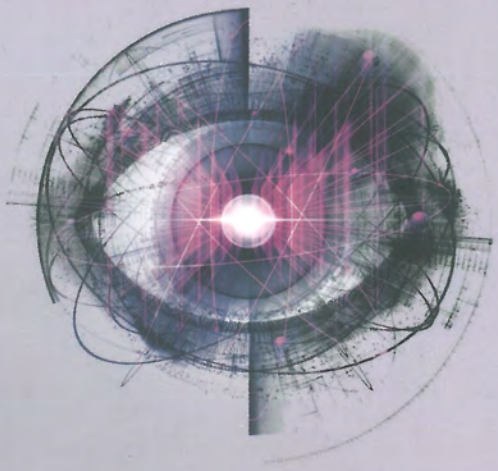
İÇİMİZDEKİ EVREN Kuantumdan Kozmosa | NEIL TUROK

İÇİMİZDEKİ EVREN

Kuantumdan Kozmosa



NEIL TUROK

Türkçesi Onur Uygun

Massey Konferansları Dizisi

Elinizdeki kitap, Massey Konferansları'nın bir parçası olarak CBC Radio'daki *Ideas* programında Kasım 2012'de sunulan "İçimizdeki Evren: Kuantumdan Kozmosa" başlıklı konuşmanın metnidir. Bu program Philip Coulter ve Bernie Lucht yapımcılığında gerçekleştirilmiştir.

İÇİMİZDEKİ EVREN

Kuantumdan Kozmosa

NEIL TUROK



Kolektif Kitap ~ 109

İçimizdeki Evren: Kuantumdan Kozmosa

Özgün Adı:
The Universe Within: From Quantum to Cosmos

© 2012, Neil Turok ve Canada Broadcasting Corporation
© 2018, Kolektif Kitap

ISBN: 978-605-5029-85-2

Türkçesi: Onur Uygun, 2018
Yayıma Hazırlayan: Eda Çaça
Redaksiyon: Yakup Pekön
Son Okuma: Işık Doğangün
Sayfa Düzeni: Kolektif Tasarım
Kapak Tasarımı: Deniz Akkol

1. Baskı, Şubat 2018, İstanbul
Sertifika No: 25574

Baskı ve Cilt: Berdan Matbaacılık
Güven Sanayi Sitesi C Blok No: 215-216
Topkapı, İstanbul - 0212 613 11 12

kolektif. kitap, bilişim ve tasarım ltd. şti.

Kuloğlu Mah. Turnacıbaşı Cad. No: 26/5 - Beyoğlu, İstanbul
www.kolektifkitap.com - info@kolektifkitap.com
T: 0212 252 89 30 - F: 0212 243 96 399

Bu kitabın hakları Anatolialit Telif Hakları Ajansı aracılığıyla House of Anansi Press'ten alınmıştır. Yayıncının izni olmaksızın elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılamaz ve iletilemez. Tüm hakları saklıdır.

İÇİMİZDEKİ EVREN

Kuantumdan Kozmosa

NEIL TUROK

Türkçesi: Onur Uygun

KOLEKTİF

İÇİNDEKİLER

Yazarın Notu 9

1. **Gerçek Sihir** 11

2. **Hayali Gerçekliğimiz** 55

3. **Patlayan Neydi?** 93

4. **Tek Denklemde Dünya** 151

5. **Tüm Zamanların En Büyük Fırsatı** 189

Diğer Kaynaklar 237

İzinler 239

Teşekkürler 241

Dizin 243

YAZARIN NOTU

BU KİTAPTA GERÇEKLİĞİN fiziki temelini keşfetme yolundaki ilerleyişimiz ile insani kimliğimiz arasında bir bağ kurmaya çalışıyorum.

Bu akademik bir metin değildir. Fiziğe dair en büyük fikirlerden bazılarını ve bunların nasıl keşfedildiğini anlatsam da, dengeli bir tarih anlatısı sunmaya veya herkesin hakkını eksiksiz bir şekilde teslim etmeye çalıştığım pek söylenemez. Bunun yerine kendi kişisel deneyimlerimi, ayrıcalıklı addettiğim zamanlar, mekânlar ve insanlardan duyduğum hikâyelerle birlikte ortak bir motif olarak kullanıyorum. Ne kadar ilginç olsalar da tarihte karşımıza çıkan kişiliklere temel olarak hayatın aslında ne gibi ihtimallere gebe olduğunu ve fark ettiğimizden ne kadar fazlasını yapabileceğimizi göstermek üzere değiniyorum. Ne filozofum ne tarihçi ne de sanat veya edebiyat eleştirmeni, ancak derinleşen bilgi birikimimizin sonuçlarını ve içinde bulunduğu şartları görünür kılmak için bu konuların tümüne değiniyorum. Kitapta ucu bucağı olmayan bir konuyu ele alıyorum, dolayısıyla sınırlı bakış açım ve keyfi seçimlerim için şimdiden özür dilerim.

Hedefim evreni anlama yeteneğimizi onurlandırmak, onu hepimizi birleştirebilecek bir olgu olarak yansıtmak ve gelece-

ğimiz için hangi anlamlara gelebileceği konusunda kafa yormaktır.

Adlarını burada anamayacağım kadar çok sayıda harika çalışma arkadaşımın içgörüsünden ve aklından faydalandım. Biliminsanı olmayan, sadece hayatları aracılığıyla insan olmanın ne anlama geldiği konusunda örnek oluşturan birçok kişiden eşit derecede etkilendim. Bilim ve insanlığımız bir paranın iki yüzü gibidir; varoluşumuz için bize tanınan fırsatın hakkını verebilmemizi sağlayan araçlardır.

1*
GERÇEK SİHİR

"Güncel çalışmalarda yaşamla bağlantılı bir parça ve Sonsuzluk'un somut tezahürünü görebilene ne mutlu."
James Clerk Maxwell[1]

BABAM BEN ÜÇ YAŞINDAYKEN Güney Afrika'daki ayrımcı Apartheid rejimine karşı çıktığı için hapse atılmıştı. Kısa bir süre sonra annem de altı aylığına hapse girdi. Bu süre boyunca, Hıristiyanbilimci büyükannemle kaldım. Annem ve babam dindar olmadıklarından yepyeni bir dünyanın içinde bulmuştum kendimi. Şarkı söyleme fasılları ve özellikle İncil hoşuma gitmişti. Her sorunun cevabını içinde barındıran bir kitap olması fikrine bayılmıştım. Ancak kendim için öyle *büyük* bir İncil değil, yanımda taşıyabileceğim *küçük* bir İncil istiyordum.

Bana mümkün olan en küçük İncil'i alması için büyükannemin başının etini yedim. Nihayet İncil'ime kavuştuğumda onu yanımda her yere götürür oldum. Henüz okumayı bilmiyordum ancak bunun bir önemi yoktu. O küçük yaşımda bile en çok istediğim şey hakikati, onunla gelen kesinliği ve sevgiyi elde etmek ve bırakmamaktı.

1. James Clark Maxwell: Basil Mahon, *The Man Who Changed Everything: The Life of James Clark Maxwell* içinde (Chichester: Wiley, 2004), s. 48.

Sabotajla suçlanan babam ne mutlu ki üç buçuk sene sonra salıverildi. Daha önemsiz suçlardan yargılanıp ömür boyu hapse mahkûm edilenler olmuştu. Cezaevinden çıkan babam ev hapsine mahkûm olsa da kaçtı ve kuzeye, Doğu Afrika'ya gitti. Biz de onun peşinden gittik ve Londra'ya taşınmadan önce birkaç sene Tanzanya'da yaşadık. Burada pek de haşır neşir olmadıkları, nemli ve kasvetli bir çevrede yaşamaya çalışan ufak bir sürgünler topluluğunun parçası olduk. Ancak annem ve babam fikirlerine sıkı sıkıya tutundular. "Bir gün" dediler bana ve kardeşlerime, "büyük bir değişim olacak ve Güney Afrika özgürlüğüne kavuşacak."

