galaksileri birbirinden ayıran kuvvetten çok daha güçlü olmasıdır.
17. Kragh, "'The Wildest Speculation'", 34.
18. Lambert, "Einstein and Lemaître: Two Friends, Two Cosmologies".
19. Frenkel ve Grib, "Einstein, Friedmann, Lemaître", 13.
20. Deprit, "Monsignor", 370.
21. Lemaître, "My Encounters with A. Einstein".
22. Farrell, *The Day without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology,* 97.
23. Lemaître, "Contributions", 706.
24. Lemaître, *The Primeval Atom: An Essay on Cosmogony*, 78.
25. DeVorkin, Bart Bok ile AIP sözlü tarih röportajı.
26. Menzel, "Blast of Giant Atom Created Our Universe".
27. Kragh, "'The Wildest Speculation'", 35-36.
28. Godart, "The Scientific Work of Georges Lemaître", 395.
29. Akt. Lambert, "Georges Lemaître", 16.
30. Aikman, "Lemaitre Follows".
31. O'Raifeartaigh ve Mitton, "Interrogating the Legend of Einstein's 'Biggest Blunder'". Bazı tarihçiler Einstein'ın bunu gerçekten söyleyip söylemediğini sorgulasa da söylediğine inananlar var.
32. Aikman, "Lemaitre Follows".
33. Lemaître, *The Primeval Atom*, vi.
34. Cooper, *Origins of the Universe.*
35. Lambert, "Georges Lemaître", 17.
36. Yazarın Avi Loeb ile röportajı, *Harvard Smithsonian*, Ağustos 2018.
37. Webb, "Listening for Gravitational Waves from the Birth of the Universe".

2. "Ne Tuhaf": Gözün Asla Göremeyeceği Şeyler

1. Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, 30-31.
2. Blackmore, *Ernst Mach*, 321.
3. Close, *Particle Physics: A Very Short Introduction*, 14.
4. De Angelis, "Atmospheric Ionization and Cosmic Rays", 3.
5. Gbur, "Paris: City of Lights and Cosmic Rays".
6. Bertolotti, *Celestial Messengers: Cosmic Rays: The Story of a Scientific Adventure*, 36.
7. Kraus, "A Strange Radiation from Above", 20.
8. Hess'in anlatısının bir kısmının İngilizce çevirisi için bkz. Steinmaurer, "Erinnerungen an V. F. Hess, Den Entdecker der Kosmischen Strahlung, und an Die ersten Jahre des Betriebes des Hafelekar-Labors".
9. "The *Zenith* Tragedy"; Oliveira, "Martyrs Made in the Sky".
10. Ziegler, "Technology and the Process of Scientific Discovery", 950.

11. Walter, "From the Discovery of Radioactivity to the First Accelerator Experiments", 28.
12. De Maria, Ianniello ve Russo, "The Discovery of Cosmic Rays", 178.
13. Akt. *Nobel Lectures Physics: Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies, 1922-1941*, 215.
14. Pais, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*, 38.
15. İki yıl sonra J. J. Thomson, cam tüpün içindeki katot "ışınlarının" aslında elektron akışları olduğunu keşfedecekti.
16. Pais, *Inward Bound*, 39.
17. Crowther, *Scientific Types*, 38.
18. "Wilson of the Cloud Chamber" adlı BBC belgeselinde Wilson ile yapılan röportajdan.
19. *Nobel Lectures Physics*, 216.
20. Anderson, *The Discovery*, 25-26.
21. Anderson, *The Discovery*, 29-30.
22. Hanson, "Discovering the Positron (I)", 199.
23. Sundermier, "The Particle Physics of You".
24. Close, Marten ve Sutton, *The Particle Odyssey: A Journey to the Heart of Matter*, 69.
25. Rentetzi, *Trafficking Materials and Gendered Experimental Practices*, 2; Miklós, "Seriously Scary Radioactive Products from the 20th Century".
26. Sime, "Marietta Blau: Pioneer of Photographic Nuclear Emulsions and Particle Physics", 7.
27. Rentetzi, Leopold Halpern ile AIP sözlü tarih röportajı.
28. Rentetzi, Leopold Halpern ile AIP sözlü tarih röportajı.
29. Galison, "Marietta Blau: Between Nazis and Nuclei", 44.
30. Sime, "Marietta Blau", 14.
31. Rosner ve Strohmaier, *Marietta Blau, Stars of Disintegration*, 159.
32. Rentetzi, "Blau, Marietta", 301.
33. Rentetzi, Leopold Halpern ile AIP sözlü tarih röportajı.
34. Rentetzi, Leopold Halpern ile AIP sözlü tarih röportajı.
35. Plumb, "Brookhaven Cosmotron Achieves the Miracle of Changing Energy Back into Matter".
36. Close, Marten ve Sutton, *The Particle Odyssey*, 13.
37. Riordan, *The Hunting of the Quark: A True Story of Modern Physics*, 69.
38. Akt. Riordan, *The Hunting*, 69.
39. Johnson, *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*, 35.
40. Glashow, "Book Review of Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics", 582.
41. Bernstein, *A Palette of Particles*, 95.
42. Johnson, *Strange Beauty*, 194.
43. Johnson, *Strange Beauty*, 208.
44. Crease ve Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-*

Century Physics, 275.
45. Johnson, *Strange Beauty*, 217.
46. Riordan, *The Hunting*, 101.
47. Crease ve Mann, *The Second Creation*, 281.
48. Johnson, *Strange Beauty*, 283-84.
49. Crease ve Mann, *The Second Creation*, 284.
50. Charitos, "Interview with George Zweig".
51. Zweig, "Origin of the Quark Model", 36.
52. Butterworth, "How Big Is a Quark?"
53. Sullivan, "Subatomic Tests Suggest a New Layer of Matter".
54. Chu, "Physicists Calculate Proton's Pressure Distribution for First Time".
55. Sundermier, "The Particle Physics of You".
56. Cottrell, *Matter: A Very Short Introduction*, 127.

3. Harvard'ın En Başarılı Adamı: Yıldızları Görme Şeklimizi Değiştiren Kadın

1. Hoyle, *Home Is Where the Wind Blows: Chapters from a Cosmologist's Life*, 154.
2. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin: An Autobiography and Other Recollections*, 124.
3. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 97.
4. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 98.
5. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 102.
6. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 117-18.
7. Gingerich, Cecilia Payne-Gaposchkin ile AIP sözlü tarih röportajı.
8. Moore, *What Stars Are Made Of: The Life of Cecilia Payne-Gaposchkin*, 172.
9. Yazarın Owen Gingerich ile röportajı, Harvard Üniversitesi, Şubat 2018.
10. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 163.
11. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 165.
12. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 19.
13. Gingerich, "The Most Brilliant Ph.D. Thesis Ever Written in Astronomy", 11.
14. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 201.
15. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 5.
16. Moore, *What Stars Are Made Of*, 183.
17. DeVorkin, *Henry Norris Russell: Dean of American Astronomers*, 213-16; Gingerich, "The Most Brilliant Ph.D. Thesis Ever Written in Astronomy", 13-14.
18. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 184.
19. Payne-Gaposchkin, *Cecilia Payne-Gaposchkin*, 26.
20. Hoyle, *The Small World of Fred Hoyle: An Autobiography*, 72.
21. Hoyle, *The Small World*, 64.
22. Couper ve Henbest, *The History of Astronomy*, 217.
23. Martin Rees, akt. Livio, *Brilliant Blunders: From Darwin to Einstein – Colossal Mistakes by Great Scientists That Changed Our Understanding of Life and the Universe*, 219.

24. Livio, *Brilliant Blunders*, 180.
25. Hoyle, *Home Is Where*, 150.
26. Mitton, *Fred Hoyle: A Life in Science*, 99.
27. Mitton, *Fred Hoyle*, 104-5.
28. Gregory, *Fred Hoyle's Universe*, 31.
29. Hoyle, *Home Is Where*, 229.
30. Hoyle, *Home Is Where*, 230.
31. Mitton, *Fred Hoyle*, 200.
32. Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, 111.
33. Weiner, William Fowler ile AIP sözlü tarih röportajı.
34. Hoyle, *Home Is Where*, 265.
35. Hoyle, *Home Is Where the Wind Blows* (Rüzgârın Estiği Yerdir Yuva) kitabında bekleyişin on gün sürdüğünü belirtir ama biyografisini yazan Simon Mitton'a göre Hoyle sonuçlardan birkaç ay sonra haberdar olmuştur.
36. Emsley, *Nature's Building Blocks*, 112.
37. Atom numarası 92 olan uranyum, Dünya'da doğal olarak bulunan en ağır elementtir.
38. Gribbin ve Gribbin, *Stardust: Supernovae and Life – the Cosmic Connection*, 156.
39. Burbidge, "Sir Fred Hoyle 24 June 1915: 20 August 2001", 225.
40. Hoyle, *Home Is Where*, 296-97.
41. "The Sun", NASA, https://www.nasa.gov/sun.
42. Horgan, "Remembering Big Bang Basher Fred Hoyle".

4. Şükredilecek Felaketler: Kütleçekim ve Tozla Bir Dünya Yaratmak

1. Haldane, *Possible Worlds*, 286.
2. Wetherill, "The Formation of the Earth from Planetesimals", 174.
3. Burns, Lissauer, Makalkin, "Victor Sergeyevich Safronov (1917-1999)".
4. Rus Bilimler Akademisi Dünya Fiziği Enstitüsü'nden Andrei Makalkin'in yazara gönderdiği e-posta, Mayıs 2018.
5. Yazarın, eski lisansüstü öğrencisi astronom Dale Cruikshank ile yaptığı röportaj, NASA Ames Araştırma Merkezi, Mayıs 2018.
6. Wetherill, "Contemplation of Things Past", 17.
7. Wetherill, "Contemplation", 19.
8. Hazen, *The Story of Earth: The First 4.5 Billion Years, from Stardust to Living Planet*, 45.
9. Fisher, "Birth of the Moon", 63.
10. Wetherill, "Contemplation", 18.
11. Gribbin, *The Scientists*, 68.
12. Hockey ve diğ., "Gilbert, William".
13. Cooper, "Letter from the Space Center", 50. Cooper bu hikâyeyi bir dizi *New Yorker* makalesinde ve *Apollo on the Moon* (Apollo Ay'da) kitabında çok güzel anlatmıştır.

14. Compton, *Where No Man Has Gone Before*, 52.
15. Wilford, "Moon Rocks Go to Houston; Studies to Begin Today: Lunar Rocks and Soil Are Flown to Houston Lab".
16. Corfield, "One Giant Leap", 50.
17. Powell, "To a Rocky Moon", 200.
18. Eyles, "Tales from the Lunar Module Guidance Computer".
19. Wagener, *One Giant Leap*, 182.
20. Portree, "The Eagle Has Crashed (1966)".
21. King, *Moon Trip: A Personal Account of the Apollo Program and Its Science*, 92.
22. Wilford, "Moon Rocks".
23. Wilford, "Moon Rocks".
24. King, *Moon Trip*, 101.
25. West, "Moon Rocks Go to Experts on Friday".
26. Weaver, "What the Moon Rocks Tell Us".
27. Yazarın Bill Schopf ile röportajı, UCLA, Temmuz 2019.
28. Cooper, *Apollo on the Moon*, 96-99.
29. Marvin, "Gerald J. Wasserburg", 186.
30. Hammond, *A Passion to Know: 20 Profiles in Science*, 52-53.
31. Wolchover, "Geological Explorers Discover a Passage to Earth's Dark Age".
32. Tera, Papanastassiou, Wasserburg, "A Lunar Cataclysm at ~3.95 AE and the Structure of the Lunar Crust", 725.
33. Laskar ve Gastineau, "Existence of Collisional Trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth".
34. *Miracle Planet*'ın 2005 tarihli *The Violent Past* belgeselinde Brown Üniversitesi'nden Peter Schultz ile yapılan röportaj.

5. Tozlu Kartopları ve Uzay Kayaları: Tüm Zamanların En Büyük Tufanı

1. Eiseley, *The Immense Journey*, 15.
2. Lovelock, "Hands Up for the Gaia Hypothesis", 102.
3. LaCapra, "Bird, Plane, Bacteria?"
4. Eğer kan damarlarınızı (hücrelerinize su taşıyan iç nehirleriniz ve akarsularınız) uç uca eklerseniz, uzunlukları yerkürenin çevresinin yaklaşık iki katı kadar olur. Sender, Fuchs, Milo, "Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body", 7.
5. Krulwich, "Born Wet, Human Babies Are 75 Percent Water: Then Comes the Drying".
6. USDA FoodData Central web sitesi.
7. Aitkenhead, Smith, Rowbotham, *Textbook of Anaesthesia*, 417.
8. Emsley, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, 228.
9. Hoffmann, *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*, 116.
10. Ashcroft, *The Spark of Life: Electricity in the Human Body*, 56.

11. Adan, "Cognitive Performance and Dehydration", 73.
12. Von Braun, Whipple, Ley, *Conquest of the Moon.*
13. DeVorkin, Fred Whipple ile AIP sözlü tarih röportajı.
14. Marsden, "Fred Lawrence Whipple (1906-2004)", 1452.
15. Whipple, "Of Comets and Meteors", 728.
16. Marvin, "Fred L. Whipple", A199.
17. Marsden, "Fred Lawrence Whipple (1906-2004)", 1452.
18. DeVorkin, Fred Whipple ile AIP sözlü tarih röportajı.
19. Hughes, "Fred L. Whipple 1906-2004", 6.35.
20. Levy, *David Levy's Guide to Observing and Discovering Comets*, 26.
21. DeVorkin, Fred Whipple ile AIP sözlü tarih röportajı.
22. Whipple, "Of Comets and Meteors", 728.
23. DeVorkin, Fred Whipple ile AIP sözlü tarih röportajı.
24. Calder, *Giotto to the Comets*, 38.
25. Cowan, "Scientists Uncover First Direct Evidence of Water in Halley's Comet: New Way to Study Comets Will Help Yield Clues to Solar System's Origin".
26. Levy, *The Quest for Comets*, 70.
27. Akt. Markham, "European Spacecraft Grazes Comet".
28. Calder, *Giotto*, 107.
29. Calder, *Giotto*, 110.
30. Calder, *Giotto*, 112.
31. Calder, *Giotto*, 130.
32. Yazarın Dave Jewitt ile röpotajı, UCLA, Ocak 2018.
33. Couper ve Henbest, *The History of Astronomy*, 196.
34. Harder, "Water for the Rock", 184.
35. Morbidelli ve diğ., "Source Regions and Timescales for the Delivery of Water to the Earth".
36. Righter ve diğ., "Michael J. Drake (1946-2011)".
37. National Geographic Channel'ın *Birth of the Oceans* belgeselindeki Drake röportajı.
38. Jewitt ve Young, "Oceans from the Skies"; yazarın David Rubie ile söyleşisi, Universitaet Bayreuth, Şubat 2021.
39. Kunzig, *Mapping the Deep: The Extraordinary Story of Ocean Science*, 17-18.
40. Yazarın John Valley ile röportajı, Wisconsin-Madison Üniversitesi, Haziran 2018.
41. Hart, *Gold*, 12.
42. Valley, "A Cool Early Earth?" 63.
43. UCLA'da Stephen Mojzsis, Mark Harrison ve Robert Pidgeon da hemen hemen aynı zamanlarda benzer bir bulgu elde etti.

6. En Meşhur Deney: Yaşamsal Moleküllerin Kökeninin Peşinde

1. Wald, Nobel Ödülleri ziyafetindeki söylevi, 1967 yılı Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü.

2. Oparin, *The Origin of Life*. Oparin'in özgün makalesinin Ann Synge tarafından yapılmış İngilizce çevirisi şu kitabın ekinde mevcuttur: Bernal, *The Origin of Life*, 206-7.
3. Mikhailov, *Put' k istinye*, 9-10.
4. Lazcano, "Alexandr I. Oparin and the Origin of Life", 215.
5. Cooper ve Hausman, *The Cell*, 44.
6. Woodard ve White, "The Composition of Body Tissues", 1214.
7. Akt. Hunter, *Vital Forces*, 56.
8. Kelvin, *Popular Lectures and Addresses: Geology and General Physics*, II:198.
9. Akt. Peretó, Bada, Lazcano, "Charles Darwin and the Origin of Life", 396.
10. Helmholtz, *Science and Culture: Popular and Philosophical Essays*, 275.
11. Kursanov, "Sketches to a Portrait of A. I. Oparin", 4.
12. Schopf, *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*, 112.
13. Schopf, *Cradle of Life*, 120-21.
14. Graham, *Science, Philosophy, and Human Behavior in the Soviet Union*, 73.
15. Schopf, *Cradle of Life*, 123.
16. Akt. Graham, *Science in Russia and the Soviet Union*, 276.
17. Akt. Shindell, *The Life and Science of Harold C. Urey*, 114.
18. Miller, "The First Laboratory Synthesis of Organic Compounds Under Primitive Earth Conditions", 230.
19. Henahan, "From Primordial Soup to the Prebiotic Beach: An Interview with the Exobiology Pioneer Dr. Stanley L. Miller".
20. Davidson, *Carl Sagan: A Life*, 23.
21. Sagan, *Conversations with Carl Sagan*, 30.
22. Bada ve Lazcano, "Biographical Memoirs: Stanley L. Miller: 1930-2007", 18.
23. Wade, "Stanley Miller, Who Examined Origins of Life, Dies at 77".
24. Wills ve Bada, *The Spark of Life: Darwin and the Primeval Soup*, 49.
25. Mesler ve Cleaves II, *A Brief History of Creation*, 178.
26. Henahan, "From Primordial Soup to the Prebiotic Beach".
27. Sagan, *Conversations with Carl Sagan*, 30.
28. Lazcano ve Bada, "Stanley L. Miller (1930-2007)", 374.
29. Henahan, "From Primordial Soup to the Prebiotic Beach".
30. Mesler ve Cleaves II, *A Brief History*, 173.
31. Oparin, *The Origin of Life*, 252.
32. Radetsky, "How Did Life Start?" 78.
33. Zahnle, Schaefer ve Fegley, "Earth's Earliest Atmospheres", 2.
34. Yazarın Laura Lindsey-Boltz ile röportajı, Kuzey Carolina Üniversitesi, Ekim 2021.
35. Townes, "Microwave and Radio-Frequency Resonance Lines of Interest to Radio Astronomy".
36. Townes, "The Discovery of Interstellar Water Vapor and Ammonia at the Hat Creek Radio Observatory", 82.
37. Yazarın Jack Welch ile röportajı, Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Haziran 2018.