Onlara inanmak oldukça güçtü. 1970'ler ve 1980'ler boyunca, yani benim İngiltere'de büyüyüp liseye ve sonrasında üniversiteye gittiğim yıllarda durum umutsuz görünüyordu. Apartheid rejimi beyazlardan ibaret seçmen kitlesi arasında oldukça popülerdi ve uluslararası alanda oldukça güçlü müttefiklere sahipti. Hatta Güney Afrika nükleer silahlar geliştiriyor ve test ediyordu. Organize olabilen bir avuç muhalif kolayca yakalanıyor ve hapse atılıyordu. Soweto'daki öğrenci protestoları acımasızca bastırılmış ve polis devleti her şeyi sıkıca kontrol eder hale gelmişti.

Sonra birden her şey değişti.

Apartheid sistemi, beyazların siyahlara üstün olduğu fikri gibi son derece yanlış bir temel üzerine inşa edilmişti ve sistemin sonunu getirende bu oldu. Ülke içindeki siyahi çoğunluğun talepleri artık görmezden gelinemiyordu. Gün geçtikçe daha çok ülke Güney Afrika'yı boykot etmeye başladı ve ülke dışındaki protestoların da etkisi giderek arttı. 1993'te Nelson Mandela'nın müzakereler sonucu hapisten çıkmasıyla hava bir anda değişti. Beyaz azınlık Apartheid rejiminin artık sürdürülemeyeceğini ve ülkenin geleceğinde genel oy hakkı ve herkes için fırsat eşitliğinin yer alması gerektiğini kabullendi.

Güney Afrika'daki değişim basit ancak görmezden gelinemeyecek bir fikirle şekillenmişti: Adalet, eşitlik, adil yargılama ve hepimizi koruyacak insan haklarının varlığı ilkesi. Adalet birçok kişinin hayatı boyunca kendini adayabileceği, hatta kimilerinin doğrudan hayatını feda edeceği kadar güçlü, ırkların, kültürlerin ve dinlerin tümü tarafından paylaşılan bir değerdir. Güney Afrika'daki değişimin itici gücünün adını koymak gerekiyorsa, Apartheid rejiminin sahip olduğu tüm ayrıcalıkların, zenginliğin ve silahların üzerine çıkan bu basit olgu olacaktı.

Ailem haklıymış. İyi bir fikir dünyayı değiştirmeye yetebilir.

Görünen o ki bugün yeterince iyi fikir barındırmayan, kaygı dolu bir dünyada yaşıyoruz. Mali istikrarsızlık, aşırı tüketim ve kirlilik, enerji ve kaynak yetersizliği, iklim değişikliği ve giderek derinleşen gelir adaletsizliği gibi bunaltıcı sorunlarla yüz yüzeyiz. Bunlar tamamen insanlar tarafından yaratılmış ve çözülebilir sorunlardır. Ne var ki kısa vadeli düşünen, yüzeysel çözümler üreten ve kısa yoldan köşeyi dönmeyi hedefleyen bir kültürün içine hapsolmuş gibiyiz. Halbuki bu sorunların her biri ısrarcı, ilkeli ve ileri görüşlü adımlarla bulunabilecek bir çözüme ihtiyaç duyuyor.

Var olan teknolojilerin ve doğal kaynakların sonuna yaklaşıyoruz. İyimserlik duygumuzu kaybetme riski taşıyoruz. Gezegenimizin yönetimi için daha akıllı yöntemler bulabilir miyiz? Bize parlak bir gelecek sunabilecek buluşlar yapabilir miyiz? Kimiz ki biz? Rastlantısal mutasyonun ve doğal seçilimin yavaş yavaş miadını dolduran bir sonucu mu, yoksa yaşamı bambaşka bir seviyeye taşıyacak yeni bir evrimsel aşamayı başlatacak olanlar mı?

Bu kitapta gerçekliği kavrama ve evreni zihnimiz aracılığıyla anlama becerimizden bahsetmek istiyorum. Bu beceri, atomu oluşturan en ufak parçadan gözlemlenebilir kozmosa kadar her

şeyi anlamlandırmamızı sağlayan büyük fikirlerin kaynağıdır. Cep telefonundan uydulara kadar modern teknolojinin her ürünü bu beceri sayesinde üretildi. Bu yeteneğimiz sahip olduğumuz onca şey arasında açık ara en önemlisidir. Tarih sırtımızı yaslayabileceğimiz bir dayanaksa, içimizdeki evren geleceğimizin anahtarı olacak.

Devrimler tesadüfen gerçekleşmez. En büyük ilerlemeler, gerçekliğimizde sürekli büyüyen ve küçük değişiklikler tarafından asla çözümlenemeyecek çelişkilerin sonucu olarak ortaya çıktı. Ne zaman bir adım geri çekilip büyük resme baktıysak ve dünyayı ve potansiyelini anlamak için farklı bir yöntem geliştirdiysek yeni bir paradigma ortaya çıktı ve bizi önceden hayal bile edemediğimiz yeni sınırlara taşıdı. Fizik dünyayı ve insan toplumlarını defalarca değiştirdi.

İnsan zihni bir arada nasıl yaşadığımız, kim olduğumuz ve kendimizi gerçeklik içinde nasıl konumlandırdığımız gibi fikirleri bir denge içinde barındırır. Evrimsel süreç ileriyi düşünerek hareket eden bir unsura sahipmiş gibi, kavrayışımız herhangi bir acil ihtiyacımızın çok ötesine uzanır. Hayatta kalmamıza hiçbir katkısı olmamasına rağmen deneyimlerimizin çok daha ötesindeki şeyleri anlayabilme yetimizi neden geliştirdik? Bu becerimiz bizi gelecekte nereye götürecek?

Higgs bozonunu nasıl hayal ettik ve sonra onu bulabilmek için bir mikroskobu, bir atomun milyarda biri boyutundaki mesafeleri ayırt edebilen Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nı nasıl inşa ettik? Kozmosa hükmeden kanunları nasıl keşfettik? Güneş Sistemi'nin sınırlarından onlarca trilyon kat daha uzağı gözlemleyebilmemizi sağlayan uyduları ve teleskopları nasıl inşa ettik de söz konusu kanunları detaylı bir şekilde doğrulayabildik? İnanıyorum ki toplum, fiziğin bu akıl almaz başarısından iyimser düşünceler çıkarabilir. Aynı şekilde fizik de kendi kökenlerini, tarihini ve toplumun çıkarlarına yönelik

bağlantıları anlamlandırarak muazzam amaçlar edinebilir; hatta edinmelidir de.

Yaklaşan şey her ne ise geçmiş değişimlerden çok daha büyük önem taşıyacak. Mobil iletişimin ve internetin küresel bir topluma nasıl önayak olduğunu, bilginin ve eğitimin geçmiş herhangi bir dönemdekine kıyasla nasıl çok daha büyük ölçekte yayılmasını sağladığını çoktan gördük. Ve bu, yeni teknolojilerimizin bizi nasıl değiştireceği konusunda sadece bir başlangıç. Şimdiye kadar bilimsel ilerlememizin temeli olan fiziksel doğamız aynı zamanda bu ilerlemeyi kısıtlayan bir unsurdur. Becerilerimiz dünyayı yalnızca klasik bir bakış açısıyla anlamaya yetiyor. Bu her ne kadar sağlam bir sıçrama tahtası olsa da bu noktanın ötesine geçmemiz gerekiyor. Teknolojik yeterliliğimiz geliştikçe becerilerimiz, dünyayla ilgili deneyimlerimiz –ve zaman içinde– kimliğimiz büyük ölçüde değişecek.

İnternet yalnızca bir alamettir. Kuantum teknolojileri bilgiyi işleme yöntemlerimizi tamamen değiştirebilir. Ayrıca bu esnada, gerçeklik ve fiziksel dünyanın nasıl işlediğine dair farkındalığımızı da artırabilir. Bilgimizin derinliği arttıkça evreni çok daha isabetli tanımlayacağız. Yeni elde edeceğimiz bilgiler mevcut sınırlarımızın çok ötesindeki teknolojileri mümkün kılacak. Hatta bu bilgiler bizim doğamızı bile değiştirebilir ve varoluşumuzun potansiyelinin tümünü ortaya çıkarmamızı sağlayabilir.

İleriye bakarken amacımız evrenin gelişimini deneyimlemek, anlamak ve bu gelişimin bir parçası haline gelmek olmalıdır. Evrenin yalnızca tesadüfi yan ürünleri olduğumuzu söylersek kendimize haksızlık etmiş oluruz; evrenin evriminin en ileri tezahürleriyiz. Dünyayı açıklayabilme yeteneğimiz, kim olduğumuz ve geleceğimiz üzerinde asli bir rol oynar. Bilimin ve toplumun misyonu aynı olmalıdır.

Karl Marx'ın mezartaşında şu ünlü söze rastlarız: "Filozoflar çeşitli şekillerde dünyayı yorumlamakla yetindiler. Ancak

önemli olan onu değiştirmektir." Gandhi'ye atfedilen bir söze dayanarak ben de şunu söylüyorum: "Ancak önemli olan, değişim *olmak*tır."

Hayatımın bir kısmını Afrika'da, insanlığın beşiği kabul edilen topraklarda geçirme şansına sahip oldum. Bende en çok iz bırakan anılarımdan biri Ngorongoro Krateri'ne, Serengeti'ye ve yaklaşık iki milyon yıl önce erken insan atalarımızın yerleştiği topraklar olan Olduvai Boğazı'na yaptığım ziyaretti. Bu bölgelerde bolca yaban hayvanı bulunur: aslanlar, sırtlanlar, filler, Afrika mandaları. Orada babunlar bile tehlikelidir: İrice bir erkeğin ağırlığı 45 kilogramı geçebilir ve bir yandan oldukça iri, kesici dişlere sahipken, öte yandan insanlardan korkar. Eğer bölgede kamp yapıyorsanız ve bir babun gelip yiyeceğinizi çalmayı denerse, tek yapmanız gereken elinize bir taş alıp kolunuzu kaldırmak. Babun arkasına bakmadan kaçıp gidecektir.

Cılız canlılar olsalar da, atalarımız hayvanlar âleminin geri kalan üyeleri üzerinde hüküm kurmayı başardı. Ayağa kalkıp taş fırlatmak, alet kullanmak, ateş yakmak ve yerleşim birimleri kurmak gibi yeni davranış şekilleriyle zekâ bakımından diğer hayvanların bir adım önüne geçti. Çalılıklar içinde sanki bütün bölgenin kralıymış gibi elinde mızrağıyla kaygısızca ilerleyen bir Maasai'nin kokusunu alınca oradan uzaklaşan filler ve mandalar gördüm.

Alet yapımı ve tarımın keşfinden sonra teknolojik ilerlemedeki büyük sıçrayış matematik sayesinde gerçekleşti: Sayılar, geometri ve diğer yöntemleri kullanarak dünyanın düzenini daha iyi anlar olduk. En eski matematik gereçlerinden bazıları ise Afrika'da bulundu. Bunların en eskisi, Svaziland'daki MÖ 35.000 yılına tarihlenen bir babunun bacak kemiğidir. Üzerinde, belki de Ay döngüsüne işaret eden 29 çentik bulunur. Bu alanda bilinen en eski ikinci nesneyse yine bir babunun bacak

kemiğidir, bu Kongo'da yer alır ve MÖ 20.000 yılına tarihlenir. Bu kemiğin üzerinde basit aritmetiği anımsatacak şekilde gruplanmış farklı işaretler bulunur. Bilinen en eski astronomik gözlemeviyse Mısır'ın güneyinde, Sudan sınırındaki Nabta Playa'da yer alan ve MÖ 4000 yılı civarında inşa edildiği düşünülen taştan bir çemberdir. Bunu, MÖ 3000'den itibaren inşa edilmeye başlanan Mısır piramitleri takip eder. Matematik insanların dünyayı güvenilir bir şekilde model almasını, plan yapmasını ve muhtemel sonuçları öngörebilmesini sağladı.

Bildiğimiz kadarıyla (yazılı hiçbir kayıt günümüze ulaşmadı), matematiğin evren hakkında güçlü gerçeklikleri gözler önüne serebileceği fikri, MÖ 6. yüzyılda Pythagoras ve takipçileriyle ortaya çıktı. "Matematik" kelimesini (Pythagorasçılara *mathematici* deniyordu) ve matematiksel "ispat" kavramını, yani bir sonucu sorgulanamaz kılan mantıklı argümanlar dizisi olgusunu onlar buldu. Pisagor (Pythagoras)teoremi bu ispatların en ünlüsüdür (Ne var ki bu teoremin ispatladığı olgu uzun zamandır biliniyordu: Örneğin bugünün Bağdat'ı çevresinde kurulmuş Babil uygarlığına ait, MÖ 1800'e tarihlenen, mimarlar tarafından kullanıldığı düşünülen tabletlerde bu bilgiden yararlanıldığını görürüz).

Pythagorasçılar İtalya'nın güney bölgesinde yer alan Crotone'de matematiğin mistik güçlerine odaklanan dini bir kült kurdular. Başarılarından biri de müziğin matematiksel doğasını anlamak oldu. Bir enstrümanın telini müzikal birim olarak ikiye böldüklerinde aynı sesin bir oktav incesini elde ettiler. Tel üçe bölündüğünde beşli aralık, dörde bölündüğündeyse dörtlü aralık ortaya çıktı. Eğer müzikal uyumun arkasında bu kadar düzenli bir matematik varsa, evrendeki düzenin daha birçok farklı unsurunu açıklamakta da matematiği kullanabileceklerini düşündüler. Kimilerince ilk biliminsanı kabul edilen ve belki de Pythagoras'ın öğretmeni olan Anaksimandros'un fikirlerini de

temel alan Pythagorasçılar "gökyüzünü bütünüyle sayılardan hareketle açıklamayı" denediler.[2] Newton'dan iki bin yıl önce var olan bu kavrayış, tüm fizik biliminin temelini oluşturacaktı.

Öyle görünüyor ki Pythagorasçılar Crotone'nin yöneticilerine, kentin ekonomik gelişimine de katkıda bulunacak bir anayasanın oluşturulması gibi isabetli tavsiyelerde bulundular. Ancak bir yandan da işlerini gizli kapaklı yürüten elitist bir grup gibi görüldüler. Bir tarihçinin sözleriyle, "Üstün oldukları varsayımları ve ezoterik bilgilerinin yükü altında bazen eziliyor olmalılardı."[3] Bu durum Pythagorasçıların –bazılarına göre Pythagoras'ın öldürülmesine yol açan– trajik düşüşlerinde muhtemelen etkili oldu. Pythagorasçıların vakitsiz yokoluşu, biliminsanlarının toplumun gündelik hayatından ayrı düşmelerinin ortaya çıkardığı tehlikelerin erken bir işaretiydi.

Bu bölünme zaman içinde tekrar ortaya çıktı. Örneğin ortaçağ Avrupası'nda üniversitelerin lisans müfredatı ağırlıklı olarak diplomasi, yönetim ve kamuya hitap gibi beceriler için gerekli olan Latince, mantık ve retorik (*trivium*) gibi derslerden oluşuyordu. Lisansın ötesine geçmek isteyenlere de aritmetik, müzik, geometri ve astronomi (*quadrivium*) öğretiliyordu. Bilgi birikimi genişleyip uzmanlık alanları daha da arttıkça biliminsanı olanlar ve olmayanlar arasında bir ayrım kaçınılmaz hale geldi. Zamanla fen bilimleri ile sanat ve beşeri bilimler arasında, yazar C. P. Snow'un o meşhur "İki Kültür" adını verdiği bir bölünme yaşandı. Bu ayrımı yersiz buluyorum. Bilim de bir sanat değil midir? Ve biliminsanlarının da insanlığı anlaması gerekmez mi?

Genç bir biliminsanıyken, kahramanlarımdan ABD'li fizikçi Richard Feynman'ın atom bombası yapmakla ilgili kaygılarından nasıl sıyrıldığını anlatan sözlerinin bende yarattığı

2. Aristoteles: Kitty Ferguson, *Pythagoras: His Lives and the Legacy of a Rational Universe* içinde (Londra: Icon Books, 2010), s. 108.
3. W.K.C. Guthrie, age., s. 74.

üzüntüyü hatırlıyorum: "(Macar-Amerikalı matematikçi John) von Neumann benimle, içinde yaşadığım dünya için sorumluluk hissetmemem gerektiğine dair ilginç bir fikir paylaşmıştı. Von Neumann'ın tavsiyesinin sonucunda oldukça güçlü bir toplumsal sorumsuzluk hissi geliştirdim. O günden beri mutlu bir insan olmamı buna borçluyum. Ancak içimde aktif sorumsuzluğumun tohumunu eken von Neumann'dı!"[4] O zamanlar Feynman'ın bu bahanesini kişiliğiyle hiç bağdaştıramamıştım. Sonradan fark ettim ki Feynman bir inkâr halindeydi; fiziğe âşıktı, fakat fiziğin kullanım alanlarıyla ilgili zor sorularla yüzleşmekten kaçınıyordu.