38. Townes, *How the Laser Happened: Adventures of a Scientist*, 65.
39. Townes, "The Discovery", 82.
40. Patel ve diğ., "Common Origins of RNA, Protein and Lipid Precursors in a Cyanosulfidic Protometabolism".
41. Video röportaj, Jess ve Kendrew, "Murchison Meteorite Continues to Dazzle Scientists".
42. Meteorit Bilimi Topluluğu, "Murchison".
43. Deamer, *First Life: Discovering the Connections between Stars, Cells, and How Life Began*, 53.
44. Sullivan, *We Are Not Alone: The Search for Intelligent Life on Other Worlds*, 114.
45. Sullivan, *We Are Not Alone,* 123-24.
46. Schopf, *Major Events in the History of Life*, 17.
47. Miller, "The First Laboratory Synthesis of Organic Compounds under Primitive Earth Conditions", 240.
48. Brownlee, "Cosmic Dust: Building Blocks of Planets Falling from the Sky", 166.
49. Segré ve Lancet, ""Theoretical and Computational Approaches to the Study of the Origin of Life", 94-95.
50. Barras, "Formation of Life's Building Blocks Recreated in Lab".

7. En Büyük Gizem: İlk Hücrelerin Muammalı Kökeni

1. de Duve, "The Beginnings of Life on Earth", 437.
2. Heap ve Gregoriadis, "Alec Douglas Bangham, 10 November 1921-9 March 2010", 28.
3. Bangham, "Surrogate Cells or Trojan Horses: The Discovery of Liposomes", 1081.
4. Deamer, "From 'Banghasomes' to Liposomes: A Memoir of Alec Bangham, 1921-2010", 1309.
5. Akt. Robert Singer, Albert Einstein Tıp Koleji basın bülteni, "Built-In 'Self-Destruct Timer' Causes Ultimate Death of Messenger RNA in Cells".
6. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 215-16.
7. Echols, *Operators and Promoters: The Story of Molecular Biology and Its Creators*, 215.
8. Gitschier, "Meeting a Fork in the Road: An Interview with Tom Cech", 0624.
9. Howard Hughes Tıp Enstitüsü videosundaki Cech röportajı: *The Discovery of Ribozymes* (Ribozimlerin Keşfi).
10. Akt. Dick ve Strick, *The Living Universe: NASA and the Development of Astrobiology*, 128.
11. Yazarın Thomas Cech ile röportajı, Colorado Üniversitesi, Boulder, Eylül 2021.
12. Howard Hughes Tıp Enstitüsü videosundaki Cech röportajı: *The Discovery of Ribozymes* (Ribozimlerin Keşfi).
13. Kaharl, *Water Baby: The Story of Alvin*, 168-69.

14. Crane, *Sea Legs: Tales of a Woman Oceanographer*, 112-13.
15. Kaharl, *Water Baby*, 173.
16. Kaharl, *Water Baby*, 173.
17. Ballard, *The Eternal Darkness*, 171.
18. Kusek, "Through the Porthole 30 Years Ago", 141.
19. Kaharl, *Water Baby*, 175.
20. Wade, "Meet Luca, the Ancestor of All Living Things".
21. Hazen, *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origin*, 98-99.
22. Hazen, *Genesis*, 109.
23. Miller ve Bada, "Submarine Hot Springs and the Origin of Life", 610.
24. Yazarın Günter Wächtershäuser ile röportajı, Aralık 2018.
25. Wächtershäuser, "The Origin of Life and Its Methodological Challenge", 488.
26. Wächtershäuser, "Before Enzymes and Templates: Theory of Surface Metabolism", 453.
27. Radetsky, "How Did Life Start?" 82.
28. Lucentini, "Darkness Before the Dawn – of Biology", 29.
29. BBC *Horizon* belgeselindeki Bada röportajı: "Life Is Impossible".
30. Hagmann, "Between a Rock and a Hard Place".
31. Monroe, "2 Dispute Popular Theory on Life Origin".
32. Yazarın Mike Russell ile röportajı, Aralık 2018.
33. Lane, *Life Ascending*, 19-23.
34. Flamholz, Phillips ve Milo, "The Quantified Cell", 3498.
35. Lane, *The Vital Question: Why Is Life the Way It Is?* 117-19.
36. Wade, "Making Sense of the Chemistry That Led to Life on Earth".
37. Yazarın George Cody ile röportajı, Carnegie Bilim Enstitüsü, Haziran 2018.
38. Yazarın Jay Melosh ile röportajı, Purdue Üniversitesi, Mayıs 2018.
39. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü basın bülteni, "Caltech Geologists Find New Evidence That Martian Meteorite Could Have Harbored Life"; Weiss ve diğ., "A Low Temperature Transfer of ALH84001 from Mars to Earth".
40. Nicholson ve diğ., "Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments".
41. Amos, "Beer Microbes Live 553 Days Outside ISS".
42. Knoll, *A Brief History of Earth: Four Billion Years in Eight Chapters*, 81-83.
43. Bkz. Kirschvink ve Weiss, "Mars, Panspermia, and the Origin of Life: Where Did It All Begin?" Ayrıca Kirschvink ve biyokimyacı Steve Benner, kimyasal boratın sağladığı stabilizasyon olmadan RNA yapmanın zor olduğunu savunuyor; borat Dünya'da nadir olmasına rağmen Mars'ta bol miktarda bulunur.

8. Işıkla Gelen Güç: Fotosentezin Keşfi

1. Kellogg, *The New Dietetics: What to Eat and How*, 29.
2. Beale ve Beale, *Echoes of Ingen Housz: The Long Lost Story of the Genius Who Rescued the Habsburgs from Smallpox and Became the Father of Photosynthesis*, 29.

3. Van Klooster, "Jan Ingenhousz", 353.
4. Magiels, *From Sunlight to Insight*, 87.
5. Akt. Beale ve Beale, *Echoes*, 322.
6. Beaudreau ve Finger, "Medical Electricity and Madness in the 18th Century", 338.
7. Beale ve Beale, *Echoes*, 270-71.
8. Akt. Beale ve Beale, *Echoes*, 279.
9. Akt. Beale ve Beale, *Echoes*, 323.
10. Magiels, "Dr. Jan IngenHousz, or Why Don't We Know Who Discovered Photosynthesis?" 14.
11. Magiels, *From Sunlight*, 109.
12. Akt. Magiels, *From Sunlight*, 109.
13. Akt. Magiels, *From Sunlight*, 238-39.
14. Gest, "A 'Misplaced Chapter' in the History of Photosynthesis Research: The Second Publication (1796) on Plant Processes by Dr. Jan Ingen-Housz, MD, Discoverer of Photosynthesis", 65.
15. Debus, *Chemistry and Medical Debate: Van Helmont to Boerhaave*, 33.
16. Hedesan, "The Influence of Louvain Teaching on Jan Baptist Van Helmont's Adoption of Paracelsianism and Alchemy", 240.
17. Rosenfeld, "The Last Alchemist – the First Biochemist: J. B. van Helmont (1577-1644)", 1756.
18. Akt. Cockell, *The Equations of Life: How Physics Shapes Evolution*, 240.
19. Akt. Pagel, *Joan Baptista van Helmont*, 12.
20. Pagel, *Joan Baptista van Helmont*, 53.
21. Ingenhousz, *An Essay on the Food of Plants and the Renovation of Soils*, 2.
22. Kamen, *Radiant Science, Dark Politics: A Memoir of the Nuclear Age*, 21.
23. Yarris, "Ernest Lawrence's Cyclotron: Invention for the Ages".
24. Johnston, *A Bridge Not Attacked: Chemical Warfare Civilian Research During World War II*, 90.
25. Kamen, "Onward into a Fabulous Half-Century", 139.
26. Kamen, *Radiant Science*, 84.
27. Kamen, "A Cupful of Luck, a Pinch of Sagacity", 6.
28. Larson, Martin Kamen ile röportaj, Bilim ve Teknolojideki Öncüler programı, Oak Ridge Sözlü Tarih Merkezi, 11.
29. Kamen, *Radiant Science*, 86.
30. Kamen, "Early History of Carbon-14", 586.
31. Kamen, "Early History", 588.
32. Petterson, "The Chemical Composition of Wood", 58.
33. Russell ve Williams, *The Nutrition and Health Dictionary*, 137.
34. Kamen, *Radiant Science*, 165.
35. Benson, "Following the Path of Carbon in Photosynthesis", 35.
36. Larson'ın Martin Kamen'le röportajı.
37. Kelly, "John Earl Haynes's Interview".
38. Calvin, *Following the Trail of Light: A Scientific Odyssey*, 51.

39. Hargittai ve Hargittai, *Candid Science V*, 386.
40. Alsop, "Political Impact Is Seen in New Atomic Experiments".
41. Hargittai ve Hargittai, *Candid Science V*, 388.
42. Buchanan ve Wong, "A Conversation with Andrew Benson: Reflections on the Discovery of the Calvin-Benson Cycle", 210.
43. Buchanan ve Wong, "A Conversation", 213.
44. Moses ve Moses, "Interview with Rod Quayle", 6.
45. Moses ve Moses, "Interview with Al Bassham", 14.
46. Benson, "Following", 809.
47. Sharkey, "Discovery of the Canonical Calvin-Benson Cycle", 242.
48. Buchanan ve Wong, "A Conversation", 213.
49. "Işık tepkimeleri"ni konu alan çok sayıda araştırma bulunuyor: Govindjee, Shevela ve Björn, "Evolution of the Z-Scheme of Photosynthesis".
50. Yazarın Stephen Long ile röportajı, Illinois Üniversitesi, Urbana-Champaign, Kasım 2021.
51. Falkowski, *Life's Engines: How Microbes Made Earth Habitable*, 99.
52. Yazarın Govindjee ile röportajı, Illinois Üniversitesi, Urbana-Champaign, Mayıs 2019.
53. Bar-On ve Milo, "The Global Mass and Average Rate of Rubisco", 4738.
54. Calvin, "Photosynthesis as a Resource for Energy and Materials", 277.
55. Bourzac, "To Feed the World, Improve Photosynthesis".
56. Vernadsky, *The Biosphere*, 47.

9. Şans Yaver Gidince: Okyanus Köpüğünden Yeşil Gezegene

1. Yazarın Stjepko Golubic ile röportajı, Temmuz 2019.
2. Margulis ve Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*, 109.
3. Jeolog John Dawson, *Eozoön* adında daha eski bir fosil bulduğunu düşünmüştü ancak iddiası geçerli değildi: Schopf, *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*, 19-21.
4. Walcott, "Pre-Carboniferous Strata in the Grand Canyon of the Colorado, Arizona", 438.
5. Walcott, "Report of Mr. Charles D. Walcott, July 2", 160.
6. Schuchert, "Charles Doolittle Walcott, (1850-1927)", 279.
7. Yochelson, *Charles Doolittle Walcott, Paleontologist*, 145.
8. Walcott, "Report of Mr. Charles D. Walcott, July 2", 47.
9. Walcott, *Pre-Cambrian Fossiliferous Formations*, 234.
10. Schopf, *Life in Deep Time: Darwin's "Missing" Fossil Record*, 49.
11. Schopf, *Cradle of Life*, 19-21. Fosilin adı *Eozoön* idi.
12. Schopf, *Cradle of Life*, 31.
13. Seward, *Plant Life through the Ages: A Geological and Botanical Retrospect*, 87.
14. Seward, *Plant Life*, 92.

15. Yazarın Stjepko Golubic ile röportajı, Temmuz 2019.
16. Her ne kadar başka yerlerde, özellikle de Bahamalar'da çalışan daha önceki araştırmacılar siyanobakterilerle kadim stromatolitler arasında bağlantı kurmuş olsalar da, iddiaları geniş çapta kabul görmemişti. İşaret ettikleri "canlı" stromatolitler, kadim *Cryptozoön*'den çok farklı görünüyordu. Buna karşılık Logan'ın stromatolitleri kadim fosillere bariz bir benzerlik taşıyordu: Hoffman, "Recent and Ancient Algal Stromatolites", 180-81.
17. Prothero, *The Story of Life in 25 Fossils: Tales of Intrepid Fossil Hunters and the Wonders of Evolution*, 11.
18. Falkowski, *Life's Engines: How Microbes Made Earth Habitable*, 72.
19. Yazarın William Schopf ile röportajı, UCLA, Temmuz 2019.
20. Crowell, "Preston Cloud", 45.
21. Yazarın William Schopf ile röportajı, UCLA, Temmuz 2019.
22. Margulis ve Sagan, *Microcosmos*, 108.
23. Walker, *Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe That Spawned Life as We Know It*, 113.
24. Walker, *Snowball Earth*, 122-28.
25. Kirschvink'e göre, Dünya Güneş'ten birazcık daha uzakta olsaydı, kutuplarda sıcaklık o kadar düşük olurdu ki yanardağlardan çıkan yalıtıcı karbondioksit gazı kutuplara ulaştığında donardı. Gezegen, Kartopu Dünya durumundan asla çıkamayacak kadar soğuk olurdu. Dolayısıyla Kirschvink, yaşamın evrildiği ve daha sonra tamamen donduğu Dünya benzeri birçok gezegen olabileceğini düşünüyor.
26. *The Telegraph*, "Lynn Margulis".
27. Yazarın Fred Spiegel ile röportajı, Arkansas Üniversitesi, Mart 2019.
28. Dorion Sagan röportajı, *Symbiotic Earth.*
29. Margulis, "Mixing It Up", 103-4.
30. Akt. Goldscheider, "Evolution Revolution", 46.
31. Quammen, *The Tangled Tree: A Radical New History of Life*, 120.
32. Quammen, *The Tangled Tree*, 120.
33. Poundstone, *Carl Sagan: A Life in the Cosmos*, 63.
34. Otis, *Rethinking Thought: Inside the Minds of Creative Scientists and Artists*, 36.
35. Otis, *Rethinking Thought*, 19.
36. Akt. Davidson, *Carl Sagan: A Life*, 112.
37. Akt. Poundstone, *Carl Sagan: A Life in the Cosmos*, 47.
38. Sagan, *Lynn Margulis: The Life and Legacy of a Scientific Rebel*, 59.
39. *The Telegraph*, "Lynn Margulis".
40. Sapp, *Evolution by Association*, 185.
41. Margulis ve Sagan, *What Is Life?* 52.
42. Akt. Goldscheider, "Evolution Revolution", 44.
43. Yazarın John Archibald ile röportajı, Dalhousie Üniversitesi, Mart 2019.
44. Knoll, *A Brief History of Earth: Four Billion Years in Eight Chapters*, 108-11.
45. Yazarın Nick Lane ile röportajı, University College London, Eylül 2019.

46. Lane ve Martin net bir enerji tasarrufu olduğunu savunuyorlar. Başka bir hücrenin içinde yaşayan bir mitokondrinin artık hücre duvarı inşa etmek gibi bazı işleri kopyalaması gerekmiyor. Genel olarak, hem mitokondrinin hem de evsahibinin yapmak zorunda oldukları iş miktarı, ayrı yaşadıkları duruma göre daha az oluyor.
47. Lane, "Why Is Life the Way It Is?" 23.
48. Lane, "Why Is Life the Way It Is?"27; Catling ve diğ., "Why O2 Is Required by Complex Life on Habitable Planets and the Concept of Planetary 'Oxygenation Time'".
49. Gibson ve diğ., "Precise Age of Bangiomorpha pubescens Dates the Origin of Eukaryotic Photosynthesis". Şu âna kadar bulunan en eski fosiller 1,047 milyar yıl öncesine tarihleniyor ama moleküler saat kanıtları atalarının en az 1,25 milyar yıl önce ortaya çıktığını gösteriyor.
50. Yaklaşık 635 milyon yıl önce başlayan Ediakara döneminin başlarında yavaş hareket eden tuhaf hayvanlar vardı.
51. Falkowski, *Life's Engines*, 130.
52. Reinhard ve diğ., "Evolution of the Global Phosphorus Cycle", 386.
53. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 111.
54. Falkowski, *Life's Engines*, 141.
55. Kahn, "How Much Oxygen Does a Person Consume in a Day?"

10. Tohumlar Ekiliyor: Bitkiler ve Yoldaşları Varoluşumuzu Nasıl Mümkün Kıldı?

1. Thoreau, *Walden*, 130.
2. Zimmermann, "Nachrufe: Simon Schwendener", 59.
3. Bar-On, Phillips ve Milo, "The Biomass Distribution on Earth".
4. Honegger, "Simon Schwendener (1829-1919) and the Dual Hypothesis of Lichens", 312.
5. Plitt, "A Short History of Lichenology", 89.
6. Ralfs, "The Lichens of West Cornwall", 211.
7. Plitt, "A Short History", 82.
8. James Crombie, akt. Smith, *Lichens*, xxv.
9. Step, *Plant-Life*, 149.
10. Schmidt, "Essai d'une biologie de l'holophyte des Lichens", 7.
11. Ryan, *Darwin's Blind Spot*, 22.
12. Frank, "On the Nutritional Dependence of Certain Trees on Root Symbiosis with Belowground Fungi (an English Translation of A. B. Frank's Classic Paper of 1885)", 271.
13. Frank'ın *symbiotismus* sözcüğünü icat etmesinden bir yıl sonra, botanikçi Anton de Bary "farklı organizmaların birlikte yaşaması" anlamına gelen *symbiosis* (simbiyoz, ortakyaşam) terimini ortaya attı.
14. Frank, "On the Nutritional Dependence", 274.
15. Ryan, *Darwin's Blind Spot*, 49.
16. Beerling, *Making Eden*, 125-26.

17. "Hermann Hellriegel", 11.
18. Aulie, "Boussingault and the Nitrogen Cycle", doktora tezi, 39.
19. Mccosh, *Boussingault*, 4.
20. Aulie, "Boussingault and the Nitrogen Cycle", 448.
21. Aulie, "Boussingault and the Nitrogen Cycle", 447.
22. Nutman, "Centenary Lecture", 72.
23. Finlay, "Science, Promotion, and Scandal", 209.
24. MacFarlane, "The Transmutation of Nitrogen", 49.
25. Erisman ve diğ., "How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World", 637.
26. Walker, *Plants: A Very Short Introduction*, 30.
27. Datta ve diğ., "Root Hairs", 1.
28. Yazarın Simon Gilroy ile röportajı, Wisconsin Üniversitesi, Madison, Kasım 2021.
29. Tobey, Saving the Prairies: The Life Cycle of the Founding School of American Plant Ecology, 1895-1955, 192-93.
30. Wilson, *Roots: Miracles Below*, 84.
31. Yazarın Tony Trewavas ile röportajı, Edinburgh Üniversitesi, Eylül 2019.
32. Wade, "Number of Human Genes Is Put at 140,000, a Significant Gain".
33. Yazarın bu bulguyu elde eden biliminsanı olan Lawrence Brody ile röportajı, Ulusal Sağlık Enstitüleri, Eylül 2021.
34. Yazarın Jack Schultz ile röportajı, Toledo Üniversitesi, Eylül 2019.
35. Yazarın Elizabeth Van Volkenburgh ile röportajı, Washington Üniversitesi, Eylül 2019.
36. Alpi ve diğ., "Plant Neurobiology: No Brain, No Gain?" 136.
37. Mancuso ve Viola, *Brilliant Green: The Surprising History and Science of Plant Intelligence*, 77.
38. Trewavas, "Mindless Mastery", 841.
39. Yazarın Janet Braam ile röportajı, Rice Üniversitesi, Eylül 2019.
40. Yong, "Trees Have Their Own Internet".
41. Trewavas, "The Foundations of Plant Intelligence", 11.
42. Trewavas, "Mindless Mastery", 841.
43. Trewavas ve Baluška, "The Ubiquity of Consciousness", 1225.
44. Baluška ve Mancuso, "Deep Evolutionary Origins of Neurobiology", 63.
45. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 169.