Bilimle toplum arasındaki kopukluğun, özellikle bilimin genelde açık fikirli, hoşgörülü ve demokratik olduğunu göz önünde bulundurduğunuzda zarar verici olduğunu görebilirsiniz. Dogmalara karşı çıkan ve kesinlikten kaçınmaya çalışan bilim aslında birçok bakımdan toplum için bir model oluşturur. Birçok biliminsanına şevk veren, çalışmalarının kitlelere hitap ettiği ve ilerlemeye katkıda bulunabileceği fikridir. 18. yüzyılda İskoç filozof David Hume şu bilge sözleri sarf etti: "Öyle görünüyor ki doğa, insan ırkına en uygun olanın karmaşık bir yaşam türü olduğunu gösterdi (...) Tutkunuz bilime teslim olsun, ancak biliminiz de insani olsun ki topluma doğrudan temas edebilsin."[5] Aynı şekilde, estetik ve ahlaki kaygılar içindeki toplumun da bilimden faydalanabileceğini savundu: "Kesinliğin her halükârda güzelliğe; adil muhakemenin de zarif hislere faydası vardır."[6]

Hume 12 yaşında bir genç olarak Edinburgh Üniversitesi'ne girdiğinde –o zamanlar üniversiteye bu kadar genç başlamak

4. Richard P. Feynman ve Ralph Leighton *"Surely You're Joking Mr. Feynman!": Adventures of a Curious Character*, Edward Hutchings (ed.) (New York: W. W. Norton, 1997), s. 132.
5. David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*, Peter Millican (ed.) (Oxford: Oxford University Press, 2008), s. 5.
6. age., s. 6.

sıradışı bir şey değildi– İskoç Aydınlanması adı verilen dönem yaşanıyordu. Edinburgh'da geçirdiği yılların sonunda yazdığı bir mektupta zihnen içinde olduğu bağımsızlık da açıkça görülür: "Profesörlerden öğrenilip de kitaplarda rastlanamayacak hiçbir şey yoktur."[7] Yine de Hume'un felsefeye olan tutkusunu keşfettiği yer üniversite oldu. Mezuniyetinden sonraki sekiz yılını felsefi başyapıtı *İnsan Doğası Üzerine Bir İnceleme*'yi yazarak geçirdi. Bu kitabın ilk cildi daha sonra *İnsan Zihni Üzerine Bir Araştırma* adıyla yayımlanacaktı.

Hume'un *İnceleme*'si okuyucuda bugün bile yeni bir şey okuduğu hissi uyandırır. Alçakgönüllülüğü, özgünlüğü ve berrak üslubu insanları ikna etme sanatının zarif bir örneğidir. Hume'un akılcı düşünme yetisi harikalar yaratmış ve iki bin yıllık doktrinci düşünceyi alaşağı etmiştir.

Hume'un devrimci düşünceleri –çok geniş kapsamlı olsa da– kısaca varlığımızın, duygularımızın ve deneyimlerimizin, tüm fikirlerimizin temelini oluşturduğu fikrine dayanır. Ona göre hayal gücü oldukça önemli olsa da doğal izlenimlerimizin ve içgüdülerimizin yerini alamaz: "En hayat dolu düşünce bile en yavan histen üstün değildir,"[8] veya "Bizim için içsel veya dışsal duyularımızla daha önce *hissetmediğimiz* bir şeyi *düşünmemiz* mümkün değildir," diye yazar. Hume'a göre rakamlar veya şekiller gibi matematiksel soyutlamalar da doğal fenomenlerle alışveriş deneyimimiz üzerine kurulur.[9]

Hume algılarımızın ve düşüncelerimizin –yani dışsal ve içsel deneyimlerimiz– elimizdeki bilginin kaynağı olduğuna inanıyordu. Bilginin herkes tarafından paylaşılan yetiler üzerine

7. David Hume'dan "Jemmy" Birch'e mektup, 1735, E. C. Mossner, *The Life of David Hume* içinde (Oxford: Oxford University Press, 2011), s. 626.
8. David Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*, Peter Millican (ed.) (Oxford: Oxford University Press, 2008), s. 12.
9. age., s. 45.

kurulması fikri gibi son derece demokratik bir bakış açısına sahipti. Hume matematiğin gücünü göz ardı etmeden, fazla akıl yürütmenin bizleri gerçek dünyadan ayırabileceği konusunda uyarılarda da bulunmuştu: "*A priori* akıl yürütürsek, herhangi bir şey herhangi bir şeye yol açabilir. Düşen bir taş parçası Güneş'i söndürebilir veya niyeti olan birisi gezegenlerin yörüngelerini değiştirebilir. Bizlere sebep sonuç ilişkisinin doğasını öğreten ve bir nesnenin varlığını bir diğerinden çıkarsamamızı sağlayan şey deneyimdir."[10] Deneyime sürekli yaptığı vurguyla Hume, bilimi tekrar göklerden yere indirmeyi ve insanlığımızla, kim olduğumuzla ve neler yapabileceğimizle ilişkilendirmeye yardımcı olmuştu.

Hume'un şüpheciliği ve açıksözlülüğü, Kilise'yle çatışmasına yol açtı. *Doğal Din Üstüne Söyleşiler* adlı kitabında (başlığıyla Galileo'nun *İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog* adlı kitabını anımsatır) Hume bir Antik Yunan sahnesinde üç ana karakterin tartışmasını anlatır; söz konusu eser, örneğin bir Tanrı'nın varlığı, ruhun ölümsüzlüğü ve dinin ahlaki faydaları gibi konular üzerinden inançların meşruluğu konusunu ele alır. Bunu da karakterleri küçük düşürmeden, üstü kapalı ve saygılı bir şekilde onları açık bir tartışmaya sevk ederek yapar. Her ne kadar bu kitabı bir mihenk taşı olarak görmüş olsalar da, arkadaşları Hume'u kitabı yayınlamanın tehlikeli olacağı konusunda ikna etmişti. Kitap Hume'un ölümünden üç yıl sonra, üzerinde yayıncı ismi yer almadan anonim olarak basılabilmişti.

Hume doğa ve ahlak felsefesine bütüncül bir yaklaşım getirdi ve buna "insan bilimi" adını verdi. Her ikisinin de avantajları ve sınırlamalarına karşı dengeli bir görüş ortaya koydu: "Bu nedenle, ahlaki veya metafizik bilimlerdeki gelişimimizin önündeki temel engel, fikirlerin anlaşılmazlığı ve terimlerin muğlaklığı-

10. age., s. 120.

dır. Matematikteki temel zorluk, herhangi bir sonuca ulaşmada gerekli çıkarımların uzunluğu ve düşüncenin kapsamıdır. Belki de doğa felsefesindeki ilerlememizi sekteye uğratan, gerekli olduğunda –kimi zaman en gayretli ve ihtiyatlı incelemeler sonucunda bile– her zaman bulunamayan ve genellikle şans eseri keşfedilen uygun deney ve fenomenlerin eksikliğidir."[11] Bunlar oldukça ileri görüşlü sözlerdi. 19. yüzyılda deneyler ve gözlemler bir keşif çağı başlattı. 20. yüzyıla gelindiğinde bile Hume insanları etkilemeye devam ediyordu. Etkilediği insanlardan biri de temel inançlarını aynı dilde ifade eden Einstein'dı.[12]

Hume'un öne sürdüğü şeylerin yankıları bugün bile sürüyor. Bilim üretme yetimizin kökleri evrenle ilişkimizde, canlı birer varlık olarak doğamızda yatar. Duygularımız ve güdülerimiz fikirlerimizden çok daha derinliklidir. Fikirlerimiz çok şeyi hayal etmemizi sağlayabilir, ancak aynı zamanda güvenilmez, yanıltıcı veya yanlış yönlendirilmiş olma ihtimali taşır. Dürüst olmamızı sağlayan şey gerçek dünyadır.