11. Her Şey Onlara Bağlı: Yaşamak İçin Ne Yemek Lazım?

1. Tegmark, "Solid. Liquid. Consciousness".
2. Thorpe, *Essays in Historical Chemistry*, 316.
3. Hofmann, *The Life-Work of Liebig*, 17.
4. Brock, *Justus Von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, 6.
5. Brock, *Justus Von Liebig*, 32.
6. Brock, *Justus Von Liebig*, 38.

7. Turner, "Justus Liebig versus Prussian Chemistry", 131.
8. Liebig, "Justus Von Liebig: An Autobiographical Sketch", 661.
9. Morris, *The Matter Factory: A History of the Chemistry Laboratory*, 93.
10. Mulder, *Liebig's Question to Mulder Tested by Morality and Science*, 6.
11. Phillips, "Liebig and Kolbe, Critical Editors", 91.
12. Hunter, *Vital Forces*, 56.
13. Klickstein, "Charles Caldwell and the Controversy in America over Liebig's 'Animal Chemistry'", 141.
14. Brucer, "Nuclear Medicine Begins with a Boa Constrictor", 280.
15. Yaklaşık % 5'i hidroklorik asit olan yaklaşık sekiz bardak mide suyu üretiyoruz.
16. Carpenter, *Protein and Energy: A Study of Changing Ideas in Nutrition*, 59.
17. Liebig, *Animal Chemistry: Or Organic Chemistry in Its Application to Physiology and Pathology*, 48.
18. Carpenter, *Protein and Energy*, 48.
19. Thoreau, *Walden*, 11.
20. Bissonnette, *It's All about Nutrition*, 45.
21. Liebig, *Animal Chemistry*, vi.
22. Bence-Jones, *Henry Bence-Jones, M.D., F.R.S. 1813-1873: Autobiography with Elucidations at Later Dates*, 16.
23. Morris, *The Matter Factory*, 30.
24. Carpenter, Harper ve Olson, "Experiments That Changed Nutritional Thinking", 1120S-1121S.
25. Carpenter, Harper ve Olson, "Experiments", 1021.
26. Carpenter, *Protein and Energy*, 71-72.
27. Carpenter, "A Short History of Nutritional Science: Part 1 (1785-1885)", 642.
28. Apple, "Science Gendered: Nutrition in the United States 1840-1940", 133.
29. Carpenter, *Protein and Energy*, 74.
30. Carpenter, *The History of Scurvy and Vitamin C*, 253.
31. Bown, *Scurvy: How a Surgeon, a Mariner, and a Gentlemen Solved the Greatest Medical Mystery of the Age of Sail*, 68.
32. Frankenburg, *Vitamin Discoveries and Disasters*, 72.
33. Bown, *Scurvy*, 75.
34. Roddis, *James Lind, Founder of Nautical Medicine*, 55.
35. Bown, *Scurvy*, 74.
36. Harvie, *Limeys*, 56.
37. Lind, *A Treatise on the Scurvy, in Three Parts: Containing an Inquiry into the Nature, Causes, and Cure of That Disease, Together with a Critical and Chronological View of What Has Been Published on the Subject*, 72.
38. Lind, *A Treatise*, 62-63.
39. Gratzer, *Terrors of the Table*, 17.
40. Harvie, *Limeys*, 18.
41. Frankenburg, *Vitamin*, 78.
42. Meiklejohn, "The Curious Obscurity of Dr. James Lind", 307.
43. Bown, *Scurvy*, 26.

44. Braddon, *The Cause and Prevention of Beri-Beri*, 248.
45. Beek, *Dutch Pioneers of Science*, 138.
46. Carpenter, *Beriberi, White Rice, and Vitamin B: A Disease, a Cause, and a Cure*, 27.
47. Eijkman, "Christiaan Eijkman Nobel Lecture, 1929".
48. Carpenter, *Beriberi*, 35.
49. "Tracing the Lost Railway Lines of Indonesia".
50. Carpenter, *Beriberi*, 41.
51. Carpenter, *Beriberi*, 198.
52. Eijkman, "Christiaan Eijkman Nobel Lecture, 1929".
53. Houston, *A Treasury of the World's Great Speeches*, 470.
54. Carpenter, *Beriberi*, 40-41.
55. Carpenter, *Beriberi*, 45.
56. Vedder, *Beriberi*, 160.
57. Gratzer, *Terrors of the Table*, 141-42.
58. Hopkins, *Newer Aspects of the Nutrition Problem*, 15.
59. Maltz, "Casimer Funk, Nonconformist Nomenclature, and Networks Surrounding the Discovery of Vitamins", 1016.
60. Maltz, "Casimer Funk", 1016.
61. Akt. Gratzer, *Terrors of the Table*, 162.
62. *New York Times*, "Scientists Find Indication of a Vitamin Which Prevents Softening of the Brain".
63. St. Louis Post-Dispatch, "Is Vitamine Starvation the True Cause of Cancer?"
64. Price, *Vitamania: How Vitamins Revolutionized the Way We Think about Food*, 75-78.
65. Akt. Bobrow-Strain, *White Bread: A Social History of the Store-Bought Loaf*, 119.
66. BBC radyo, "Enzymes", In Our Time.
67. Zimmer, "Vitamins' Old, Old Edge".
68. Zimmer, "Vitamins' Old, Old Edge".
69. Price, *Vitamania*, 17.
70. Yazarın Gerald Combs Jr. ile röportajı, Tufts Üniversitesi, Kasım 2019.
71. Carpenter, "A Short History of Nutritional Science: Part 3 (1912-1944)", 3030.
72. Collins, *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*, 528.
73. Yazarın James F. Collins ile röportajı, Florida Üniversitesi, Şubat 2020.
74. Lieberman, *The Story of the Human Body: Evolution, Health, and Disease*, 191.
75. Bağırsaklarımızdaki bazı bakteriler bizim için vitamin üretir; mesela B vitaminleri ve K vitamini gibi.

12. Göz Önünde Saklı: Genetik Tasarımımızın Keşfi

1. Horgan, "Francis H. C. Crick: The Mephistopheles of Neurobiology", 33.
2. Miescher 1892 yılında bu öngörüde bulunmaya çok yaklaşmıştı.

3. Dahm, "Discovering DNA", 576.
4. Olby, "Cell Chemistry in Miescher's Day", 379.
5. Dahm, "The First Discovery of DNA", 321.
6. Meuron-Landolt, "Johannes Friedrich Miescher: sa personnalité et l'importance de son oeuvre", 20.
7. Dahm, "Friedrich Miescher and the Discovery of DNA", 282.
8. Lamm, Harman ve Veigl, "Before Watson and Crick in 1953 Came Friedrich Miescher in 1869", 294-95.
9. Dahm, "The First", 327.
10. Mirsky, "The Discovery of DNA", 86-88.
11. Perutz, "Co-Chairman's Remarks: Before the Double Helix", 10.
12. MacLeod, "Obituary Notice, Oswald Theodore Avery, 1877-1955", 544.
13. Dubos, "Oswald Theodore Avery, 1877-1955", 35.
14. Williams, *Unravelling the Double Helix: The Lost Heroes of DNA*, 148-49.
15. Dubos, "Rene Dubos's Memories of Working in Oswald Avery's Laboratory".
16. Dubos, *The Professor, the Institute, and DNA*, 116.
17. McCarty, *The Transforming Principle: Discovering That Genes Are Made of DNA*, 92.
18. McCarty, *The Transforming Principle*, 87.
19. Kardeşi Roy'a yazdığı bir mektuptan: Dubos, *The Professor*, 217.
20. Dubos, *The Professor*, 139.
21. Avery'nin kardeşine yazdığı bir mektuptan: Dubos, *The Professor*, 219.
22. Dubos, *The Professor*, 106.
23. McCarty, *The Transforming Principle*, 163.
24. Dubos, *The Professor*, 245.
25. McCarty, *The Transforming Principle*, 173.
26. Judson, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*, 60.
27. Chargaff, *Heraclitean Fire: Sketches from a Life Before Nature*, 83.
28. Williams, *Unravelling*, 246.
29. Wilkins, *Maurice Wilkins: The Third Man of the Double Helix: An Autobiography*, 143-50.
30. Wilkins, *Maurice Wilkins*, 129.
31. Maddox, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*, 144-45.
32. Maddox, *Rosalind Franklin*, 153-55.
33. Cold Spring Harbor Laboratuvarı, "Aaron Klug on Rosalind Franklin".
34. Crick, *What Mad Pursuit*, 64.
35. Maddox, *Rosalind Franklin*, 161.
36. PBS belgeselindeki Watson röportajı, Babcock ve Eriksson, *DNA: The Secret of Life*.
37. Akt. Watson, Gann ve Witkowski, *The Annotated and Illustrated Double Helix*, 91.
38. Yazarın Don Caspar ile röportajı, Mayıs 2020.
39. Watson ile yapılan *Web of Stories* röportajı, "Complementarity and My Place in History".

40. Williams, *Unravelling*, 327.
41. Wilkins, *Maurice Wilkins*, 198.
42. Watson ve Berry, *DNA: The Secret of Life*, 51.
43. Olby, *The Path to the Double Helix*, 403.
44. Crick ile yapılan *Web of Stories* röportajı, "Molecular Biology in the Late 1940s".
45. Markel, *The Secret of Life*, 12.
46. Wilkins, *Maurice Wilkins*, 212.
47. "Due Credit", 270.
48. Maddox, *Rosalind Franklin*, 202.
49. Crick, *What Mad Pursuit*, 79.
50. Watson ve Berry, *DNA*, 58.
51. Crick, "Biochemical Activities of Nucleic Acids: The Present Position of the Coding Problem", 35.
52. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 248.
53. *Cell Biology by the Numbers* (Sayılarla Hücre Biyolojisi) kitabına göre, bir hücre yaklaşık on milyar protein içerir ve bir proteinin ortalama yarı ömrü yedi saattir. Bu, her yedi saat geçtiğinde yaklaşık beş milyar proteinin, yani her saniye otuz dokuz binden fazla proteinin yerini yenilerinin aldığı anlamına gelir.
54. Genlerin ne zaman ifade edileceğini kontrol eden baz dizilerine şu adlar verilir: transkripsiyon faktörü bağlanma bölgeleri, aktivatörler, promotörler, hızlandırıcılar, baskılayıcılar, susturucular ve kontrol elemanları.

13. Elementler ve Diğer Şeyler: İçinizde Gerçekten Ne Var?

1. Claude, "The Coming of Age of the Cell", 434.
2. Sender, Fuchs ve Milo, "Revised Estimates for the Number of Human ve Bacteria Cells in the Body", 9.
3. Brachet, "Notice sur Albert Claude", 95.
4. Gompel, *Le destin extraordinaire d'Albert Claude (1898-1983)*, 26.
5. de Duve ve Palade, "Obituary: Albert Claude, 1899-1983", 588.
6. Claude, "The Coming", 433.
7. Claude, "The Coming", 433.
8. Moberg, *Entering an Unseen World: A Founding Laboratory and Origins of Modern Cell Biology, 1910-1974*, 137.
9. Brachet, "Notice", 100.
10. Brachet, "Notice", 118.
11. Moberg, *Entering*, 23.
12. Claude, "Fractionation of Chicken Tumor Extracts by High Speed Centrifugation", 743.
13. de Duve ve Beaufay, "A Short History of Tissue Fractionation", 24.
14. de Duve ve Palade, "Obituary", 588.
15. Albert Claude ile röportaj, Rockefeller Enstitüsü Arşiv Merkezi, RAC FA1444 (Kutu 1, Dosya 5).

16. Moberg, *Entering*, 38.
17. Rheinberger, "Claude, Albert", 146.
18. Brachet, "Notice", 108.
19. Claude, "Albert Claude, 1948", 121.
20. Rheinberger, "Claude, Albert", 146.
21. Moberg, *Entering*, 76.
22. Hawkes, "Ernst Ruska", 84.
23. Moberg, *Entering*, 55.
24. Moberg, *Entering*, 60.
25. Palade, "Albert Claude and the Beginnings of Biological Electron Microscopy", 15-17.
26. Prebble ve Weber, *Wandering in the Gardens of the Mind*, 15.
27. Claude, "The Coming", 434.
28. Flamholz, Phillips ve Milo, "The Quantified Cell", 3499.
29. Gilbert ve Mulkay, *Opening Pandora's Box*, 26. Bu kitabın tamamında, Mitchell'ın kuramına biliminsanlarının bakışı ve tepkisi inceleniyor.
30. Harold, *To Make the World Intelligible*, 121.
31. Racker, "Reconstitution, Mechanism of Action and Control of Ion Pumps", 787.
32. Racker, "Reconstitution", 787.
33. Prebble, "The Philosophical Origins of Mitchell's Chemiosmotic Concepts", 443.
34. Prebble, "Peter Mitchell and the Ox Phos Wars", 209.
35. Orgel, "Are You Serious, Dr. Mitchell?" 17.
36. Racker, "Reconstitution", 787.
37. Harold, *To Make the World Intelligible*, 49.
38. Lane, *Power, Sex, Suicide*, 102.
39. Govindjee ve Krogmann, "A List of Personal Perspectives with Selected Quotations, along with Lists of Tributes, Historical Notes, Nobel and Kettering Awards Related to Photosynthesis", 16.
40. Prebble, "Peter Mitchell and the Ox Phos Wars", 210.
41. Saier, "Peter Mitchell and the Life Force", 8. Bölüm, s. 10/14.
42. Lane, *The Vital Question: Why Is Life the Way It Is?* 73.
43. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 357.
44. Walker, *Fuel of Life*.
45. Roskoski, "Wandering in the Gardens of the Mind", 64-65.
46. Saier, "Peter Mitchell and the Life Force", bölüm 9, sayfa 2/8.
47. Lane, *Life Ascending*, 32-33.
48. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 34.
49. Hom ve Sheu, "Morphological Dynamics of Mitochondria: A Special Emphasis on Cardiac Muscle Cells", 7.
50. Yazarın Nick Lane ile röportajı, University College London, Aralık 2021.
51. Flamholz, Phillips ve Milo, "The Quantified Cell", 3499.
52. Hoffmann, *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*, 212.

53. Ashcroft, *The Spark of Life: Electricity in the Human Body*, 42.
54. Stevens, "The Neuron", 57.
55. Ashcroft, *The Spark of Life*, 56.
56. Yüz milyar sinir hücremizin her birinde yaklaşık bir milyon sodyum-potasyum pompası bulunur. Milyonlarca kalp kası hücremizin her biri birkaç milyon pompa içerir. Sadece bunlar bile katrilyonlarca sodyum-potasyum pompasına denk geliyor. Diğer hücrelerimizde daha az sayıda pompa bulunur.
57. Lieberman, *The Story of the Human Body: Evolution, Health and Disease*, 283.
58. Hoffmann, *Life's Ratchet*, 72.
59. Pennsylvania Üniversitesi'nden Kim Sharp'ın yazara gönderdiği e-posta.
60. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 220.
61. Pennsylvania Üniversitesi'nden Kim Sharp'ın yazara gönderdiği e-posta.
62. Bray, *Cell Movements*, 4.
63. Lane, *The Vital Question*, 12.
64. Yanlış bazın DNA'ya dahil edilmesiyle ilgili tahminler milyonda bir ile on milyonda bir arasında değişiyor. Yanlışın hemen ardından devreye giren onarım mekanizmaları, hata oranını on milyarda bir civarına düşürür.
65. *Atlanta Constitution*, "Each of Us Is Charged with Busy Little Atoms".
66. "Paul C. Aebersold Interview", *Longines Chronoscope*.
67. Stager, *Your Atomic Self*, 213.
68. Bunu ilk fark edenler Kirsty Spalding ve Jonas Frisén oldu: Wade, "Your Body Is Younger Than You Think". Ayrıca bkz. Milo ve Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, 279. Birkaç hücre türü hiç değiştirilmezken, büyük çoğunluğu on yıl içinde yenilenir.
69. Sender ve Milo, "The Distribution of Cellular Turnover in the Human Body", 45.
70. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 279.
71. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 279.
72. Sender ve Milo, "The Distribution", 45.
73. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 279.
74. Herculano-Houzel, "The Human Brain in Numbers", 7.
75. Elli yaşına gelene kadar kalp hücreleriniz yılda yaklaşık yüzde 1 oranında yenilenir; sonra oran düşer: Wade, " Heart Muscle Renewed over Lifetime, Study Finds".
76. Lane, *The Vital Question*, 278.
77. Milo ve Phillips, *Cell Biology*, 201. Milo ve Phillips, 3.000 μm^3 hacimli bir memeli hücresinin saniyede yaklaşık bir milyar ATP tükettiğini tahmin ediyor.
78. Hoffmann, *Life's Ratchet*, 107.

Sonuç: Ne Kadar da Uzun ve Acayip Bir Yolculuk Oldu

1. Donnan, "The Mystery of Life", 514.
2. İnsan vücudundaki hücre sayısı otuz trilyon civarındadır: Sender, Fuchs ve Milo, "Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body".

Samanyolu'ndaki yıldız sayısının yüz milyar ila dört yüz milyar arasında olduğu tahmin ediliyor.

3. Horgan, "From My Archives: Quark Inventor Murray Gell-Mann Doubts Science Will Discover 'Something Else.'"
4. Carl Sagan'ın *Cosmos* televizyon programından.

Kaynakça

Adan, Ana, "Cognitive Performance and Dehydration", *Journal of the American College of Nutrition* 31, no. 2 (1 Nisan 2012).

Aikman, Duncan, "Lemaitre Follows Two Paths to Truth", *New York Times,* 19 Şubat 1933.

Aitkenhead, Alan R., Graham Smith ve David J. Rowbotham, *Textbook of Anaesthesia*, 5. basım, Londra: Elsevier, 2007.

Albert Einstein Tıp Koleji, "Built-In 'Self-Destruct Timer' Causes Ultimate Death of Messenger RNA in Cells", basın bülteni, 22 Aralık 2011.

Alpi, Amedeo, Nikolaus Amrhein, ve diğ., "Plant Neurobiology: No Brain, No Gain?", *Trends in Plant Science* 12, no. 4 (Nisan 2007).

Alsop, Stewart, "Political Impact Is Seen in New Atomic Experiments", *Toledo Blade,* 6 Ocak 1949.