Bilim aracılığıyla evreni veya kendimizi keşfederiz. Aradığımız şey yeni kapılar açacak cevaplar ve açıklamalardır aslında. Peki evrendeki hayatın anlamı, bizim varlığımızın amacı nedir? Biliminsanları genelde bilimin alanı dışında kaldığını söyleyerek bu konularla ilgili tartışmalardan kaçınırlar. Ancak bana sorarsanız bu sorular son derece önemlidir. Bir şeyleri yapmak üzere verdiğimiz kararların ardında ne gibi sebepler yatar? Bazı biliminsanlarının söylediği gibi bizler, bencil genlerini çoğaltmanın peşinden koşan birer biyolojik makine miyiz? Eğer –benim de inandığım üzere– bundan daha fazlasıysak, bilgeliğimizin kaynağı nedir?

11. age., s. 45.
12. Bkz. Albert Einstein'ın 27 Ocak 1921'de, Berlin'deki Prusya Bilim Akademisi'nde yaptığı, *Sidelights on Relativy*'de yer alan konuşması, çev. G.B. Jeffery ve W. Perrett (1922, özdeşbaskı, Mineola, NY: Dover, 1983), s. 8-16.

Hume'un bilgi felsefesi, onun etik ve toplum anlayışına yakından bağlıydı. Bizim biliminsanı olarak gücümüz, insan karakterimizin ve dürüstlüğümüzün üzerine kuruludur; bizi iyi birer yurttaş yapan da yine bu özelliklerdir. Ve bu yeteneklerimizin tümü de evrenle bağımızdan ileri gelir.

* * *

ÇOCUKKEN KARINCALARI İZLEYEREK saatler geçirirdim. Bu küçük canlıların yollarını kararlılıkla takip etmesi ve ayaklarını yerden kesen rüzgâr, üzerilerine yağan yağmur veya yollarına çıkan küçük bir dal gibi engellerle başa çıkabilmeleri beni hayrete düşürürdü. Tıpkı bizler gibi ihtiyaçları olan temel bilgiyi çevrelerinden edinmeleri gerekir: Dünyanın zihinsel modelini çıkarmak, seçeneklerini değerlendirmek ve kararlar almak zorundalar.

İnsan beyni de aynı şekilde çalışır. Her birimiz dünyanın içsel bir modeline sahibiz ve bu modeli her daim algılarımızla kıyaslarız. Bu içsel model gerçekliğin en temel unsurlarını, yani bizim için en önemli olanlarını kavrayıp, davranışlarını tahmin etmemizi mümkün kılmak üzere tasarlanmış seçici bir temsilden ibarettir. Duyularımız aracılığıyla veri elde ederken sürprizlerle karşılaşırız, bunlar deneyimlerimizle içsel modelimizin öngörüleri arasında oluşan çelişkilerdir ve zihnimiz bu çelişkileri gidermeye zorlanır. Bu içgüdüsel yetimizin bir uzantısı olan bilim de, her seferinde daha derine ve daha ileriye uzanan bir seviyede, açıklayıcı bilgi üretmemize yardımcı olur.

Doğayı kilit unsurlarına indirgerken en değerli araçlarımızdan biri, hatta belki de *en* değerlisi matematiktir ve gerçek dünyadaki nesnelerin özü olan sayı, şekil ve boyut gibi zihinsel soyutlamaların üzerine kuruludur. Doğal içgüdülerimizi ve sezgilerimizi beklenmedik, hatta sihirli bir şekilde tamamlar.

Örneğin tamamen geometrik birer unsur olan perspektif ve gölgelendirme ilk kez ortaçağ İtalya'sındaki ressamlar tarafından uygulandığında, resimler iki boyutlu birer ortaçağ ikonu olmaktan çıkıp Rönesans sanatının üç boyutlu dünyasına geçiş yaptı.

Leonardo da Vinci bu tekniklerde uzmanlaştı ve sanatla bilimi denk bir ölçekte birleştirdi. En çok ressam kişiliğiyle öne çıkan Leonardo –ki dünya tarihindeki en iyi resimlerden bazılarını yapmıştır– aynı zamanda hayali makine, icat, bitki ve hayvan çizimlerinin yanı sıra insan vücudunun nasıl işlediğini ortaya koyma amacıyla yasadışı bir şekilde parçalayıp incelediği kadavraların çizimlerine de imza attı.

Leonardo yazılarını hiç yayımlamadı, ancak kişisel notlarının birçoğu –dağınık da olsa– günümüze ulaştı. Yalnızca aynadan yansıtıldığı zaman bir şey ifade eden, sağdan sola doğru yazdığı notları otoriteyi reddeden şu cümlelerle açılır: "Yazmakla aramın pek iyi olmayışı, bazı haddini bilmezlerin beni eğitimsiz biri olmakla suçlayabileceklerini sanmalarına yol açabilir, bunun farkındayım. Ahmaklar!.. Bilmezler ki benim incelediğim konular başkalarının sözlerine değil, deneyimi yorumlamalarına ihtiyaç duyar."[13]

Yine de Leonardo teoriye tamamen karşı değildi. Aksine "Matematikçi olmayan hiç kimse çalışmalarımı okumasın,"[14] demişti. Bir defasında da şunu söylemişti: "Mekanik biliminin kitabı, kullanışlı icatlar kitabından önce gelmelidir."[15] Tıpkı Antik Yunanlar gibi o da aklın gücünü savundu.

Bir sanatçı olarak ise anlaşılabilir bir şekilde ışık, perspektif ve gölgeye takmıştı kafasını. Notlarında ışığın, bir noktada

13. Leonardo da Vinci, *Selections from the Notebooks of Leonardo da Vinci*, Irma Richter (ed.) (Londra: Oxford University Press, 1971), s. 2.
14. age., s. 7.
15. *Leonardo da Vinci'nin Defterleri*, cilt 1, Wikisource, http://en.wikisource.org/wiki/The_Notebooks_of_Leonardo_Da_Vinci/I, 4 Temmuz 2012'de erişilmiştir.

birleşen ışınlardan oluşan piramidin (veya koninin) tepesindeki göze nasıl ulaştığını anlatıyordu. Benzer şekilde, ışığı engellemenin nasıl gölgeler oluşturduğunu da detaylı bir şekilde inceledi. Matematiksel fikirlerinin birçoğunun kökeni, İslam dünyasının en ünlü biliminsanlarından İbn Heysem'e (965-1040) kadar uzanır. İbn Heysem ilk binyılın sonunda Mısır ve Irak'ta çalışmalar yapmış ve *Kitab el-Menazır* (Görüntüler Kitabı / Optik Kitabı) adlı eseri 14. yüzyılda İtalya'da basılmıştır.

Geometriyi itinalı, perspektif ve gölgeyi bilimsel olarak ele alan Leonardo aynı zamanda anatomiye de derin ilgi besledi. Böylece yalnızca gerçek dünyayı ele almakla kalmayan, aynı zamanda da oyuncu bir şekilde hayali manzaralara (tıpkı *Mona Lisa*'nın arka planı gibi) veya tarihi sahnelere (örneğin *Son Akşam Yemeği*) sahip büyüleyici sanat eserleri yaratmayı başardı. Bu ilerlemelerin etkilerini görmek için sanatın ne şekilde biçim değiştirdiğine bakmak yeterli olacaktır. Rönesans'tan önce resimler dünyanın çizgisel temsilinden başka bir şey değildi, oysa Rönesans'tan sonra gerçekçi betimlemelere dönüştü.

Matematik dünyayı anlayışımızda bizi doğal içgüdümüzün çok ötesine götürebilir. Matematiksel bir model gerçeğin bir temsilidir ve biz bu temsili, tekrarlanan bir deneme yanılma süreciyle geliştiririz. Modellerimiz tıpkı yaşamın kendisi gibi evrilir ve değiştikçe iyileşir. Hiçbir zaman nihai değildir. Einstein'ın da dediği gibi, "Matematik kanunları gerçekliği yansıttıkları sürece kesin değildir ve kesin oldukları sürece de gerçekliği yansıtmaz."[16] Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, oldukça karmaşık bir dünyada sınırlı yeteneklere sahip canlılar olan bizlerin yapabileceği en iyi şey doğadaki temel düzenlere odaklanıp onları anlamaktan ibarettir.

16. Albert Einstein, "Geometri ve Deneyim" (27 Ocak 1921'de Berlin'deki Prusya Bilim Akademisi'nde yaptığı konuşma), *Sidelights on Relativity* içinde, çev. G. B Jeffery ve W. Perrett (1922; özdeşbaskı, Mineola, NY: Dover 1983), s. 8.

Gezegenlerin hareketinden atom ve molekülün yapısına ve evrenin genişlemesine kadar dünyanın en temel nitelikleri, matematiğin güzel ve basit kuralları çerçevesinde gayet isabetli bir şekilde kestirilebilir. Rivayete göre İtalyan matematikçi Galileo Galilei, "Matematik Tanrı'nın evreni yazdığı dildir,"[17] demiştir. Çelişkiye yer vermeyen bir dizi mantıksal kuraldan oluşan, oldukça güçlü bir dildir matematik.

Örneğin bir çemberin çevresinin uzunluğunun çapına bölümü π (Pi) adı verilen bir sayıya eşittir. π oldukça tuhaf bir sayıdır; önce Babiller tarafından 3 civarı olduğu düşünüldü, Yunan biliminsanı Archimedes (MÖ 287-212) tarafından $3^{1/7}$ ve $3^{10/71}$ arasında olduğu sonucuna varıldı, daha sonra Çinli matematikçi Zu Chongzhi (MS 429-500) tarafından yaklaşık 355/113 olduğu bulundu. Ancak gerçek şu ki, hangi çemberin çevre uzunluğunu çap uzunluğuna bölerseniz bölün π hep aynı değerde, yani 3,14159... olarak uzayıp giden ve kendini asla tekrarlamayan rakamlardan oluşan bir değer olarak ortaya çıkar. Tamam, hadi diyelim ki π kullanışlı, büyütülecek bir yanı olmayan bir kural olsun. Ancak işe bakın ki π, aynı kullanışlılıkla evrenin herhangi bir yerinde, ister bir basketbol topu ister bir gezegen olsun, herhangi boyutta bir kürenin hacmini hesaplarken de karşımıza çıkar. Hele fizikte her taşın altında π vardır: Bir sarkacın periyodunun formülünde, iki elektrik yükü arasındaki kuvvette, bir şok dalgasının gücünde... Ve bu daha başlangıçtır.

Matematiğin dünyayı tasvir ederken niye işimize yaradığını bilmiyoruz, ama işe yaradığına şüphe yok.[18] En çarpıcı özellik-

17. *Wikipedia,* "Mathematical Beauty" *konusu, http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_beauty, 3 Temmuz 2012'de erişilmiştir.*

18. Bu konu hakkında ilgi çekici bir tartışma için bkz. Eugene P. Wigner, "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences" (New York Üniversitesi'ndeki 11 Mayıs 1959 tarihli Richard Courant dersi), *Communications on Pure and Applied Mathematics* 13, no. 1(1960), s. 1-14.

lerinden biri de kültürün, tarihin veya dinlerin ötesinde bir şey olmasıdır. İster Meksikalı veya Nijeryalı, Katolik veya Müslüman olun ister Fransızca, ister Arapça, isterseniz Japonca konuşun, hatta ister iki bin yıl önce yaşamış, ister iki bin yıl sonra yaşayacak olun fark etmez; bir çember yuvarlaktır ve iki kere iki dört eder.

Toplumlarımızı inşa etmeyi mümkün kılan şey de matematiksel bilginin bu güvenilir ve zamansız kimliğinden başka bir şey değildir. Sayıyoruz, plan yapıyoruz ve şemalar çiziyoruz. Su ve elektrik kaynaklarından mimariye, internete, yol yapımına; finans, sigorta ve piyasa tahminlerine, hatta elektronik müziğe kadar her yerde rastladığımız matematik, modern toplumun görünmez tesisatını oluşturur. Her zaman var olacak gibi duran bu tesisatı borular patlayana kadar fark etmeyiz. Diğer yandan matematiksel modeller ancak ileri sürdükleri varsayımlar kadar değerlidir. Bu varsayımlar tıpkı yakın tarihimizdeki mali krizde olduğu gibi hüsnükuruntu ya da açgözlülük sebebiyle hatalı ya da çarpıtılmış olduğunda tüm dünya bu yanlış hesapların bedelini ödemeye mahkûm olur.

Öte yandan fizikçiler evrenin tümünde geçerli temel kanunları keşfetmekle ilgilenirler. Kuramsal fizik matematiğin, gerçekliğin temel tasvirine uygulanmasıdır. Matematik, biliminin altın esası olmanın yanı sıra içsel dünya modellerimizin de en kuvvetlisidir.

Tekrar 16. yüzyılın sonları, 17. yüzyılın başlarındaki Rönesans İtalya'sına, Galileo Galilei'nin fizik bilimini kurmaya hazırlandığı yıllara dönelim. Galileo matematiğin dikkatli deneyler ve isabetli ölçümlerle birlikte kullanıldığında, gerçek dünyayı açıklamakta çok kritik bir araç olduğunu fark etmişti. Matematik gündelik deneyimlerimizin çok ötesine uzanan kavramlar yaratmamızı, gerçeklik modellerimizi derinlemesine araştırmamızı ve tanımlarımızdaki çelişkileri bulmamızı sağlar

ki bu da bizi yepyeni kavramlarla tanıştırır. Ancak son tahlilde, ilk defa Galileo'nun fark ettiği gibi, düşüncelerimizin doğru veya yanlış olduğuna dair güvenebileceğimiz tek şey deney ve gözlemlerimizdir.

Galileo mantık yürütme, gözlemleme ve itinalı deneyleri bir araya getirerek fiziği yeni, evrensel bir disiplin olarak geliştirdi. İsle karartılmış topları eğik düzlemlerde yuvarladığı deneyleriyle Jüpiter'in uydularına ve Venüs'ün evrelerine yönelik gözlemleri, Dünya'nın evrenin merkezinde yer aldığını savunan eski Ptolemaios (Batlamyus) sistemini geçersiz kılıp Güneş Sistemi'nin merkezine Güneş'i yerleştiren Copernicus (Kopernik) sisteminin doğruluğunu ortaya koymak için hayati bilgiler sağladı. Böylece Newton evrenine giden yolda ilk adım atılmış oldu.

Galileo olağanüstü bir mucitti: Pergeli, su saatini, yeni bir termometre türünü, teleskobu ve mikroskobu, kısacası dünyayı ölçüp gözlemlemesini sağlayacak birçok aleti icat etti. Fikirleri uğruna hayatını riske attı. Akılla elde edilebilen ve cisimlerin hareketini açıklayan evrensel matematik kanunları dini otorite açısından oldukça tehlikeliydi. Gözlemleri Copernicus'un Güneş merkezli Güneş Sistemi fikrini destekleyip de Katolik Kilisesi'nin görüşleriyle doğrudan çelişince Engizisyon tarafından yargınlandı ve görüşlerini geri çekmeye, sonrasında da hayatı boyunca ev hapsinde yaşamaya mahkûm edildi. Ev hapsinde geçirdiği vaktini, son şaheseri olan ve Newton'ın mekanik kuramının temelini oluşturan *İki Yeni Bilim*'i yazmaya adadı. Albert Einstein'ın, Galileo'dan "modern fiziğin ve modern bilimin babası" şeklinde bahsetmesinin ardında bu başarılar yatar.[19]

Matematiksel kuramların ve gerçek deneyimlerin Galileo'nun öncülük ettiği bu sentezi, elektronikten yapı mühen-

19. Albert Einstein: Dava Sobel, *Galileo's Daughter: A Historical Memoir of Science, Faith* içinde (New York: Walker, 1999), s. 326.

disliğine, lazerden uzay yolculuğuna modern teknolojinin geliştirilmesini mümkün kıldı ve atomaltı parçacıklardan gözlemlenebilir kozmosa dek evreni bir bütün olarak idrakımıza açık hale getirdi. Hâlâ açıklığa kavuşmamış çok şey olmasında rağmen Galileo'dan beri fiziğin ne kadar çok ve ne kadar hızlı geliştiğine baktığımızda gelecekte hangi sınırlara uzanacağını hangimiz söyleyebilir ki?