Amos, Jonathan, "Beer Microbes Live 553 Days Outside ISS", BBC News, 23 Ağustos 2010, https://www.bbc.com/news/science-environment-11039206.

Anderson, Carl D. ve Richard J. Weiss, *The Discovery of Anti-Matter: The Autobiography of Carl David Anderson, the Youngest Man to Win the Nobel Prize*, Singapur: World Scientific, 1999.

Apple, Rima, "Science Gendered: Nutrition in the United States 1840-1940", *The Science and Culture of Nutrition, 1840-1940* içinde, haz. Harmke Kamminga ve Andrew Cunningham, Amsterdam: Rodopi, 1995.

Ashcroft, Frances, *The Spark of Life: Electricity in the Human Body*, New York: Norton, 2012.

Atlanta Constitution, "Each of Us Is Charged with Busy Little Atoms", 8 Kasım 1954.

Aulie, Richard P., "Boussingault and the Nitrogen Cycle", doktora tezi, Yale Üniversitesi, 1969.

— "Boussingault and the Nitrogen Cycle", *Proceedings of the American Philosophical Society* 114, no. 6 (18 Aralık 1970).

Babcock, Viki ve Magdalena Eriksson, yazanlar; Ian Duncan ve David Glover, yönetenler; *DNA: The Secret of Life*, 1. bölüm, Arlington, VA: Public Broadcasting Service, 2003.

Bada, Jeffrey ve Antonio Lazcano, "Biographical Memoirs: Stanley L. Miller: 1930-2007", National Academy of Sciences, 2012, http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/miller-stanley.pdf.

Ballard, Robert D., *The Eternal Darkness: A Personal History of Deep-Sea Exploration*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

Baluška, František ve Stefano Mancuso, "Deep Evolutionary Origins of Neurobiology: Turning the Essence of 'Neural' Upside-Down", *Communicative & Integrative Biology* 2, no. 1 (1 Aralık 2009).

Bangham, Alec D., "Surrogate Cells or Trojan Horses: The Discovery of Liposomes", *BioEssays* 17, no. 12 (1995).

Barnes, E. W., "Contributions to a British Association Discussion on the Evolution of the Universe", *Nature*, no. 128 (24 Ekim 1931).

Bar-On, Yinon M. ve Ron Milo, "The Global Mass and Average Rate of Rubisco", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116, no. 10 (5 Mart 2019).

Bar-On, Yinon M., Rob Phillips ve Ron Milo, "The Biomass Distribution on Earth", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115, no. 25 (19 Haziran 2018).

Barras, Colin, "Formation of Life's Building Blocks Recreated in Lab", *New Scientist*, no. 2999 (13 Aralık 2014).

BBC belgesel metni, "Wilson of the Cloud Chamber", 1959.

BBC *Horizon* belgeseli, "Life Is Impossible", 1993.

BBC radyosu, "Enzymes", *In Our Time*, 1 Haziran 2017.

Beale, Norman ve Elaine Beale, *Echoes of Ingen Housz: The Long Lost Story of the Genius Who Rescued the Habsburgs from Smallpox and Became the Father of Photosynthesis*, Gloucester, UK: Hobnob Press, 2011.

Beaudreau, Sherry Ann ve Stanley Finger, "Medical Electricity and Madness in the 18th Century: The Legacies of Benjamin Franklin and Jan Ingenhousz", *Perspectives in Biology and Medicine* 49, no. 3 (27 Temmuz 2006).

Beek, Leo, *Dutch Pioneers of Science*, Assen, Netherlands: Van Gorcum, 1985.

Beerling, David, *Making Eden: How Plants Transformed a Barren Planet*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2019.

Bence-Jones, Henry, *Henry Bence-Jones, M.D., F.R.S. 1813-1873: Autobiography with Elucidations at Later Dates*, Londra: Crusha & Son, 1929.

Benson, Andrew A., "Following the Path of Carbon in Photosynthesis: A Personal Story", *Photosynthesis Research* 73 (1 Temmuz 2002).

Bernal, J. D., *The Origin of Life*, Londra: Weidenfeld & Nicolson, 1967.

Bernstein, Jeremy, *A Palette of Particles*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2013.

Bertolotti, Mario, *Celestial Messengers: Cosmic Rays: The Story of a Scientific Adventure*, Berlin: Springer, 2013.

Bissonnette, David, *It's All about Nutrition: Saving the Health of Americans*, Lanham, MD: University Press of America, 2014.

Blackmore, John T., *Ernst Mach: His Life, Work, and Influence*, Berkeley: University of California Press, 1972.

Blatner, David, *Spectrums: Our Mind-Boggling Universe from Infinitesimal to Infinity*, Londra: Bloomsbury, 2013.

Bobrow-Strain, Aaron, *White Bread: A Social History of the Store-Bought Loaf*,

Boston: Beacon Press, 2012.
Bourzac, Katherine, "To Feed the World, Improve Photosynthesis", *MIT Technology Review* 120, no. 5 (Eylül 2017).
Bown, Stephen R., *Scurvy: How a Surgeon, a Mariner, and a Gentleman Solved the Greatest Medical Mystery of the Age of Sail*, New York: St. Martin's Press, 2003.
Brachet, Jean, "Notice sur Albert Claude", *Annuaire de l'Académie royale de Belgique*, 1988.
Braddon, William Leonard, *The Cause and Prevention of Beri-Beri*, Londra: Rebman Limited, 1907.
Bray, Dennis, *Cell Movements: From Molecules to Motility*, New York: Garland Science, 2001.
Brock, William H., *Justus Von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002.
Brownlee, Donald E., "Cosmic Dust: Building Blocks of Planets Falling from the Sky", *Elements* 12, no. 3 (1 Haziran 2016).
Brucer, Marshall, "Nuclear Medicine Begins with a Boa Constrictor", *Journal of Nuclear Medicine Technology* 24, no. 4 (1996).
Buchanan, Bob B. ve Joshua H. Wong, "A Conversation with Andrew Benson: Reflections on the Discovery of the Calvin-Benson Cycle", *Photosynthesis Research* 114, no. 3 (1 Mart 2013).
Burbidge, Geoffrey, "Sir Fred Hoyle 24 June 1915-20 August 2001", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 49 (2003).
Burns, Joseph A., Jack J. Lissauer ve Andrei Makalkin, "Victor Sergeyevich Safronov (1917-1999)", *Icarus* 145, no. 1 (1 Mayıs 2000).
Butterworth, Jon, "How Big Is a Quark?", *The Guardian*, 7 Nisan 2016, https://www.theguardian.com/science/life-and-physics/2016/apr/07/how-big-is-a-quark.
Calder, Nigel, *Giotto to the Comets*, Londra: Presswork, 1992.
California Teknoloji Enstitüsü, "Caltech Geologists Find New Evidence That Martian Meteorite Could Have Harbored Life", basın bülteni, 13 Mart 1997, https://www2.jpl.nasa.gov/snc/news8.html.
Calvin, Melvin, *Following the Trail of Light: A Scientific Odyssey*, Washington, DC: American Chemical Society, 1992.
— "Photosynthesis as a Resource for Energy and Materials: The Natural Photosynthetic Quantum-Capturing Mechanism of Some Plants May Provide a Design for a Synthetic System That Will Serve as a Renewable Resource for Material and Fuel", *American Scientist* 64, no. 3 (1976).
Carpenter, Kenneth J., *Beriberi, White Rice, and Vitamin B: A Disease, a Cause, and a Cure*, Berkeley: University of California Press, 2000.
— *The History of Scurvy and Vitamin C*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.
— *Protein and Energy: A Study of Changing Ideas in Nutrition*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

— "A Short History of Nutritional Science: Part 1 (1785-1885)", *Journal of Nutrition* 133, no. 3 (Mart 2003).
— "A Short History of Nutritional Science: Part 3 (1785-1885)", *Journal of Nutrition* 133, no. 10 (Ekim 2003).
Carpenter, Kenneth J., Alfred E. Harper ve Robert E. Olson, "Experiments That Changed Nutritional Thinking", *Journal of Nutrition* 127, no. 5 (Mayıs 1997).
Catling, David C., Christopher R. Glein ve diğ., "Why O2 Is Required by Complex Life on Habitable Planets and the Concept of Planetary 'Oxygenation Time'", *Astrobiology* 5, no. 3 (Haziran 2005).
Chargaff, Erwin, *Heraclitean Fire: Sketches from a Life before Nature*, New York: Rockefeller University Press, 1978.
Charitos, Panos, "Interview with George Zweig", *CERN EP News*, 13 Aralık 2013, https://ep-news.web.cern.ch/content/interview-george-zweig.
Chu, Jennifer, "Physicists Calculate Proton's Pressure Distribution for First Time", *MIT News*, 22 Şubat 2019, https://news.mit.edu/2019/physicists-calculate-proton-pressure-distribution-0222.
Claude, Albert, "Albert Claude, 1948", Harvey Society Lectures, Rockefeller Üniversitesi, 1 Ocak 1950.
— "The Coming of Age of the Cell", *Science* 189, no. 4201 (8 Ağustos 1975).
— "Fractionation of Chicken Tumor Extracts by High Speed Centrifugation", *American Journal of Cancer* 30, no. 4 (1 Ağustos 1937).
Close, Frank, *Particle Physics: A Very Short Introduction*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2004.
Close, Frank, Michael Marten ve Christine Sutton, *The Particle Odyssey: A Journey to the Heart of Matter*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2004.
Cockell, Charles S., *The Equations of Life: How Physics Shapes Evolution*, New York: Basic Books, 2018.
Cold Spring Harbor Laboratuvarı, Sözlü Tarih Koleksiyonu, "Aaron Klug on Rosalind Franklin", 17 Haziran 2005, http://library.cshl.edu/oralhistory/interview/scientific-experience/women-science/aaron-rosalind-franklin/.
Collins, James F., *Molecular, Genetic, and Nutritional Aspects of Major and Trace Minerals*, San Diego: Academic Press, 2016.
Compton, William, *Where No Man Has Gone Before: A History of Apollo Lunar Exploration Missions*, Washington, DC: NASA, 1988.
Cooper, Geoffrey M. ve Robert E. Hausman, *The Cell: A Molecular Approach*, Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2013; Türkçesi: *Hücre: Moleküler Yaklaşım*, çev. haz. Meral Sakızlı, Ersan Kalay, Neşe Atabey, İzmir Tıp Kitabevi, 2006.
Cooper, Henry S. F., *Apollo on the Moon*, New York: Dial Press, 1969.
— "Letter from the Space Center", *New Yorker*, 25 Temmuz 1969.
Cooper, Keith, *Origins of the Universe: The Cosmic Microwave Background and the Search for Quantum Gravity*, Londra: Icon Books, 2020.
Corfield, Richard, "One Giant Leap", *Chemistry World*, Ağustos 2009.
Cott, Jonathan, "The Cosmos: An Interview with Carl Sagan", *Rolling Stone*, 25 Aralık 1980.

Cottrell, Geoff, *Matter: A Very Short Introduction*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2019.

Couper, Heather ve Nigel Henbest, *The History of Astronomy*, Richmond Hill, Ontario: Firefly Books, 2007.

Cowan, Robert, "Scientists Uncover First Direct Evidence of Water in Halley's Comet: New Way to Study Comets Will Help Yield Clues to Solar System's Origin", *Christian Science Monitor*, 13 Ocak 1986.

Crane, Kathleen, *Sea Legs: Tales of a Woman Oceanographer*, Boulder, CO: Westview Press, 2003.

Crease, Robert P. ve Charles C. Mann, *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*, New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 1996.

Crick, Francis, "Biochemical Activities of Nucleic Acids: The Present Position of the Coding Problem", *Brookhaven Symposia in Biology* 12 (1959).

— *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*, New York: Basic Books, 1988.

Crowell, John, "Preston Cloud", *National Academy of Sciences: Biographical Memoirs* içinde, c. 67, Washington, DC: National Academy Press, 1995.

Crowther, James, *Scientific Types*, Chester Springs, PA: Dufour, 1970.

Dahm, Ralf, "Discovering DNA: Friedrich Miescher and the Early Years of Nucleic Acid Research", *Human Genetics* 122, no. 6 (Ocak 2008).

— "The First Discovery of DNA: Few Remember the Man Who Discovered the 'Molecule of Life' Three-Quarters of a Century before Watson and Crick Revealed Its Structure", *American Scientist* 96, no. 4 (2008).

— "Friedrich Miescher and the Discovery of DNA", *Developmental Biology* 278, no. 2 (15 Şubat 2005).

Datta, Sourav, Chul Min Kim ve diğ. "Root Hairs: Development, Growth and Evolution at the Plant-Soil Interface", *Plant and Soil* 346, no. 1 (1 Eylül 2011).

Davidson, Keay, *Carl Sagan: A Life*, New York: Wiley, 1999.

Deamer, David, *First Life: Discovering the Connections between Stars, Cells, and How Life Began*, Berkeley: University of California Press, 2012.

Deamer, David W., "From 'Banghasomes' to Liposomes: A Memoir of Alec Bangham, 1921-2010", *FASEB Journal* 24, no. 5 (Mayıs 2010).

de Angelis, Alessandro, "Atmospheric Ionization and Cosmic Rays: Studies and Measurements before 1912", *Astroparticle Physics* 53 (Ocak 2014).

Debus, Allen G., *Chemistry and Medical Debate: Van Helmont to Boerhaave*, Canton, MA: Science History, 2001.

de Duve, Christian, "The Beginnings of Life on Earth", *American Scientist* 83, no.5 (1995).

de Duve, Christian ve Henri Beaufay, "A Short History of Tissue Fractionation", *Journal of Cell Biology* 91, no. 3 (1 Aralık 1981).

de Duve, Christian ve George E. Palade, "Obituary: Albert Claude, 1899-1983", *Nature* 304, no. 5927 (18 Ağustos 1983).

Deprit, Andre, "Monsignor Georges Lemaître", *The Big Bang and Georges Lemaît-*

re: Proceedings of the Symposium, Louvain-La-Neuve, Belgium, October 10-13, 1983 içinde, haz. A. Berger, Dordrecht, Hollanda: D. Reidel, 1984.

de Maria, M., M. G. Ianniello ve A. Russo, "The Discovery of Cosmic Rays: Rivalries and Controversies between Europe and the United States", *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 22, no. 1 (1991).

DeVorkin, David, Bart Bok ile AIP sözlü tarih röportajı, 17 Mayıs 1978, http://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4518-2.

— Fred Whipple ile AIP sözlü tarih röportajı, 29 Nisan 1977, https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/5403.

DeVorkin, David H. *Henry Norris Russell: Dean of American Astronomers*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

Dick, Steven J. ve James Edgar Strick, *The Living Universe: NASA and the Development of Astrobiology*, New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 2004.

Donnan, Frederick G., "The Mystery of Life", *Nature* 122, no. 3075 (1 Ekim 1928).

Dubos, René Jules, "Oswald Theodore Avery, 1877-1955", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 2 (1 Kasım 1956).

— *The Professor, the Institute, and DNA*, New York: Rockefeller University Press, 1976.

— "Rene Dubos's Memories of Working in Oswald Avery's Laboratory", "Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types" eserinin yayımlanışının 35.yıldönümü anısına düzenlenen sempozyum, 1979, https://profiles.nlm.nih.gov/101584575X343.

"Due Credit", *Nature* 496, no. 7445 (18 Nisan 2013).

Echols, Harrison G., *Operators and Promoters: The Story of Molecular Biology and Its Creators*, Berkeley: University of California Press, 2001.

Eijkman, Christiaan, "Christiaan Eijkman Nobel Lecture, 1929", NobelPrize.org.

Eiseley, Loren C., *The Immense Journey*, New York: Vintage Books, 1957.

Emsley, John, *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2011.

Erisman, Jan Willem, Mark A. Sutton ve diğ. "How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World", *Nature Geoscience* 1, no. 10 (Ekim 2008).

Eyles, Don, "Tales from the Lunar Module Guidance Computer", Amerikan Uzay Seferleri Topluluğu'nun Sevk ve İdare Konferansı, Breckenridge, CO, 6 Şubat 2004.

Falkowski, Paul G., *Life's Engines: How Microbes Made Earth Habitable*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Farrell, John, *The Day without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology*, New York: Basic Books, 2005.

Finlay, Mark R. "Science, Promotion, and Scandal: Soil Bacteriology, Legume Inoculation, and the American Campaign for Soil Improvement in the Progressive Era", *New Perspectives on the History of Life Sciences and Agriculture* içinde, haz. Denise Phillips ve Sharon Kingsland, Heidelberg: Springer, 2015.

Fisher, Arthur, "Birth of the Moon", *Popular Science* 230, no. 1 (Ocak 1987).

Flamholz, Avi, Rob Phillips ve Ron Milo, "The Quantified Cell", *Molecular Biology*

of the Cell 25, no. 22 (5 Kasım 2014).

Frank, A. B., "On the Nutritional Dependence of Certain Trees on Root Symbiosis with Belowground Fungi (an English Translation of A. B. Frank's Classic Paper of 1885)", İng. çev. James Trappe, *Mycorrhiza* 15, no. 4 (Haziran 2005).

Frankenburg, Frances Rachel, *Vitamin Discoveries and Disasters: History, Science, and Controversies*, Santa Barbara: Prager, 2009.

Frenkel, V. ve A. Grib, "Einstein, Friedmann, Lemaître: Discovery of the Big Bang", *Proceedings of the 2nd Alexander Friedmann International Seminar* içinde, St. Petersburg, Rusya: Friedmann Laboratory Publishing, 1994.

Galison, Peter L., "Marietta Blau: Between Nazis and Nuclei", *Physics Today* 50, no. 11 (Kasım 1997).

Gbur, Greg, "Paris: City of Lights and Cosmic Rays", *Scientific American* Blog, 4 Temmuz 2011, https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/paris-city-of-lights-and-cosmic-rays.

Gest, Howard, "A 'Misplaced Chapter' in the History of Photosynthesis Research: The Second Publication (1796) on Plant Processes by Dr. Jan Ingen-Housz, MD, Discoverer of Photosynthesis", *Photosynthesis Research* 53, no. 1 (1 Temmuz 1997).

Gibson, Timothy M., Patrick M. Shih ve diğ., "Precise Age of *Bangiomorpha pubescens* Dates the Origin of Eukaryotic Photosynthesis", *Geology* 46, no. 2 (Şubat 2018).

Gilbert, G. Nigel ve Michael Mulkay, *Opening Pandora's Box: A Sociological Analysis of Scientists' Discourse*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1984.

Gingerich, Owen, Cecilia Payne-Gaposchkin ile AIP sözlü tarih röpotajı, 5 Mart 1968, https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4620.

— "The Most Brilliant Ph.D. Thesis Ever Written in Astronomy", *The Starry Universe: The Cecilia Payne-Gaposchkin Centenary: Proceedings of a Symposium Held at the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Massachusetts, October 26-27, 2000* içinde, Schenectady, NY: L. Davis Press, 2001.

Gitschier, Jane, "Meeting a Fork in the Road: An Interview with Tom Cech", *PLOS Genetics* 1, no. 6 (Aralık 2005).

Glashow, Sheldon, "Book Review of *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*", *American Journal of Physics* 68, no. 6 (Haziran 2000).

Godart, O., "The Scientific Work of Georges Lemaître", *The Big Bang and Georges Lemaître: Proceedings of a Symposium in Honour of G. Lemaître Fifty Years after His Initiation of Big-Bang Cosmology, Louvain-La-Neuve, Belgium, 10-13 October 1983* içinde, haz. A. Berger, Heidelberg: Springer, 2012.

Goldscheider, Eric, "Evolution Revolution", *On Wisconsin*, Güz 2009.

Gompel, Claude, *Le destin extraordinaire d'Albert Claude (1898-1983): Découvreur de la cellule, Rénovateur de l'institut Bordet, Prix Nobel de Médecine 1974*, Île-de-France: Connaissances et Savoirs, 2012.

Govindjee ve David W. Krogmann, "A List of Personal Perspectives with Selected Quotations, along with Lists of Tributes, Historical Notes, Nobel and Kettering Awards Related to Photosynthesis", *Photosynthesis Research* 73, no. 1 (Temmuz 2002).

Govindjee, Dmitriy Shevela ve Lars Olof Björn, "Evolution of the Z-Scheme of Photosynthesis: A Perspective", *Photosynthesis Research* 133, no. 1 (Eylül 2017).

Graham, Loren R., *Science in Russia and the Soviet Union: A Short History*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993.

— *Science, Philosophy, and Human Behavior in the Soviet Union*, New York: Columbia University Press, 1987.

Gratzer, Walter, *Terrors of the Table: The Curious History of Nutrition*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2007.

Gregory, Jane, *Fred Hoyle's Universe*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2005.

Gribbin, John, *The Scientists: A History of Science Told through the Lives of Its Greatest Inventors*, New York: Random House, 2003.

Gribbin, John ve Mary Gribbin, *Stardust: Supernovae and Life – the Cosmic Connection*, New Haven, CT: Yale University Press, 2001.

Hagmann, Michael, "Between a Rock and a Hard Place", *Science* 295, no. 5562 (15 Mart 2002).

Haldane, J. B. S., *Possible Worlds*, Londra: Chatto and Windus, 1927.

Hammond, Allen L., *A Passion to Know: 20 Profiles in Science*, New York: Scribner's, 1984.

Hanson, Norwood Russell, "Discovering the Positron (I)", *British Journal for the Philosophy of Science* 12, no. 47 (Kasım 1961).

Harder, Ben, "Water for the Rock", *Science News* 161, no. 12 (23 Mart 2002).

Hargittai, Balazs ve Istvan Hargittai, *Candid Science V: Conversations with Famous Scientists*, Londra: Imperial College Press, 2005.

Harold, Franklin M., *To Make the World Intelligible*, Altona, Manitoba, Canada: FriesenPress, 2017.

Hart, Matthew, *Gold: The Race for the World's Most Seductive Metal*, New York: Simon & Schuster, 2013.

Harvie, David I., *Limeys: The True Story of One Man's War against Ignorance, the Establishment and the Deadly Scurvy*, Stroud, Gloustershire, UK: Sutton Publishing, 2002.

Hawkes, Peter W., "Ernst Ruska", *Physics Today* 43, no. 7 (Temmuz 1990).

Hazen, Robert M., *Genesis: The Scientific Quest for Life's Origin*, Washington, DC: National Academies Press, 2005.

— *The Story of Earth: The First 4.5 Billion Years, from Stardust to Living Planet*, New York: Penguin Books, 2013; Türkçesi: *Dünya'nın Öyküsü*, çev. Gökçe Metin, Redingot Kitap, 2018.

Heap, Sir Brian ve Gregory Gregoriadis, "Alec Douglas Bangham, 10 November 1921-9 March 2010", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society 57* (1 Aralık 2011).

Hedesan, Georgiana D., "The Influence of Louvain Teaching on Jan Baptist Van Helmont's Adoption of Paracelsianism and Alchemy", *Ambix* 68, no. 2-3 (2021).

Helmholtz, Hermann von, *Science and Culture: Popular and Philosophical Essays*, Şikago: University of Chicago Press, 1995.

Henahan, Sean, "From Primordial Soup to the Prebiotic Beach: An Interview with the Exobiology Pioneer Dr. Stanley L. Miller", Ulusal Sağlık Müzesi, Accessexcellence.org, Ekim 1996.

Herculano-Houzel, Suzana, "The Human Brain in Numbers: A Linearly Scaled-Up Primate Brain", *Frontiers in Human Neuroscience* 3 (Kasım 2009).

"Hermann Hellriegel", *Nature* 53, no. 1358 (7 Kasım 1895).

Hockey, Thomas, Virginia Trimble ve diğ. (haz.), "Gilbert, William", *Biographical Encyclopedia of Astronomers* içinde, New York: Springer, 2014.

Hoffman, Paul, "Recent and Ancient Algal Stromatolites", *Evolving Concepts in Sedimentology* içinde, haz. Robert N. Ginsburg, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1973.

Hoffmann, Peter M., *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*, New York: Basic Books, 2012; Türkçesi: *Yaşamın Kökeni: Moleküler Makineler Karmaşadan Düzene Nasıl Ulaşır?*, çev. Mehmet Ali Döke, Say, 2016.

Hofmann, August Wilhelm von, *The Life-Work of Liebig*, Londra: Macmillan, 1876.

Hom, Jennifer ve Shey-Shing Sheu, "Morphological Dynamics of Mitochondria: A Special Emphasis on Cardiac Muscle Cells", *Journal of Molecular and Cellular Cardiology* 46, no. 6 (Haziran 2009).

Honegger, Rosmarie, "Simon Schwendener (1829-1919) and the Dual Hypothesis of Lichens", *The Bryologist* 103, no. 2 (2000).

Hopkins, Frederick Gowland, *Newer Aspects of the Nutrition Problem*, New York: Columbia University Press, 1922.

Horgan, John, "Francis H. C. Crick: The Mephistopheles of Neurobiology", *Scientific American* 266, no. 2 (1992).

— "From My Archives: Quark Inventor Murray Gell-Mann Doubts Science Will Discover 'Something Else'", *Scientific American* Blog, 17 Aralık 2013, https://blogs.scientificamerican.com/cross-check/from-my-archives-quark-inventor-murray-gell-mann-doubts-science-will-discover-e2809csomething-elsee2809d.

— "Remembering Big Bang Basher Fred Hoyle", *Scientific American* Blog, 7 Nisan 2020, https://blogs.scientificamerican.com/cross-check/remembering-big-bang-basher-fred-hoyle/.

Houston, Peterson, *A Treasury of the World's Great Speeches*, New York: Simon & Schuster, 1954.

Howard Hughes Tıp Enstitüsü, *The Discovery of Ribozymes*, Thomas Cech ile HHMI BioInteractive video röportaj, 1995, https://www.biointeractive.org/classroom-resources/discovery-ribozymes.

Hoyle, Fred, *Home Is Where the Wind Blows: Chapters from a Cosmologist's Life*,

Mill Valley, CA: University Science Books, 1994.
— *The Small World of Fred Hoyle: An Autobiography*, Londra: Michael Joseph, 1986.
Hughes, David, "Fred L. Whipple 1906-2004", *Astronomy & Geophysics* 45, no. 6 (1 Aralık 2004).
Hunter, Graeme, *Vital Forces: The Discovery of the Molecular Basis of Life*, San Diego: Academic Press, 2000.
Ingenhousz, Jan, *An Essay on the Food of Plants and the Renovation of Soils*, Londra: Bulmer and Co., 1796.
— *Experiments upon Vegetables: Discovering their great Power of purifying the Common Air in the Sun-shine and of Injuring it in the shade and at Night, to which is joined a new Method of examining the accurate Degree of Salubrity of the Atmosphere,* Londra: Elmsly and Payne, 1779.
Albert Claude ile yapılmış röportaj, Rockefeller Enstitüsü Arşiv Merkezi, RAC FA1444 (Kutu 1, Dosya 5), 1976.
Jess, Allison ve Will Kendrew, "Murchison Meteorite Continues to Dazzle Scientists", ABC News, Goulburn Murray, Avustralya, 28 Aralık 2016, https://www.abc.net.au/news/2016-12-29/murchison-meteorite/8113520.
Jewitt, David ve Edward Young, "Oceans from the Skies", *Scientific American* 312, no. 3 (Mart 2015).
Johnson, George, *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*, 1. basım, New York: Knopf, 1999.
Johnston, Harold S., *A Bridge Not Attacked: Chemical Warfare Civilian Research during World War II*, Singapur: World Scientific, 2003.
Judson, Horace Freeland, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*, New York: Simon & Schuster, 1979.
Kaharl, Victoria A., *Water Baby: The Story of Alvin*, New York: Oxford University Press, 1990.
Kahn, Sherry, "How Much Oxygen Does a Person Consume in a Day?" HowStuffWorks, 11 Mayıs 2021, https://health.howstuffworks.com/human-body/systems/respiratory/question98.htm.
Kamen, Martin D., "A Cupful of Luck, a Pinch of Sagacity", *Annual Review of Biochemistry* 55, no. 1 (1986).
— "Early History of Carbon-14", *Science* 140, no. 3567 (10 Mayıs 1963).
— "Onward into a Fabulous Half-Century", *Photosynthesis Research* 21, 3 (1 Eylül 1989).
— *Radiant Science, Dark Politics: A Memoir of the Nuclear Age*, Berkeley: University of California Press, 1985.
Kellogg, John Harvey, *The New Dietetics: What to Eat and How: A Guide to Scientific Feeding in Health and Disease,* Battle Creek, MI: Modern Medicine Publishing Company, 1921.
Kelly, Cynthia, "John Earl Haynes's Interview", Atomik Miras Vakfı, Manhattan Projesi Söyleşileri, Oak Ridge, TN, 6 Şubat 2017, https://www.manhattanprojectvoices.org/oral-histories/john-earl-hayness-interview.

Kelvin, William Thomson, *Popular Lectures and Addresses*, c. 2, *Geology and General Physics*, Londra: Macmillan, 1894.

King, Elbert, *Moon Trip: A Personal Account of the Apollo Program and Its Science*, Houston: University of Houston, 1989.

Kirschvink, Joseph ve Benjamin Weiss, "Mars, Panspermia, and the Origin of Life: Where Did It All Begin?", *Palaeontologia Electronica* 4, no. 2 (2001), https://palaeo-electronica.org/2001_2/editor/mars.htm.

Klickstein, Herbert S., "Charles Caldwell and the Controversy in America over Liebig's 'Animal Chemistry'", *Chymia* 4 (1953).

Knoll, Andrew H., *A Brief History of Earth: Four Billion Years in Eight Chapters*, New York: HarperCollins, 2021; Türkçesi: *Dünya'nın Kısa Tarihi: Sekiz Bölümde Dört Milyar Yıl,* çev. Aydın Çavdar, Düşbaz, 2023.

Kragh, Helge, "'The Wildest Speculation of All': Lemaître and the Primeval-Atom Universe", *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy* içinde, haz. Rodney D. Holder ve Simon Mitton, Heidelberg, Almanya: Springer, 2012.

Kraus, John, "A Strange Radiation from Above", Kuzey Amerikan AstroFiziksel Gözlemevi, *Cosmic Search* 2, no. 1 (Kış 1980).

Krulwich, Robert, "Born Wet, Human Babies Are 75 Percent Water: Then Comes the Drying", *Krulwich Wonders*, Ulusal Halk Radyosu, 26 Kasım 2013.

Kunzig, Robert, *Mapping the Deep: The Extraordinary Story of Ocean Science*, New York: Norton, 2000.

Kursanov, A. L., "Sketches to a Portrait of A. I. Oparin", *Evolutionary Biochemistry and Related Areas of Physicochemical Biology: Dedicated to the Memory of Academician A. I. Oparin* içinde, Moskova: Bach Institute of Biochemistry, Russian Academy of Sciences, 1995.

Kusek, Kristen, "Through the Porthole 30 Years Ago", *Oceanography* 20, no. 1 (1 Mart 2007).

LaCapra, Véronique, "Bird, Plane, Bacteria? Microbes Thrive in Storm Clouds", *Morning Edition*, Ulusal Halk Radyosu, 29 Ocak 2013.

Lambert, Dominique, *The Atom of the Universe: The Life and Work of Georges Lemaître*, Krakow: Copernicus Center Press, 2016.

— "Einstein and Lemaître: Two Friends, Two Cosmologies", Disiplinlerarası Din ve Bilim Ansiklopedisi (Inters.org).

— "Georges Lemaître: The Priest Who Invented the Big Bang", *Georges Lemaître: Life, Science and Legacy* içinde, haz. Rodney D. Holder ve Simon Mitton, Heidelberg, Almanya: Springer, 2012.

Lamm, Ehud, Oren Harman ve Sophie Juliane Veigl, "Before Watson and Crick in 1953 Came Friedrich Miescher in 1869", *Genetics* 215, no. 2 (1 Haziran 2020).

Lane, Nick, *Life Ascending: The Ten Great Inventions of Evolution*, Londra: Profile Books, 2010; Türkçesi: *Yaşamın Yükselişi: Evrimin On Büyük İcadı,* çev. Ebru Kılıç, Aylak, 2014.

— *Power, Sex, Suicide: Mitochondria and the Meaning of Life*, 2. basım, Oxford, UK: Oxford University Press, 2018.

— *The Vital Question: Why Is Life the Way It Is?* Londra: Profile Books, 2015;

Türkçesi: *Yaşam Neden Var?*, çev. Ebru Kılıç, Koç Üniversitesi Yayınları, 2016.
— "Why Is Life the Way It Is?", *Molecular Frontiers Journal* 3, no. 1 (2019).
Larson, Clarence, Martin Kamen ile röportaj, Bilim ve Teknolojideki Öncüler programı, Oak Ridge Sözlü Tarih Merkezi, 24 Mart 1986, http://cdm16107.contentdm.oclc.org/cdm/ref/collection/p15388coll1/id/523.
Laskar, Jacques ve Mickael Gastineau, "Existence of Collisional Trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth", *Nature* 459, no. 7248 (Haziran 2009).
Lazcano, Antonio, "Alexandr I. Oparin and the Origin of Life: A Historical Reassessment of the Heterotrophic Theory", *Journal of Molecular Evolution* 83, no. 5 (Aralık 2016).
Lazcano, Antonio ve Jeffrey L. Bada, "Stanley L. Miller (1930-2007): Reflections and Remembrances", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 38, no. 5 (Ekim 2008).
Lemaître, Georges, "Contributions to a British Association Discussion on the Evolution of the Universe", *Nature* 128 (24 Ekim 1931).
— "My Encounters with A. Einstein", 1958, Disiplinlerarası Din & Bilim Ansiklopedisi, https://www.inters.org/lemaitre-einsten.
— *The Primeval Atom: An Essay on Cosmogony*, New York: Van Nostrand, 1950.
Levy, David H., *David Levy's Guide to Observing and Discovering Comets*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.
— *The Quest for Comets: An Explosive Trail of Beauty and Danger*, New York: Plenum Press, 1994.
Lieberman, Daniel, *The Story of the Human Body: Evolution, Health, and Disease*, New York: Vintage Books, 2014; Türkçesi: *İnsan Vücudunun Öyküsü: Sağlık, Hastalık ve Evrim*, çev. Raşit Bilgin, Say Yayınları, 2015.
Liebig, Justus, "Justus Von Liebig: An Autobiographical Sketch", İng. çev. J. C. Brown, *Popular Science Monthly* 40 (Mart 1892).
Liebig, Justus Freiherr von, *Animal Chemistry: Or Organic Chemistry in Its Application to Physiology and Pathology*, 2. basım, Dr. William Gregory ve diğ. tarafından ilave notlar ve düzeltmelerle, Cambridge, MA: John Owen, 1843.
Lind, James, *A Treatise on the Scurvy, in Three Parts: Containing an Inquiry into the Nature, Causes, and Cure of That Disease, Together with a Critical and Chronological View of What Has Been Published on the Subject*, Londra: S. Crowder, D. Wilson ve G. Nicholls, T. Cadell, T. Becket and Co., G. Pearch ve W. Woodfall için basıldı, 1772.
Livio, Mario, *Brilliant Blunders: From Darwin to Einstein – Colossal Mistakes by Great Scientists That Changed Our Understanding of Life and the Universe*, New York: Simon & Schuster, 2013; Türkçesi: *Dâhice Hatalar: Darwin'den Einstein'a*, çev. Berna Gülpınar, Altın Kitaplar, 2020.
Lovelock, James E., "Hands Up for the Gaia Hypothesis", *Nature* 344, no. 6262 (Mart 1990).
Lucentini, Jack, "Darkness Before the Dawn – of Biology", *The Scientist* 17, no. 23 (1 Aralık 2003).
MacFarlane, Thos, "The Transmutation of Nitrogen", *Ottawa Naturalist* 8 (1895).

MacLeod, Colin, "Obituary Notice: Oswald Theodore Avery, 1877-1955", *Microbiology* 17, no. 3 (1957).

Maddox, Brenda, *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*, Londra: HarperCollins, 2002; Türkçesi: *DNA'nın Kara Leydisi,* çev. Sibel Sevinç, Ginko Bilim, 2021.

Magiels, Geerdt, "Dr. Jan IngenHousz, or Why Don't We Know Who Discovered Photosynthesis?" Avrupa Bilim Felsefesi Birliği İlk Konferansı, Madrid, 15-17 Kasım 2007.

— *From Sunlight to Insight: Jan IngenHousz, the Discovery of Photosynthesis & Science in the Light of Ecology*, Brüksel: Brussels University Press, 2010.

Maltz, Alesia, "Casimer Funk, Nonconformist Nomenclature, and Networks Surrounding the Discovery of Vitamins", *Journal of Nutrition* 143, no. 7 (Temmuz 2013).

Mancuso, Stefano ve Alessandra Viola, *Brilliant Green: The Surprising History and Science of Plant Intelligence*, Washington, DC: Island Press, 2015; Türkçesi: *Bitki Zekası,* çev. Almıla Çiftçi, Yeni İnsan, 2017.

Margulis, Lynn, "Mixing It Up", *Curious Minds: How a Child Becomes a Scientist* içinde, haz. John Brockman, Londra: Vintage, 2005; Türkçesi: *Meraklı Zihinler: Bir Çocuk Nasıl Biliminsanı Olur*; çev. Ülker İnce, Pegasus, 2020.

Margulis, Lynn ve Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*, New York: Summit Books, 1986.

— *What Is Life?* New York: Simon & Schuster, 1995.