* * *

Matematik ve fiziğe duyduğum tutku yedi yaşımdayken başladı. Babam 1966'da cezaevinden çıktığında tekrar tutuklanma riskiyle karşı karşıya olduğunu biliyordu. Botsvana sınırından geçti ve sonra Kenya'ya gitti. Hatırı sayılır bir bekleyişten sonra annem ve iki ağabeyimle birlikte, bir daha Güney Afrika'ya dönmemek şartıyla onun yanına gitmek için izin alabilmiştik. Ancak artık bir mülteci olan babamın pasaportu yoktu ve iş bulamıyordu. Devlet Başkanı Julius Kambarage Nyerere önderliğindeki komşu Tanzanya ise Apartheid rejimiyle mücadele edenleri desteklemekte çok daha kararlıydı. Biz de Nairobi'de kısa bir süre kaldıktan sonra Tanzanya'dan sığınma hakkı aldık ve ülkenin en büyük kenti Darüsselam'a taşındık.

Gönderildiğim devlet okulunda Margaret Carnie adında harika bir İskoç öğretmenle tanıştım. Beni okulun haritalarını çıkarmak, elektrikli motorlar yapmak ve denklemlerle oynamak gibi birçok bilimsel aktiviteye katılmam konusunda teşvik etti. Öğretmek onda bir tutkuydu, asla buyurgan değildi, bana inanılmaz derecede destek oluyor ve bir hayli özgürlük tanıyordu. Her şeyden önemlisi bana inanıyordu.

On yaşımdayken Londra'ya taşındık. Apollo 11'in Ay'a inişine ve Neil Armstrong'un Ay'daki ilk adımlarına yetişmiştik. Dünya'nın, Ay'ın ufkunun hemen ötesinde, müthiş güzellikte

mavi bir bilye gibi göründüğü o fotoğrafı kim unutabilir? Ayaklarımız yerden kesilmişti ve gelecek adına umutla dolmuştuk.

60'ların sonuydu ve çevrenizde görebileceğiniz en havalı şey uzaydı. Uzay programının hayatın her kesiminden, farklı siyasi görüşlerden insanları nasıl bir araya getirdiğini ve yarattığı o akıl almaz coşkuyu anlatmak çok zor. Tüm bu olup bitenler yeni bir ruh halini simgeliyordu; teknolojiyi kullanarak kozmosa uzanan basamakları çıkıyor olmamız gibi çılgınca bir fikre sahip, hırslı ve heyecanlı bir ruh haliydi bu.

Yalnızca bir yıl sonra yaşanan Apollo 13 olayı da Ay'a iniş kadar nefes kesiciydi. Evden 320.000 kilometre uzaklıkta, derin uzay boşluğundayken büyük bir patlama duyduğunuzu hayal edin. "Houston, bir sorunumuz var..." Ana oksijen tanklarından biri patlamış ve takip eden iki saat boyunca o çok değerli oksijen uzaya sızmıştı. Üç astronot ellerindeki tek filika olan küçük Ay keşif kapsülüne doluştu. Dünya'ya dönmek için ihtiyaç duydukları yakıttan çok daha azına sahiplerdi. Büyük dram yaşanıyordu. Televizyon haberleri onlarla doluydu. Dünyanın her yerinde insanlar endişeyle beklemeye başladılar. Astronotlar nasıl hayatta kalacaklardı?

NASA'nın mühendisleri fantastik bir çözüm ürettiler. Ay'ın çekim kuvvetini kullanarak astronotları Ay'a doğru çektiler, ardından da ufak kapsülü Ay'ın karanlık yüzü etrafında çevirerek bir sapan misali Dünya'ya fırlattılar. Birkaç gün sonra astronotlar küçük, sıcak, teneke kutularının içinde Büyük Okyanus'a pike yapmışlardı. Düşüşten sonra kurtarıldılar ve televizyon ekranlarından bize el salladılar. İnanılır gibi değildi. Sıskaydılar, tıraş olmamışlardı, ancak hayattaydılar. Hepsi de bu maceradan sağ çıkmıştı. Tam bir mucizeydi.

Söz konusu manevranın izleyeceği yol hesaplanırken kullanılan denklemleri keşfeden kişi, bugün kuramsal fizik adını verdiğimiz alanın kurucusu ve aynı zamanda tüm zamanların

en yetenekli matematikçilerinden Isaac Newton'dan başkası değildi.

Newton da tıpkı Galileo gibi aykırıydı. Sıradan bir geçmişe fakat sıradışı bir zihne sahipti. Oldukça dindardı fakat inançları hakkında oldukça az konuşurdu. Anlaşılabilir bir şekilde, bilimsel kariyerinin Cambridge'teki Trinity College'da geçen bölümünde Kutsal Üçleme fikrini ateşli bir şekilde reddetti. Görünen o ki Newton mistisizmden oldukça etkilenmişti; İncil yorumlamaları üzerine, bilim üzerine yazdığından daha fazla yazdı. Ünlü ekonomist John Maynard Keynes, Newton'ın açık arttırmada satılan bir kutu dolusu kişisel notları üstüne çalıştığında şu sonuca vardı: "Newton akıl çağının ilk ismi değildi. O büyücülerin, Babillerin ve Sümerlerin sonuncusuydu. Görünen ve düşünsel dünyaya, 10.000 yıldan kısa bir süre önce zihinsel mirasımızı inşa etmeye başlayan kişilerin gözleriyle bakan son dâhiydi."[20]

Newton bilimsel çalışmalarının ilk yıllarının çoğunu simya üstüne çalışarak, maddenin dönüşümünü (temel elementleri altına çevirme) araştırarak ve ölümsüzlük iksirini bulmaya çalışarak geçirdi. Bu çabalarının hiçbiri nihayete ermedi; yalnızca kendini cıvayla zehirlemeyi başarabildi. Bu zehirlenme, 51 yaşında yaşadığı düşünülen ve bütün ciddi bilim çalışmalarına son vermesiyle sonuçlanan sinirsel çöküntüsüne katkıda bulunmuş olabilir.

Newton asıl maharetini matematiksel araştırmalarında gösterdi. Dünya'daki nesnelerin ve uzaydaki gezegenlerin hareketini açıklayacak matematiksel formülleri bulmaya çalıştı, şaşılacak derecede basit ve başarılı yanıtlar buldu. 16. yüzyılın sonlarında Danimarka'daki, o zamanlar dünyanın en büyük

20. John Maynard Keynes, 1946'de Royal Society için hazırladığı "Newton the Man" konuşmasından. Bkz. http://www-history.mcs.st-and. ac.uk/Extras/Keynes_Newton.html.

gözlemevi olan Uraniborg Gözlemevi'nde gökbilimci Tycho Brahe, gök cisimlerinin hareketlerinin oldukça isabetli ölçümlerine imza attı. Brahe'nin kol kanat gerdiği ünlü Alman matematikçi ve gökbilimci Johannes Kepler de deneye dayalı birtakım dâhiyane yöntemlerle bu verileri modellemeyi başardı. Galileo'nun içgörülerini eksiksiz bir matematiksel kurama dönüştürmekse Newton'a düştü.

Copernicus, Dünya'nın evrenin merkezinde yer almadığı fikrini Galileo'dan önce ortaya attı. Kökenleri Aristoteles ve Ptolemaios'a uzanan önceki inanışsa göksel kürelerden oluşan iç içe geçmiş büyük bir sistemi devam ettiren Güneş'in, Ay'ın ve gezegenlerin Dünya'nın çevresinde hareket ettiği görüşünü temel alıyordu ve bu sistemi gözlemlerle örtüşecek şekilde yorumlamak mümkündü. Aristoteles'e göre Dünya'nın doğasında hareket etmek yoktu. Dünyevi cisimler dünyevi kanunlara, gök cisimleri de gökteki kanunlara tabiydi.

Newton'ın bakış açısıysa oldukça farklıydı. Kütleçekim kanunu "birleştirime", yani fiziksel gerçeklikleri tanımlayan matematik kanunlarını tek ve düzenli bir bütüne götüren yolda atılan ilk adımdı. Aynı kanunların Dünya'da, Güneş Sistemi'nde veya kozmosun herhangi bir yerinde geçerli olduğu düşüncesi o ana kadarki en geniş kapsamlı düşünceydi. Newton'ın kütleçekim kanunu, iki cisim arasındaki kütleçekim kuvvetinin yalnızca kütlelerine ve aralarındaki mesafeye bağlı olduğunu söyler. Cismin kütlesi ne kadar büyükse o kadar kuvvetli bir şekilde çeker ve çekilir. Cisimler arasındaki mesafe ne kadar fazlaysa aralarındaki çekim kuvveti de o kadar zayıf olacaktır.