Markel, Howard, *The Secret of Life: Rosalind Franklin, James Watson, Francis Crick, and the Discovery of DNA's Double Helix*, New York: Norton, 2021.

Markham, James M., "European Spacecraft Grazes Comet", *New York Times*, 14 Mart 1986.

Marsden, Brian G., "Fred Lawrence Whipple (1906-2004)", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 117, no. 838 (2005).

Marvin, Ursula B., "Fred L. Whipple", Meteor ve Gezegen Biliminde Sözlü Tarihçeler 13, *Meteoritics & Planetary Science* 39, no. S8 (Ağustos 2004).

— "Gerald J. Wasserburg", Meteor ve Gezegen Biliminde Sözlü Tarihçeler 12, *Meteoritics & Planetary Science* 39, no. S8 (2004).

McCarty, Maclyn, *The Transforming Principle: Discovering That Genes Are Made of DNA*, New York: Norton, 1986.

McCosh, Frederick William James, *Boussingault: Chemist and Agriculturist*, Dordrecht, Hollanda: D. Reidel, 2012.

Meiklejohn, Arnold Peter, "The Curious Obscurity of Dr. James Lind", *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 9, no. 3 (Temmuz 1954).

Menzel, Donald H., "Blast of Giant Atom Created Our Universe", *Modern Mechanix*, Aralık 1932.

Mesler, Bill ve H. James Cleaves II, *A Brief History of Creation: Science and the Search for the Origin of Life*, New York: Norton, 2016.

Meteorit Bilimi Topluluğu, "Murchison", *Meteoritical Bulletin*, https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=16875.

Meuron-Landolt, Monique de, "Johannes Friedrich Miescher: sa personnalité et l'importance de son œuvre", *Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften* 25, no. 1-2 (Ocak 1970).

Mikhailov, V. M., *Put' k istinye [The Path to the Truth]*, Moskova, Sovetskaia Rossiia,1984.

Miklós, Vincze, "Seriously Scary Radioactive Products from the 20th Century", *Gizmodo*, 9 Mayıs 2013, https://gizmodo.com/seriously-scary-radioactive-consumer-products-from-the-498044380.

Miller, Stanley, "The First Laboratory Synthesis of Organic Compounds under Primitive Earth Conditions", *The Heritage of Copernicus: Theories "Pleasing to the Mind"* içinde, haz. Jerzy Neyman, Cambridge, MA: MIT Press, 1974.

Miller, Stanley L. ve Jeffrey L. Bada, "Submarine Hot Springs and the Origin of Life", *Nature* 334, no. 6183 (Ağustos 1988).

Milo, Ron ve Rob Phillips, *Cell Biology by the Numbers*, New York: Garland Science, 2015.

Mirsky, Alfred E., "The Discovery of DNA", *Scientific American* 218, no. 6 (1968).

Mitton, Simon, "The Expanding Universe of Georges Lemaître", *Astronomy & Geophysics* 58, no. 2 (1 Nisan 2017).

— *Fred Hoyle: A Life in Science*, New York: Cambridge University Press, 2011.

— "Georges Lemaître and the Foundations of Big Bang Cosmology", *Antiquarian Astronomer*, 18 Temmuz 2020.

Moberg, Carol L., *Entering an Unseen World: A Founding Laboratory and Origins of Modern Cell Biology, 1910-1974*, New York: Rockefeller U. Press, 2012.

Monroe, Linda, "2 Dispute Popular Theory on Life Origin", *Los Angeles Times*, 18 Ağustos 1988.

Moore, Donovan, *What Stars Are Made Of: The Life of Cecilia Payne-Gaposchkin*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2020.

Morbidelli, A., J. Chambers ve diğ., "Source Regions and Timescales for the Delivery of Water to the Earth", *Meteoritics & Planetary Science* 35, no. 6 (2000).

Morris, Peter J. T., *The Matter Factory: A History of the Chemistry Laboratory*, Londra: Reaktion Books, 2015.

Moses, Vivian ve Sheila Moses, "Interview with Al Bassham", *The Calvin Lab: Oral History Transcript 1945-1963* içinde, 7. Bölüm, Bancroft Kütüphanesi, Bölgesel Sözlü Tarih Dairesi, Lawrence Berkeley Laboratuvarı, Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Yerleşkesi, 2000.

— "Interview with Rod Quayle", *The Calvin Lab: Oral History Transcript 1945-1963* içinde, c. 1, 3. Bölüm, Bancroft Kütüphanesi, Bölgesel Sözlü Tarih Dairesi, Lawrence Berkeley Laboratuvarı, Kaliforniya Üniversitesi Berkeley Yerleşkesi, 2000.

Mulder, Gerardus, *Liebig's Question to Mulder Tested by Morality and Science*, Londra ve Edinburgh: William Blackwood and Sons, 1846.

National Geographic Channel, "Birth of the Oceans", *Naked Science* programı, Mart 2009.

New York Times, "Finds Spiral Nebulae Are Stellar Systems: Dr. Hubbell [sic] Con-

firms View That They Are 'Island Universes' Similar to Our Own", 23 Kasım 1924.
— "Scientists Find Indication of a Vitamin Which Prevents Softening of the Brain", 10 Nisan 1931.
Nicholson, Wayne L., Nobuo Munakata ve diğ., "Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments", *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64, no. 3 (1 Eylül 2000).
Nobel Lectures Physics: Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies, 1922-1941, Amsterdam: Elsevier, 1965.
Nutman, P. S., "Centenary Lecture", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, *Biological Sciences* 317, no. 1184 (1987).
Olby, Robert, "Cell Chemistry in Miescher's Day", *Medical History* 13, no. 4 (Ekim 1969).
— *The Path to the Double Helix: The Discovery of DNA*, Seattle: University of Washington Press, 1974.
Oliveira, Patrick Luiz Sullivan De, "Martyrs Made in the Sky: The *Zénith* Balloon Tragedy and the Construction of the French Third Republic's First Scientific Heroes", *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science* 74, no. 3 (18 Eylül 2019).
Oparin, Aleksandr, *The Origin of Life*, İng. çev. Sergius Morgulis, 2. basım. New York: Dover, 1952.
O'Raifeartaigh, Cormac ve Simon Mitton, "Interrogating the Legend of Einstein's 'Biggest Blunder'", *Physics in Perspective* 20 (Aralık 2018).
Orgel, Leslie E., "Are You Serious, Dr. Mitchell?", *Nature* 402, no. 6757 (4 Kasım 1999).
Otis, Laura, *Rethinking Thought: Inside the Minds of Creative Scientists and Artists*, New York: Oxford University Press, 2015.
Pagel, Walter, *Joan Baptista Van Helmont: Reformer of Science and Medicine*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1982.
Pais, Abraham, *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*, Oxford, UK: Clarendon Press, 1988.
Palade, George E., "Albert Claude and the Beginnings of Biological Electron Microscopy", *Journal of Cell Biology* 50, no. 1 (Temmuz 1971).
Patel, Bhavesh H., Claudia Percivalle ve diğ., "Common Origins of RNA, Protein and Lipid Precursors in a Cyanosulfidic Protometabolism", *Nature Chemistry* 7, no. 4 (Nisan 2015).
"Paul C. Aebersold Interview", *Longines Chronoscope*, CBS, 1953, https://www.youtube.com/watch?v=RFcxsXlUO44.
Payne-Gaposchkin, Cecilia, *Cecilia Payne-Gaposchkin: An Autobiography and Other Recollections*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
Peretó, Juli, Jeffrey L. Bada ve Antonio Lazcano, "Charles Darwin and the Origin of Life", *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 39, no. 5 (Ekim 2009).
Perutz, M. F., "Co-Chairman's Remarks: Before the Double Helix", *Gene* 135, no.1-2 (15 Aralık 1993).

Petterson, Roger, "The Chemical Composition of Wood", *The Chemistry of Solid Wood: Advances in Chemistry* içinde, c. 207, Amerikan Kimya Topluluğu, 1984.
Phillips, J. P., "Liebig and Kolbe, Critical Editors", *Chymia* 11 (Ocak 1966).
Plitt, Charles C., "A Short History of Lichenology", *The Bryologist* 22, no. 6 (1919).
Plumb, Robert, "Brookhaven Cosmotron Achieves the Miracle of Changing Energy Back into Matter", *New York Times*, 21 Aralık 1952.
Portree, David, "The Eagle Has Crashed (1966)", *Wired*, 15 Mayıs 2012.
Poundstone, William, *Carl Sagan: A Life in the Cosmos,* New York: Henry Holt, 2000.
Powell, James, "To a Rocky Moon", *Four Revolutions in the Earth Sciences: From Heresy to Truth* içinde, New York: Columbia University Press, 2014.
Prebble, John, "Peter Mitchell and the Ox Phos Wars", *Trends in Biochemical Sciences* 27, no. 4 (Nisan 2002).
— "The Philosophical Origins of Mitchell's Chemiosmotic Concepts", *Journal of the History of Biology* 34 (2001).
Prebble, John ve Bruce Weber, *Wandering in the Gardens of the Mind: Peter Mitchell and the Making of Glynn*, New York: Oxford University Press, 2003.
Price, Catherine, *Vitamania: How Vitamins Revolutionized the Way We Think about Food*, New York: Penguin Books, 2016.
Prothero, Donald R., *The Story of Life in 25 Fossils: Tales of Intrepid Fossil Hunters and the Wonders of Evolution*, New York: Columbia University Press, 2015; Türkçesi: *Yirmi Beş Keşifte Evrimin Öyküsü*, çev. Cemal Can Tarımcıoğlu, Fol Kitap, 2024.
Quammen, David, *The Tangled Tree: A Radical New History of Life*, New York: Simon & Schuster, 2018; Türkçesi: *Kördüğüm Evrim Ağacı: Yepyeni Bir Yaşam Tarihi*, çev. Akın Emre Pilgir, Tellekt, 2021.
Racker, Efraim, "Reconstitution, Mechanism of Action and Control of Ion Pumps", *Biochemical Society Transactions* 3, no. 6 (1 Aralık 1975).
Radetsky, Peter, "How Did Life Start?", *Discover*, Kasım 1992.
Ralfs, John, "The Lichens of West Cornwall", *Transactions of the Penzance Natural History and Antiquarian Society*, c. 1. Plymouth, 1880.
Reinhard, Christopher T., Noah J. Planavsky ve diğ., "Evolution of the Global Phosphorus Cycle", *Nature* 541, no. 7637 (19 Ocak 2017).
Rentetzi, Maria, Leopold Halpern ile AIP sözlü tarih röportajı, 10 Mart 1999, https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/32406.
— "Blau, Marietta", *Complete Dictionary of Scientific Biography* içinde, c. 19, Detroit: Charles Scribner's Sons, 2008.
— *Trafficking Materials and Gendered Experimental Practices: Radium Research in Early 20th Century Vienna*, New York: Columbia University Press, 2008.
Rheinberger, Hans-Jörg, "Claude, Albert", *Complete Dictionary of Scientific Biography* içinde, c. 20, Detroit: Charles Scribner's Sons, 2008.
Rhodes, Richard, *The Making of the Atomic Bomb*, New York: Simon & Schuster, 1986.
Righter, Kevin, John Jones ve diğ., "Michael J. Drake (1946-2011)", *Geochemical*

Society News, 1 Ekim 2011.
Riordan, Michael, *The Hunting of the Quark: A True Story of Modern Physics*, New York: Simon & Schuster, 1987.
Roddis, Louis Harry, *James Lind, Founder of Nautical Medicine,* New York: Henry Schuman, 1950.
Rosenfeld, Louis, "The Last Alchemist – the First Biochemist: J. B. van Helmont (1577-1644)", *Clinical Chemistry* 31, no. 10 (Ekim 1985).
Roskoski, Robert, "Wandering in the Gardens of the Mind: Peter Mitchell and the Making of Glynn", *Biochemistry and Molecular Biology Education* 32, no. 1 (2004).
Rosner, Robert W. ve Brigitte Strohmaier, *Marietta Blau, Stars of Disintegration: Biography of a Pioneer of Particle Physics*, Riverside, CA: Ariadne Press, 2006.
Russell, Percy ve Anita Williams, *The Nutrition and Health Dictionary*, New York: Chapman and Hall, 1995.
Ryan, Frank, *Darwin's Blind Spot: Evolution Beyond Natural Selection*, Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2002.
Sagan, Carl, *Conversations with Carl Sagan*, haz. Tom Head, Jackson: University Press of Mississippi, 2006.
Sagan, Dorion, *Lynn Margulis: The Life and Legacy of a Scientific Rebel*, White River Junction, VT: Chelsea Green, 2012; Türkçesi: *Lynn Margulis: İsyankâr Bilimcinin Yaşamı ve Mirası,* çev. Sibel Sevinç, Ginko, 2018.
Saier, Milton H. Jr., "Peter Mitchell and the Life Force", https://petermitchellbiography.wordpress.com/.
Sapp, Jan, *Evolution by Association: A History of Symbiosis*, New York: Oxford University Press, 1994.
Schmidt, Albert, "Essai d'une biologie de l'holophyte des Lichens", *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle, Série B, Botanique 3* (1953).
Schopf, William, *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999.
— *Life in Deep Time: Darwin's "Missing" Fossil Record,* Boca Raton, FL: CRC Press, 2018.
— *Major Events in the History of Life*, Boston: Jones & Bartlett Learning, 1992.
Schuchert, Charles, "Charles Doolittle Walcott, (1850-1927)", *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 62, no. 9 (1928).
Segré, Daniel ve Doron Lancet, "Theoretical and Computational Approaches to the Study of the Origin of Life", *Origins: Genesis, Evolution and Diversity of Life* içinde, haz. Joseph Seckbach, Dordrecht, Hollanda: Springer, 2005.
Sender, Ron, Shai Fuchs ve Ron Milo, "Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body", *PLOS Biology* 14, no. 8 (19 Ağustos 2016).
Sender, Ron ve Ron Milo, "The Distribution of Cellular Turnover in the Human Body", *Nature Medicine* 27, no. 1 (Ocak 2021).
Seward, Albert Charles, *Plant Life through the Ages: A Geological and Botanical Retrospect*, 2. basım, New York: Hafner, 1959.
Sharkey, Thomas D., "Discovery of the Canonical Calvin-Benson Cycle", *Pho-*

tosynthesis Research 140, no. 2 (1 Mayıs 2019).
Shaw, Bernard, *Annajanska, the Bolshevik Empress: A Revolutionary Romancelet, in Selected One Act Plays*, Harmondsworth: Penguin, 1976.
Shindell, Matthew, *The Life and Science of Harold C. Urey*, Şikago: University of Chicago Press, 2019.
Sime, Ruth Lewin, "Marietta Blau: Pioneer of Photographic Nuclear Emulsions and Particle Physics", *Physics in Perspective* 15 (2013).
Smith, Annie Lorrain, *Lichens*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1921.
Stager, Curt, *Your Atomic Self: The Invisible Elements That Connect You to Everything Else in the Universe*, New York: Thomas Dunne Books, 2014.
Steinmaurer, Rudolf, "Erinnerungen an V.F. Hess, Den Entdecker der Kosmischen Strahlung, und an Die ersten Jahre des Betriebes des Hafelekar-Labors", *Early History of Cosmic Ray Studies* 118 (1985).
Step, Edward, *Plant-Life: Popular Papers on the Phenomena of Botany*, Londra: Marshall Japp, 1881.
Stevens, Charles, "The Neuron", *Scientific American* 241, no. 3 (Eylül 1979).
St. Louis Post-Dispatch, "Is Vitamine Starvation the True Cause of Cancer?" 27 Ekim 1924.
Sullivan, Walter, "Subatomic Tests Suggest a New Layer of Matter", *New York Times*, 25 Nisan 1971.
— *We Are Not Alone: The Search for Intelligent Life on Other Worlds*, gözden geçirilmiş basım, New York: Dutton, 1993.
Sundermier, Ali, "The Particle Physics of You", *Symmetry magazine* (3 Kasım 2015), https://www.symmetrymagazine.org/article/the-particle-physics-of-you; Türkçesi: "İnsan Bedeninin Parçacık Fiziği", çev. Sevkan Uzel, *Bilimfili* (5 Kasım 2015), https://www.bilimfili.com/insan-bedeninin-parcacik-fizigi.
Tegmark, Max, "Solid. Liquid. Consciousness.", *New Scientist* 222, no. 2964 (12 Nisan 2014).
Telegraph, The (Londra), "Lynn Margulis", 13 Aralık 2011.
Tera, Fouad, Dimitri A. Papanastassiou ve Gerald J. Wasserburg, "A Lunar Cataclysm at ~3.95 AE and the Structure of the Lunar Crust", *Lunar Science IV* içinde (1973).
Thoreau, Henry David, *Walden*, Boston: Ticknor & Fields, 1854; Beacon Press, 2004; Türkçesi: *Walden*, çev. Emre Can Ercan, Zeplin, 2019.
Thorpe, Thomas Edward, *Essays in Historical Chemistry*, Londra: Macmillan, 1902.
Times, The (Londra), "The British Association: Evolution of the Universe", 30 Eylül 1931.
Tobey, Ronald C., *Saving the Prairies: The Life Cycle of the Founding School of American Plant Ecology, 1895-1955*, Berkeley: University of California Press, 1981.
Townes, Charles H., "The Discovery of Interstellar Water Vapor and Ammonia at the Hat Creek Radio Observatory", *Revealing the Molecular Universe: One Antenna Is Never Enough* içinde, Kaliforniya Üniversitesi'nde düzenlenen sem-

pozyumdan bildiriler, Berkeley, Kaliforniya, ABD, 9-10 Eylül 2005, Pasifik Astronomi Topluluğu.
— *How the Laser Happened: Adventures of a Scientist*, New York: Oxford University Press, 2002.
— "Microwave and Radio-Frequency Resonance Lines of Interest to Radio Astronomy", *International Astronomical Union Symposium, no. 4, Radio Astronomy* içinde, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1957.
"Tracing the Lost Railway Lines of Indonesia: The Forgotten Steamtram of Batavia", https://indonesialostrailways.blogspot.com/p/the-forgotten-steamtram-of-batavia.html.
Trewavas, Anthony, "The Foundations of Plant Intelligence", *Interface Focus* 7, no. 3 (6 Haziran 2017).
— "Mindless Mastery", *Nature* 415, no. 6874 (21 Şubat 2002).
Trewavas, Anthony ve František Baluška, "The Ubiquity of Consciousness", *European Molecular Biology Organization, EMBO Reports* 12, 12 (1 Aralık 2011).
Turner, R. Steven, "Justus Liebig versus Prussian Chemistry: Reflections on Early Institute-Building in Germany", *Historical Studies in the Physical Sciences* 13, no. 1 (1982).
USDA FoodData Central website, "Bananas, Ripe and Slightly Ripe, Raw", 1 Nisan 2020, https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1105314/nutrients.
Valley, John W., "A Cool Early Earth?", *Scientific American* 293, no. 4 (Ekim 2005).
Van Klooster, H. S., "Jan Ingenhousz", *Journal of Chemical Education* 29, no. 7 (1 Temmuz 1952).
Vedder, Edward Bright, *Beriberi*, New York: William Wood, 1913.
Vernadsky, Vladimir I., *The Biosphere*, haz. Mark Mcmenamin, İng. çev. David Langmuir, New York: Copernicus, 1998.
Von Braun, Wernher, Fred L. Whipple ve Willy Ley, *Conquest of the Moon*, haz. Cornelius Ryan, New York: Viking Press, 1953.
Wächtershäuser, Günter, "Before Enzymes and Templates: Theory of Surface Metabolism", *Microbiological Reviews* 52, no. 4 (Aralık 1988).
— "The Origin of Life and Its Methodological Challenge", *Journal of Theoretical Biology* 187, no. 4 (21 Ağustos 1997).
Wade, Nicholas, "Heart Muscle Renewed over Lifetime, Study Finds", *New York Times*, 2 Nisan 2009.
— "Making Sense of the Chemistry That Led to Life on Earth", *New York Times*, 4 Mayıs 2015.
— "Meet Luca, the Ancestor of All Living Things", *New York Times*, 25 Temmuz 2016.
— "Stanley Miller, Who Examined Origins of Life, Dies at 77", *New York Times*, 23 Mayıs 2007.
— "Your Body Is Younger Than You Think", *New York Times*, 2 Ağustos 2005.
Wagener, Leon, *One Giant Leap: Neil Armstrong's Stellar American Journey*, Brooklyn, NY: Forge Books, 2004.
Walcott, Charles Doolittle, *Pre-Cambrian Fossiliferous Formations*, Rochester, NY:

Geological Society of America, 1899.
— "Pre-Carboniferous Strata in the Grand Canyon of the Colorado, Arizona", *American Journal of Science* 26 (Aralık 1883).
— "Report of Mr. Charles D. Walcott, July 2", *Fourth Annual Report of the Director of the United States Geological Survey* içinde, Washington, DC: US Government Printing Office, 1885.
Wald, George, Nobel Ödülleri ziyafetindeki söylevi, *1967 yılı Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü*, Stockholm, 10 Aralık 1967.
Walker, Gabrielle, *Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe That Spawned Life as We Know It*, New York: Crown, 2003.
Walker, John, *Fuel of Life*, Nobel konuşmasının video kaydı, 2018, https://www.royalacademy.dk/en/ENG_Foredrag/ENG_Walker.
Walker, Timothy, *Plants: A Very Short Introduction*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2012.
Walter, Michael, "From the Discovery of Radioactivity to the First Accelerator Experiments", *From Ultra Rays to Astroparticles: A Historical Introduction to Astroparticle Physics* içinde, haz. Brigitte Falkenburg ve Wolfgang Rhode, Dordrecht, Hollanda: Springer, 2012.
Watson, James D. ve Andrew Berry, *DNA: The Secret of Life*, New York: Knopf, 2003.
Watson, James D., Alexander Gann ve Jan Witkowski, *The Annotated and Illustrated Double Helix,* New York: Simon & Schuster, 2012.
Weaver, Kenneth, "What the Moon Rocks Tell Us", *National Geographic,* Aralık 1969.
Web of Stories, Francis Crick ile röportaj, "Molecular Biology in the Late 1940s", 1993, https://www.webofstories.com/people/francis.crick/33?o=SH.
Web of Stories, James Watson ile röportaj, "Complementarity and My Place in History", 2010, https://www.webofstories.com/people/james.watson/29?o=SH.
Webb, Richard, "Listening for Gravitational Waves from the Birth of the Universe", *New Scientist*, 16 Mart 2016.
Weiner, Charles, William Fowler ile AIP sözlü tarih röportajı, 6 Şubat 1973, https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4608-4.
Weiss, Benjamin P., Joseph L. Kirschvink ve diğ., "A Low Temperature Transfer of ALH84001 from Mars to Earth", *Science* 290, no. 5492 (27 Ekim 2020).
West, Bert, "Moon Rocks Go to Experts on Friday", *Newsday*, 10 Eylül 1969.
Wetherill, George W., "Contemplation of Things Past", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26, no. 1 (1998).
— "The Formation of the Earth from Planetesimals", *Scientific American* 244, no. 6 (Haziran 1981).
Whipple, Fred L., "Of Comets and Meteors", *Science* 289, no. 5480 (4 Ağustos 2000).
Wilford, John Noble, "Moon Rocks Go to Houston; Studies to Begin Today: Lunar Rocks and Soil Are Flown to Houston Lab", *New York Times*, 26 Temmuz 1969.
Wilkins, Maurice, *Maurice Wilkins: The Third Man of the Double Helix: An Auto-*

biography, Oxford, UK: Oxford University Press, 2005.
Williams, Gareth, *Unravelling the Double Helix: The Lost Heroes of DNA*, Londra: Weidenfeld & Nicolson, 2019.
Wills, Christopher ve Jeffrey Bada, *The Spark of Life: Darwin and the Primeval Soup*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2000.
Wilson, Charles Morrow, *Roots: Miracles Below,* New York: Doubleday, 1968.
Wolchover, Natalie, "Geological Explorers Discover a Passage to Earth's Dark Age", *Quanta Magazine*, 22 Aralık 2016.
Woodard, Helen Q. ve David R. White, "The Composition of Body Tissues", *British Journal of Radiology* 59, no. 708 (Aralık 1986).
Yarris, Lynn, "Ernest Lawrence's Cyclotron: Invention for the Ages", Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, Bilim Makaleleri Arşivi, https://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/early-years.html.
Yochelson, Ellis Leon, *Charles Doolittle Walcott, Paleontologist*, Kent, OH: Kent State University Press, 1998.
Yong, Ed, "Trees Have Their Own Internet", *The Atlantic*, 14 Nisan 2016.
Zahnle, Kevin, Laura Schaefer ve Bruce Fegley, "Earth's Earliest Atmospheres", *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology* 2, no. 10 (Ekim 2010).
"The *Zenith* Tragedy: The Dangers of Hypoxia", *Those Magnificent Men in Their Flying Machines*, https://www.thosemagnificentmen.co.uk/balloons/zenith.html.
Ziegler, Charles A., "Technology and the Process of Scientific Discovery: The Case of Cosmic Rays", *Technology and Culture* 30, no. 4 (Ekim 1989).
Zimmer, Carl, "Vitamins' Old, Old Edge", *New York Times,* 9 Aralık 2013.
Zimmermann, Albrecht, "Nachrufe: Simon Schwendener", *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 40 (1922).
Zweig, George, "Origin of the Quark Model", Dördüncü Uluslararası Baryon Rezonansları Konferansı Bildirileri, Toronto, 14-16 Temmuz 1980.

Dizin

Abernathy, Ralph 81
adenin 131, 278, 291, 297-301
Aebersold, Paul 326
ağaçlar 230, 241
  aralarındaki iletişim 232-33
  ve mantarlar 221-22, 238
aksiyon potansiyelleri 235, 237
akyuvarlar 276
Aldrin, Buzz 79-81
algler 113, 118, 183, 185, 211, 213, 215-16, 219-21, 228
Alpher, Ralph 28-29
Altman, Sidney 143
alyuvarlar 138, 306n, 327
amino asitler 114, 122-25, 130-33, 137-38, 140, 148-49, 151, 154, 156, 158-59, 171, 209, 253, 270, 278-79, 301-2, 304, 325
amonyak 96, 118, 121, 125, 129-31, 149, 150, 224, 226-27, 241
Anderson, Carl 38-40, 44
Andromeda Galaksisi 338
anemi 274, 314
Anson, George 255-56
antimadde 30, 39, 40, 333
antioksidanlar 197, 271
Apollo programı 79, 81, 84
Archibald, John 207, 210
Aristoteles 115, 169
arkeler 159, 207n, 209, 211
Armstrong, Neil 79-81
asteroitler 79, 83-87, 96, 102-8, 110, 125, 134-36, 147, 157
atmosfer 118, 120, 125-26, 186-87, 241
  azot 223
  karbondioksit 200-2, 336-37
  oksijen 189, 195-97, 201, 207, 212-17, 336
  ozon 126, 215
  ve siyanobakteriler 201, 207
atom bombası 61-62, 73, 119-20, 180, 181, 200, 285
atomaltı parçacıklar 16, 28, 33, 39-40, 44, 126, 172, 174, 177, 284, 333, 336, 338
atomlar 13-14, 31-33, 332-38
  ilk atomlar 25, 51
  insan bedenindeki atomların yenilenmesi 326-27
  oluşumları 29-30, 64-65, 68-69
ATP (adenozin trifosfat) 154, 158, 186, 315-23, 329, 336
Avery, Oswald 279-85, 288, 300, 311n
Ay 75, 78-79, 93
  asteroit ve kuyrukluyıldız bombardımanı 79, 83-87
  astronotların inişi 78-82, 84-85
  Ay taşları 78-85, 132
  kraterler 79-80, 83, 84-86
  oluşumu 75, 108, 110, 157
azot 68, 77, 117, 125, 130-31, 176-77, 180, 212, 216, 223-27, 239, 241, 250-53, 265, 291

Baade, Walter 61, 66
Bada, Jeffrey 148, 151-52
bağışıklık sistemi 270, 273, 278
Bakh, Alexei 113, 116
bakır 66, 152, 197, 272-73
bakteriler 68, 92, 118, 132, 137, 147,

150, 156-59, 188-89, 191-98, 201-16, 220-21, 226-27, 238-41, 269-64, 271, 274, 279-84, 302, 309, 311n, 320-21, 336-37
bağırsaktaki 263
mitokondrilerin ve kloroplastların bakterilerden evrilmesi 205-11, 320-21
neden oldukları hastalıklar 68, 205, 259-63, 280-84, 309
okyanus tabanındaki 147
Baldwin, Ian 232
balıklar 215-16
Ballard, Bob 144
Baluška, František 236, 238-39
Bangham, Alec 138-39, 323
Barghoorn, Elso 194-95
Barnes, Ernest 20, 340-41
Baross, John 147
Bassham, James 183
bazalt 83
Becquerel, Henri 33-34
belirsizlik ilkesi 28
Benson, Andrew 182-86
beriberi 254, 259-66, 272, 274
berilyum 51, 60
Berzelius, Jöns 115, 249
besin yetersizlikleri
beriberi 254, 259-67, 272, 274
iskorbüt 254-59, 265-67, 274
pellagra 254, 265, 267, 274
raşitizm 254, 265, 267-68, 271
beyin 15, 35, 37, 92, 93, 114-15, 122, 124, 133, 198, 230-32, 238-39, 274n, 305, 321,
hücrelerinin yenilenmeyişi 328
bilinç 114-15, 239-40, 307, 334-35
bilinçdışı 15
bilişsel önyargılar 15-16, 26, 100, 130, 193, 202, 206, 220, 239, 251, 266, 279, 283, 309, 318, 238-39
Birinci Dünya Savaşı 20, 54, 59, 180, 308
bitkiler 188, 189, 194, 203, 217-42, 336, 339
adaptasyon 230, 231, 237, 238
evrimleri 208-9, 211-12, 214-16
ve kalsiyum 221, 234-35, 237
kökleri 221, 228-29, 236, 238-40
zekâ 231-40
bitki bilinci 239-40
Bitkilerin Gizli Yaşamı (Tompkins ve Bird) 232
Blau, Marietta 40-44, 45, 49
Bohr, Niels 39, 55, 115
Boussingault, Jean-Baptiste 223-25, 248
Boyer, Paul 319-20
Braam, Janet 238, 240
Bragg, Lawrence 269, 289, 292, 296
Britanya Bilimi İlerletme Topluluğu 19, 25, 340
Budyko, Mihail 200
bulut odacığı 38, 42, 44, 45, 49, 54
Burbidge, Margaret ve Geoffrey 66
buzullar 197-203, 213
Büyük Darbe 75, 77, 157
Büyük Kanyon 190-92
Büyük Oksidasyon Olayı 195-97
Büyük Patlama 27-30, 31, 51, 59, 64, 68, 242, 329, 332-33, 335, 338, 340-41

Caltech (Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü) 38, 46, 62-63, 66, 67, 83, 198, 289, 297
Calvin-Benson döngüsü 184-86
Calvin, Melvin 182-87
Carroll, Sean 302
Catling, David 211, 214
Cech, Thomas 141-43
Ceres 85
CERN 49, 172
Chambers, John 103-4
Chargaff, Erwin 284, 297, 299
Chyba, Chris 135
ciğerotları 216, 220, 227
Clarke, Arthur C. 91

Claude, Albert 307-15, 319, 329, 331
Cloud, Preston 194-96, 201, 207
Cody, George 156, 330
Corliss, Jack 144-48
Crane, Kathy 135
Crick, Francis 16, 124, 138-40, 143, 275, 285, 288-301, 313
Curie, Marie 40-41
Curie, Pierre 40

çiçek hastalığı 163-65
çinko 68-69, 150, 197, 272-73

Darwin, Charles 113, 115-16, 118, 137, 191, 194, 231-32, 275
Davis, Donald 75
de Duve, Christian 137, 313-14
demir 15, 51, 56-58, 60, 62, 65-68, 150, 195-96, 198-99, 221, 272-73
  Demir Felaketi 77
  Dünya'nın çekirdeğindeki 56, 75-77, 87, 126
dışkı 224, 225, 249-50, 252-53
dinozorlar 86
Dirac, Paul 39
DNA (deoksiribo nükleik asit) 16, 65, 78, 92, 114, 117, 124-27, 130-31, 134, 137-41, 158-59, 196-97, 205-7, 209n, 212, 221, 223, 227, 245, 270, 275-306, 311n, 314, 320-21, 324-27, 329, 336, 339
  A ve B formları 292-93, 295
  "çöp" veya işe yaramaz 303
  mitokondrilerde ve kloroplastlarda 205-9
  mutasyonlar 298, 303
  nükleotitler 125, 134, 138, 140, 142, 156, 158
  X ışını kristalografisi 285-89, 294, 319
döllenme 278, 306
döteryum 101, 120, 176, 177
Drake, Mike 105-6
Dünya 14, 56-58, 47, 68, 70, 74-78, 85-86, 117-18, 189
  Büyük Darbe etkisi 75, 77, 157
  Kambriyen Dönem 190, 192, 194
  Kartopu Dünya kuramı 201-3, 213-15
  kuyrukluyıldızların ve asteroitlerin bombardımanı 84-87, 101-4, 107-8, 110, 126, 147-48, 149, 157
  manyetik alanı 76-78, 126, 198-99
  oluşumu 70-76, 86, 105-8, 105-8, 118, 157, 336
Dünya dışı yaşam 91, 132

Eddington, Arthur 22-26, 54-55
Edison, Thomas 37
Eijkman, Christiaan 260-67, 274
Einstein, Albert 21-29, 31, 39, 43, 51, 54, 202, 210, 324, 335n, 338
elektrik deneyleri 165
elektriksel yükler ve akımlar 33-36, 248, 317, 320-22, 323, 329, 332
elektromanyetizma 29, 34, 37, 38, 60, 127
elektron mikroskobu 115, 138, 206, 314, 317, 323
elektron mikroskopisi 115, 138, 206, 312-15, 317
elektronlar 28, 32, 34, 38-40, 44, 49-51, 54, 56, 65, 67n, 78, 93, 114, 154-55, 186, 196, 312-13, 317, 321, 333, 339, 340
embriyo 277, 305
Encke kuyrukluyıldızı 95-96
endoplazmik retikulum 314
enerji krizi 182, 187
enzimler 66, 126, 131, 133, 140-43, 150, 185-86, 196-97, 221, 270, 276, 281-82, 304-9, 312, 314, 316-21, 324, 327, 329, 331, 337
evrim 110, 113, 116, 118, 190, 206, 340
  bitkiler 107, 208-9, 211-12, 214-16
  genler 208
  hayvanlar 213-15
  ortakyaşam (simbiyoz) 206, 209, 211

Fermi, Enrico 45, 46
Feynman, Richard 46, 49
folik asit 131
formaldehit 94, 130-31, 146, 271
fosfatlar 291, 315-16, 319
fosfor 68, 77, 117, 173, 212-14, 216, 221, 239, 272, 276-77, 291, 316
fosil yakıtlar 214n, 336
fosiller 156, 190-94, 196, 203, 210-11, 222, 339
fotosentez 113, 118, 146-47, 163-90, 193-94, 196, 199, 201-3, 205, 207, 211-17, 220-21, 240-41, 316, 336
Fowler, Alfred 57-58
Fowler, William 63-64, 66, 68
Frank, Albert 221-22
Franklin, Benjamin 165
Franklin, Rosalind 139, 286-87, 290-96, 299-300
frengi 205, 210
Funk, Casimir 265-67

Gaia hipotezi 210, 217n
galaksiler 22-25, 338
Galen 248-49, 258
Galileo Galilei 76, 169, 170
Galvani, Luigi 321
Gamow, George 28-29, 59-60
Geç Dönem Ağır Bombardıman 85-86, 108, 110, 147, 157
Gell-Mann, Murray 46-51, 334, 338
genler 119, 141-42, 148, 187, 203, 205, 208, 210-11, 230-31, 279, 283-85, 288-89, 291, 294, 297-98, 300-1, 303-6, 311n, 327, 329
  hayalet genler 303
  mutasyonlar 303, 327
  sıçrayan genler 303
gezegenler 56, 70-76, 85, 87, 91-92, 96, 339
Gilbert, William 76, 143
glikoz 133, 171, 184, 185, 325
gluon 49-51, 68, 333, 338
Golgi cisimciği 308, 314
Golubic, Stjepko 189, 193, 194, 343
Gosling, Raymond 286-88, 291-92, 295, 299
görelilik kuramı 22, 23, 27-30, 39, 338
Griffith, Frederick 280-81
gübreler 212, 213, 225, 227, 248
Güneş 54, 56-59, 65, 67, 71-75, 77, 187, 202, 316
Güneş Sistemi 30, 69, 70, 72, 74, 76, 85-87, 91-92, 96, 99, 102, 105-7, 110, 305-6, 336

Haber, Fritz 20, 227
Haldane, J. B. S. 70, 118-19
Halley kuyrukluyıldızı 96-97
Harold, Franklin 120, 176, 270, 314, 323, 330, 333, 335
hastalıkların mikrop kuramı 263-64, 276
hayvanlar 212, 240-41
  okyanuslardaki 146-47, 211-12, 240
Heisenberg, Werner 28
Hellriegel, Hermann 225-27
Helmholtz, Hermann von 116, 134
helyum 51, 57-60, 62-65, 74, 105, 177, 187
hemoglobin 273, 289, 296, 304, 306n
Herman, Robert 29
Hess, Victor 34-36, 38, 40, 42
hidrojen 33, 35, 50-51, 53, 56-58, 60, 62, 64-65, 74-75, 93, 101, 105, 117-18, 121, 125, 130-31, 149, 154, 165, 171, 176, 179, 186-87, 227-29, 250, 267, 291, 297-98, 309, 317, 319-20, 329, 336
hidrojen bombası, 49, 100
hidrojen siyanür, 110, 129, 134
hidrojen sülfür, 110, 125-26, 129, 134
hidroklorik asit 130, 250, 276
hidrotermal bacalar, 123-34, 174-75, 177, 180, 294
hipokampus 124, 328
Hoffman, Paul 202-2
Hoffmann, Peter 324, 329

Hopkins, Frederick Gowland 264, 266-67
Hoppe-Seyler, Felix 275-77
hormonlar 133, 234, 236-38, 273
Hoyle, Fred 27, 53, 59-68, 95, 120, 134, 210
Hubble, Edwin 22, 24, 27, 58, 61, 172
Humboldt, Alexander von 224
hücreler 126, 274-76, 306-33, 336-37
  ATP 1514, 158, 186, 315-23, 329, 336
  çekirdek 276-77, 313
  elektron mikroskopisi 115, 138, 206, 312-15, 317
  enerji üretimi 154, 203, 205, 207, 209, 210-11, 216, 315-22
  hasarlar ve onarım mekanizmaları 324-25
  hücre zarı, 117-18, 122, 129, 137, 189, 291, 292, 294
  ilk 116, 137-59
  kan hücreleri 138, 276, 305
  keşfi 277-78
  kloroplastlar 171, 185, 204-9, 211, 216, 228
  mitokondri 150, 204-11, 216, 306, 308, 315-20, 323, 326, 328-29
  ökaryotik 203, 207-11

ışık, yıldız spektrumlarında 55-57
Ingenhousz, Jan 163-70, 174
  fotosentez 113, 118, 146-47, 163-88, 189-90, 193, 194, 196, 199, 201, 203, 205, 207, 211, 213-17, 220-21, 240-41, 316, 336

İkinci Dünya Savaşı 61, 71, 131, 172, 195
inokülasyon 164-65
iyonlar 38, 93, 109, 114, 154, 319, 321-22
  hidrojen iyonu 154, 228-29, 317-20
iyot 273
izotoplar 101, 109, 110n, 120
  radyoaktif 120, 173-81, 326

Jeans, James 20, 71
Jewitt, Dave 99-102, 106, 120
Jüpiter 74, 85, 86, 102, 104, 107, 110, 118

kalıtım 115, 119, 205, 277-79, 285, 300, 339
kalp 114, 249, 260, 273, 305, 320, 322, 328
kalsiyum 37, 65, 68, 192, 221, 234-35, 237, 270, 273
  ve bitkiler 221, 234-35, 237
kalsiyum karbonat 201-2
Kambriyen Dönem 190, 192, 194
Kamen, Martin 172-83, 326
kanser 37, 173, 230, 268, 300, 308-11, 313, 327-28, 330
karayosunları 220, 227-28
karbon 14, 60, 62-65, 114, 117, 131, 170, 171, 173-80, 183-85, 216, 229, 248, 250, 267, 291, 326, 336
karbon-11 173-76, 179
karbon-14 176-80, 183, 326
karbondioksit 74, 77, 96, 105, 125, 147, 150, 154, 167, 169-71, 175, 179, 183-88, 200-2, 214n, 253-54, 336
  atmosferdeki 200-2, 336-37
  fotosentezde 167, 169-71, 179, 183-87, 254, 336-37
karbonhidratlar 114, 117, 250-54, 264, 265, 269, 272, 274, 276
Kartopu Dünya 201-3, 213-15
katot ışınları 32, 37
Kelvin, William Thomson, Lord 115-16, 134
kemikler 13, 37, 65, 122, 215, 253-54, 270, 271, 273, 304, 305, 327
kırmızı devler 62, 65-69
kıtasal sürüklenme 78, 199
kimya 247-49, 289, 339
kimyasal silahlar 180, 227
kinesin 323
King, Elbert 79, 81
Kirschner, Dan 325

Kirschvink, Joe 157, 158, 194, 198-202
kitlesel yokoluş 190, 197
klor 15, 20, 214, 272
klorofil 171, 186, 221
kloroplast 171, 185, 204-9, 211, 216, 228
Klug, Aaron 287, 299
Knight, Marc 234-35
Knoll, Andy 195
Koch, Robert 260
kolajen 122, 215, 270, 304
kolera 260
kozmik arka plan ışınımı 29
kozmik ışınlar 36, 38-44, 126, 179n
kozmolojik sabit 24, 26, 29n
kromatografi 183, 284
kromozom 126, 231, 279, 303, 308, 326
kuantum fiziği 28, 32n, 39, 49, 50, 55, 56-58, 115, 284, 289, 312, 333-34, 338
kuarklar 48-51, 68, 333, 334, 338
Kuiper Kuşağı 86, 100, 104, 106, 110
kuyrukluyıldızlar 15, 79, 83-87, 95-104, 106-8, 110, 116, 120, 134-36, 147, 149, 156
  ve su 96-102, 104, 107, 110
kükürt 117, 150, 216, 221, 250
küresel ısınma 178, 336-37
kütle spektrometresi 84, 98
kütleçekim 23, 27, 29, 54, 60, 64, 70-72, 74, 77, 95, 336
Kvenvolden, Keith 132-33

Lacks, Henrietta 330
Lane, Nick 210-11, 328-29
Laplace, Pierre-Simon 70-71
Lavoisier, Antoine 167
Lawrence, Ernest 172-74, 176-82
lazer 28, 127
Lemaître, Georges 19-31, 335
lesitin 132
Levene, Phoebus 278-79, 284
Liebig, Justus von 239, 245-54, 264, 265, 272, 334
likenler 218-22
limon, iskorbüt tedavisinde 255-59, 266
Lind, James 254-59, 266, 267, 274
lipitler 138-39, 156
lizozom 314
Loeb, Avi 28
Luu, Jane 99-100
Lyttleton, Raymond 53, 95-97

madde ve antimadde 30, 39, 40n, 333
magnezyum 65, 114, 221, 272
Mancuso, Stefano 236, 238-39
manganez 68-69, 221, 272-73
Manhattan Projesi 61-62, 129, 176, 181
mantarlar 92, 218, 219-23, 227, 235, 238, 240-41, 270-71, 274, 277
Margulis, Lynn 197, 204-11, 217n, 320, 337
Mars 74-75, 78, 85-87, 97, 99, 102, 105n, 146, 156-59, 187, 202, 216
Martin, William 154-55, 210-11, 320
matematik 46, 48, 71-72, 338
Melosh, Jay 156-58
Mendel, Gregor 119, 279
Mendeleyev, Dmitri 47
Merkür 74, 86
metaller 150, 154
metan 74, 92, 118, 121, 125, 130, 132, 149, 201
meteoritler 78n, 102, 156
meteorlar 96, 99, 132
Miescher, Friedrich 175-78, 280
mikorizal mantarlar 222, 238
mikrofosiller 132
mikroplar (mikroorganizmalar) 84, 159, 164-65, 194, 197, 205, 209, 230, 237, 260-62, 264-66, 276, 281, 320, 337
mikroskoplar 31, 33, 40, 42, 171, 219, 277, 285, 286, 308-9, 311-15, 324
Miller, Stanley 119-25, 131, 133-34, 137, 143, 147-49, 151-52, 176
Millikan, Robert 36, 38-39
mineraller 145, 146, 148-51, 153, 155, 156, 192, 194, 197, 213, 217n,

220-23, 228-30, 234, 238-39, 248, 251, 254, 264-65, 272-74, 320, 336
Mitchell, Peter 315, 317-20, 333
mitokondri 150, 204-11, 216, 306, 308, 314-20, 323, 326, 328-29
miyozinler 323
Morbidelli, Alessandro 85-86, 103-4, 106-7
morötesi (UV) ışınlar 105n, 125-27, 130, 147, 158, 215, 325, 327
müonlar 40, 44

NASA 30n, 73, 78-81, 83, 91-92, 97, 132, 152, 156
nikel 77, 150, 273
Nobel Ödülü 40, 44, 40, 68, 120, 123, 124, 127-29, 143, 179, 182, 185, 227, 285-86, 299-300, 314, 318-20, 335
nöronlar 93, 236, 321, 328
nörotransmitterler 122, 133, 230, 236
nötronlar 32, 39-40, 49-51, 63, 67, 68, 69n, 333, 339
nüklein 277, 278
nükleotitler 125, 134, 138, 140, 143, 156, 158

oksijen 56, 57, 60, 65, 68, 93, 109, 117, 118, 167, 176, 203-4, 207, 211-12, 214-15, 250, 267, 278, 291, 315, 321, 336
okyanuslar 91-92, 99-102, 104, 106-8, 110, 189, 213-16, 240-41
  hayvanlar 146-47, 211-15, 240-41
  hidrotermal bacalar 145, 147-48, 151, 155, 197, 320
  kökeni 91-111
Oort Bulutu 100, 107, 110, 127
Oort, Jan 99, 127
Oparin, Alexander 112-21, 123-25, 134
Oppenheimer, J. Robert 39, 176, 178, 181
organeller 203-8, 314-15, 32-23, 326, 329, 332
Orgel, Leslie 140, 143, 317
Orians, Gordon 232
ortakyaşam 206, 209, 211
ozon tabakası 126, 215

ökaryotik hücreler 203, 207-11
ölümsüzlük 327-28

Palade, George 313, 314
panspermiya 68, 116
parçacık hızlandırıcılar 44, 49, 63-64, 66, 109, 172
Pasteur, Louis 260, 262
Pauling, Linus 289-91, 293-94, 296
Payne, Cecilia 53-59, 60, 67, 68, 71
Pekelharing, Cornelis 259-61, 266
Penrose, Roger 334
periyodik tablo 15, 47, 55-56, 60, 117, 174, 177, 333
Piccard, Auguste 23, 24
pion 44
Plüton 33, 94, 110
plütonyum 62
Poincaré, Henri 21
Popper, Karl 149, 151
potasyum 39, 65, 77, 114, 221, 254, 273, 321-22
pozitronlar 30-40, 44
Prekambriyen Dönem 192-93
Priestley, Joseph 165-69
proteinler 92, 114, 117-18, 122, 125, 143, 151, 158-59, 171, 212, 216-17, 221, 223, 227, 237, 270, 276, 279, 304-6, 314, 323, 326, 329
  azot 250-53
  ve DNA 139-41, 304, 305
  hemoglobin 289, 296, 304
  ve kalıtım 278-79, 282-83, 285, 288, 291
  kolajen 122, 215, 270, 304
  Rubisko 185-87
  yapıları 288-90

yiyeceklerde 250-54, 264, 269, 274, 336
protonlar 32, 33, 38n, 39-41, 44, 49-51, 59-60, 63, 65, 67, 68, 78, 101, 154, 317-21, 329, 333, 339, 340
Prout, William 249-50

Racker, Efraim 316, 317
Radyasyon Laboratuvarı (Berkeley) 172-74, 176, 180, 181-82, 326
radyoaktif izotoplar 120, 173-81, 326
radyoaktivite 33-34, 39, 40-41, 77, 84, 134, 182
radyum 40-41
Radyum Araştırma Enstitüsü 41, 43
Randall, John 286-87, 292-93
raşitizm 254, 265-68, 271
retrovirüsler 303
riboz 278
ribozomlar 143, 301-2, 306, 313-14, 320-21, 325-26, 329, 332, 336
RNA (ribonükleik asit) 125, 131, 140-43, 148, 151, 154, 156, 158-59, 209, 221, 223, 270, 301-2, 306, 311, 313, 321, 329, 336
RNA dünyası 143
Röntgen, Wilhelm 37
Ruben, Sam 172-75, 178-83
Rubisko 185-87
Russell, Henry Norris 27, 56, 58, 61
Russell, Mike 152-55, 320, 333
Rutherford, Ernest 32, 37, 39, 54-55

Safronov, Viktor 71-77, 87
Sagan, Carl 14, 121, 124-25, 128, 135, 204-6, 337
Saha, Meghnad 56-57
Salk, Jonas 124
Samanyolu 22, 332, 338
santrifüjler 282, 310-11, 314, 315
Satürn 74, 85, 86, 92, 99
Schmidt, Otto 71
Schopf, William 82, 83n, 192, 194-97, 209
Schrödinger, Erwin 39, 44, 284-85
Schultz, Jack 232-33, 237, 240
Schwendener, Simon 218-22
selenyum 51, 66, 197, 273
Senebier, Jean 168, 170-71
sera gazları 200-1
serbest radikaller 271, 325
Seward, Albert Charles 192, 194
Shapley, Harlow 22, 55, 57-58
siklotronlar 172-79, 182-83, 326
silikon 56, 57, 65, 77
sinir sistemi 236, 260
sitozin (C) 278, 284, 291, 297-301
siyanobakteriler 192-94, 196-97, 201-4, 208-9, 211-16, 221n, 226-27, 240
sodyum 65, 77, 114, 254, 272-73, 321-22
sodyum-potasyum pompaları 321-22, 336
Son Evrensel Ortak Ata 148
Spiegel, Fred 204
Stern, Isaac 172, 181
Stetter, Georg 42-43
stromatolitler 193-94, 197
su 91-111, 114, 118, 125, 157-58, 163, 187-88, 241, 326
  asteroitlerdeki 100-7, 110
  ve bitkiler 170, 171, 179, 228, 229, 239, 241, 254
  ve fotosentez 186, 187, 214, 254
  kuyrukluyıldızlardaki 96-99, 100, 101-2, 104, 107, 110
süngerler 214-240
süpernovalar 61-62, 66-69

şeker 65, 114, 147-48, 164, 171, 174, 179-80, 183-86, 188, 203, 205, 207, 209, 211, 220, 222, 226, 238, 250, 254, 278, 282, 291, 315-17, 320, 336

tarım 224-26, 274
  gübreler 212-13, 224, 226, 248
  kimya ve 248

Tegmark, Max 245
tekhücreli organizmalar 141, 159, 189, 194, 197, 205, 207-8, 211, 216, 218, 220, 305, 330, 337
tekillik 27, 335n
tektonik levhalar 78, 84, 107, 144, 198, 216-17
Thomson, J. J. 32, 36-38, 54
Thoreau, Henry David 13, 218, 251
Townes, Charles 127-31, 335
Trewavas, Anthony 230, 233-39, 330
tuz 14, 163, 242, 263, 272, 322
tüberküloz 205, 260, 278, 284
Türlerin Kökeni (Darwin) 113, 116, 118, 191, 206, 275
Tyler, Stanley 194-95

uranyum, 17-18, 24, 59, 100, 158, 260
Urey, Harold 120-21, 123-25, 134, 176-77, 178

Valley, John 107, 109
van Helmont, Jan Baptist 169-70, 177, 179
vanadyum 273-74
veba 205
Venüs 74-75, 86, 105n
Venüs sinekkapanı 169, 237
virüsler 68, 299, 303, 311
vitaminler 131, 143, 197, 265-72, 274, 336
  keşifleri 254-68
von Voit, Carl 252

Wächtershäuser, Günter 148-54, 334
Walcott, Charles 190-94
Walsh, Chris 269
Wambacher, Hertha 41-43
Wasserburg, Gerald 83-85, 123
Watson, James 16, 124, 138, 139, 275, 285, 287-301
Welch, Jack 128-30
Wetherill, George 71, 73-75, 103
Whipple, Fred 93-98, 102
Wilde, Simon 108-9
Wilfarth, Hermann 225-27
Wilkins, Maurice 285-88, 290-99
Wilson Dağı Gözlemevi 22, 24, 61
Wilson, Charles Thomson Rees 36-40, 44, 45, 54
Winkler, Cornelis 260-61
Woese, Carl 140, 143
Wulf, Theodore 33-34

X ışını kristalografisi 285-89, 294, 319
X ışınları 36-38, 126, 279, 285, 288, 300, 338

yağlar 65, 114, 117, 130-31, 138-39, 171, 209, 250-54, 264, 267, 269, 274, 276, 282, 316, 323, 336
  besinsel 250-54, 269, 274, 336
  oluşturdukları zarlar 138-39, 323
yanardağlar 107, 111, 122, 189, 196, 200, 202
Yaşam Nedir? (Schrödinger) 284
yaşam, kökenleri 87, 91, 110, 112-36, 334
yıldızlar 14, 53-69, 329, 332-33, 336, 337, 339
  elementleri 55-59
  galaksiler 22-25, 338
  kırmızı devler 62, 65-69
  nötron yıldızları 69n
yiyecekler 13, 14, 92, 215, 217, 241, 245-74, 303, 306
  karbonhidratlar 114, 117, 250-54, 269, 274
  proteinler 250-54, 264, 269, 274, 336
  vitaminler 131, 143, 197, 265-72, 274, 336
  yağlar 250-54, 269, 274, 336

zatürre 280-82, 300
zirkon 108-9, 110n

Cansız nesnelerden tamamen farklı olduğunuzu düşünebilirsiniz, ama sonuçta bizim bedenlerimiz de evrende var olan elementlerden oluşuyor. Eğer 70 kg iseniz, 10 kg kömür oluşturacak kadar karbon, bir tuzluğu dolduracak miktarda tuz, birkaç yüzme havuzunu dezenfekte edecek ölçüde klor ve 7,5 santimlik bir çivi üretmeye yetecek kadar demir taşıyorsunuz demektir. Peki bu elementler nereden geldi ve bizi nasıl oluşturdu?

Evrendeki tüm maddenin –çevremizdeki ve içimizdeki her şeyin– nihai bir doğum günü var: Büyük Patlama. Dan Levitt, atomlarımızın Büyük Patlama ile başlayan uzun yolculukları sırasında nasıl yıldızlara dönüştüklerini, gezegenimizin biçimlenmesini sağladıklarını, ardından bu cansız atomların hayret verici şekillerde birleşerek nasıl canlılığı yarattığını ve nihayetinde bizim ortaya çıkmamızı mümkün kıldığını, dahası bedenlerimizin hücrelerimizdeki muazzam mekanizmalarla tabaklarımızdaki yiyecekleri nasıl bize dönüştürdüğünü anlatıyor.

Ama yaşamın hikâyesi olduğu kadar, onun sırlarını çözme yolunda önemli adımlar atmamızı sağlayan biliminsanlarının da hikâyesi bu – kıran kırana rekabetlerin, takıntıların, hayal kırıklıklarının, ani aydınlanmaların ve elbette safi tesadüflerin önemli bir yer tuttuğu heyecanlı bir bilim tarihi anlatısı.

Usta bir hikâye anlatıcısı olan Levitt'in akıcı bir dille kaleme aldığı bu kitabı bilime ve bilim tarihine meraklı tüm okurlarımızın severek okuyacağını umuyoruz.



Metis Bilim
ISBN-13: 978-605-316-406-7

9 786053 164067

Metis Yayınları
www.metiskitap.com