Kütleçekim kanununun sonuçları üzerine çalışabilmek için, Newton'ın bir kuvvet ve hareket kanunu geliştirmesi gerekti. Bu da "kalkülüs" adı verilen yepyeni bir matematik türünü gerekli kıldı. Kalkülüs, konumu zamanın bir fonksiyonu olarak verilen bir cismin hareketi gibi devam eden süreçlerin incelenmesidir.

Hız cismin konumunun değişim değerini ölçer, ivme de bize hızın değişim değeri hakkında bilgi verir. Her ikisi de sonsuz küçüklükteki anlarda hesaplandığı için, kalkülüs dolaylı olarak sonsuz derecede küçük miktarların üzerine kurulur. Bir kez bu kuramı geliştirdikten sonra Newton bunu kütleçekiminin veya Güneş Sistemi'nin çok ötesine uygulayabilmişti. Kalkülüs sayesinde *herhangi* bir cisim kümesinin *herhangi* bir kuvvete maruz kaldığında nasıl hareket edeceği öngörülebiliyordu.

Newton'ın cisimlerin hareketini tasvir ederken yola çıktığı başlangıç noktası idealleştirmeydi. Boş uzaya bırakılan bir cisim, etrafında hiçbir şey olmadığında nasıl hareket eder? Sonsuzluğa uzanan mutlak bir boşlukta sürüklenen bir hokey pakını düşünün mesela. Kütleçekimi veya diğer tüm kuvvetleri görmezden gelelim. Bu pakın nasıl hareket etmesini beklersiniz? Eğer tamamen bir başınaysa ve çevresinde konumunu ölçmemizi sağlayacak hiçbir şey yoksa, hareket ettiğini nasıl söyleyebilirsiniz?

Şimdi boşlukta serbestçe süzülen ikinci bir hokey pakı hayal edin. Her bir pakın üstünde de ufacık birer insan olduğunu ve diğer pakın hareketini izlediğini düşünün. Bu insanlar ne görür? Ve her bir pak nasıl hareket eder?

Newton'ın yanıtı basitti. Herhangi bir paktan bakıldığında, diğer pak düz bir çizgide, sabit bir hızda hareket eder. Biri diğerinden farklı olmayan başka paklar da hayal ettiniz diyelim; yine her bir pakın bakış açısından, diğer pakların tümünün aynı şekilde hareket ettiği görülür. Bu Newton'ın ilk hareket kanunuydu: Kuvvetin yokluğunda herhangi bir cismin hızı sabit kalır.

Şimdi Dünya'ya geri dönelim. Yüzeyi pürüzsüz, kaygan bir buz pateni pistindeyiz. Dünyanın en iyi buz parlatıcıları az önce üstünden geçmiş olsun. Buzda, tamamen düz bir çizgide kayan bir hokey pakı hayal edin. Ancak bu kez siz de yanında kayı-

yor ve sopanızla onu sürüyorsunuz. Yanlardan hamle yaparak izlediği yolda kavisler yaratıp, arkasından iterek de hızlandırabilirsiniz. Newton'ın ikinci kanunu her iki etkiyi de tek bir denklemde tanımlar: Kuvvet eşittir kütle çarpı ivme.

Son olarak bir şeyi ittiğiniz zaman, bu ister bir pak ister başka bir insan isterseniz buz pistinin duvarı olsun, o da size aynı kuvvetle karşılık verir. Newton'ın üçüncü kanunu bunu açıklar: Uygulanan her kuvvete karşılık eşit büyüklükte ve zıt bir kuvvet vardır.

Newton'ın üç kanunu oldukça basit fakat inanılmaz derecede güçlüdür. 20. yüzyıldan önce harekete dair bilinen ne varsa hepsini tanımlar. Kütleçekim kanunuyla birleştiğinde Güneş'in kütlesinden kaynaklanan kuvvetin, gezegenleri nasıl kendine doğru çektiğini –sicime bağlı, savrulan taş örneğinde sicimin taşı çektiği gibi– ve gezegenlerin hareketini değiştirerek nasıl kendi çevresinde bir yörüngeye oturttuğunu açıklar. Newton'ın üçüncü kanununa göre sicimin taşı veya Güneş'in Dünya'yı çektiği gibi taş da sicime asılır ve Dünya da Güneş'i zıt yönde çeker, böylece Güneş'in etrafındaki konumuna göre onu belli belirsiz yerinden oynatır. Aynı etkiden şimdi diğer yıldızların çevresinde yörüngede olan gezegenleri araştırmak için yararlanılır: Uzaktaki bir yıldızın konumundaki en ufak hareketlenme, bizim algıladığımız renk üzerinde ufacık bir değişiklik yaratır ve biz bunu fark edebiliriz. Bunun daha bilindik bir örneğiyse Ay'ın kütleçekiminin Dünya'nın okyanusları üzerindeki etkisidir, yani gelgitler.

Bu kanunların içinde saklı olan ve Galileo'ya kadar uzanan fikir, nesnelerin yalnızca *göreli* konum ve hareketlerinin gerçekten önem taşıdığıydı. Galileo sabit şekilde ilerleyen bir geminin kamarasında yolculuk yapan kişinin, geminin içindeki herhangi bir şeye –örneğin etrafta uçuşan bir sineğe– bakarak geminin hareket edip etmediğini bilemeyeceğini belirtti. Biz de aynı şeyi

günümüzde saatte 1000 kilometre hızla giden bir uçağın içinde olmamıza rağmen kendimizi oturma odamızdaymış gibi hissederken deneyimleriz.

Şu buz pistimize geri döndüğümüzde de aynı etkiyi görürüz. İki hokey pakının buz üzerinde birbirine tamamen paralel şekilde ve aynı hızda kaydığını düşünün. Pakların herhangi birinden bakıldığında diğeri hareketsiz görünür. Ancak üçüncü bir paktan bakıldığında her iki pak da düz çizgiler üzerinde aynı hızda hareket ediyor olacaktır. Buz pistimizin dünyasında önemli olan tek şey nesnelerin *göreli* konumu ve hareketidir. Newton'ın kanunları asla hızdan bahsetmediği için, sabit bir hızda hareket eden her bir pakın bakış açısı aynı şekilde geçerli olacaktır. Benzer konumdaki tüm gözlemciler kuvvetler ve ivmeler üzerinde ve Newton'ın kanunlarının geçerli olduğu konusunda hemfikir olacaklardır.

Sabit hızda hareket eden her gözlemci için aynı hareket kanunlarının geçerli olduğu fikri oldukça önemlidir. Güneş çevresinde hızla hareket etmemize rağmen nasıl hiçbir şey hissetmediğimizi açıklar. Yörüngemizdeki hızımız (saniyede yaklaşık 30 kilometre) muazzam olmakla birlikte Galileo'nun da fark ettiği gibi, bu bizim için algılanamaz bir harekettir; ne de olsa Dünya'nın yüzeyindeki ve çevremizdeki her şey de bizimle birlikte, aynı muazzam hızda hareket eder. Bugün Güneş'in de (saniyede 250 kilometre gibi daha da inanılmaz bir hızda) galaksimizin çevresinde hareket ettiğini, galaksimiz Samanyolu'nun ise saniyede 600 kilometre gibi bir hızda evrende hareket ettiğini biliyoruz. Aslında birer uzay yolcusuyuz, ancak hızımız Newton'ın kanunlarının umrunda bile olmadığı için hiçbir şey hissetmiyoruz!

Newton'ın kütleçekim kanunu pantolonunuzun arka kısmını sandalyenize temas ettiren, Dünya ve diğer gezegenleri Güneş çevresinde yörüngede tutan, yıldızların birer küre şeklinde

kalmasını sağlayan ve onları galaksilerindeki yerlerinde tutan görünmez ve değiştirilemez bağı inanılmaz bir kesinlikle tanımlar. Aynı zamanda Dünya'nın kütleçekiminin tenis toplarından uydulara kadar her şeye nasıl etki ettiğini de açıklar. Tamamen aynı kanunların bizim kusurlu dünyamızda olduğu gibi yıldızların o zamana dek doğaüstü ve ilahi kabul edilen diyarında da geçerli olması gerektiği fikri kavramsal ve tabii ki ruhani bir kırılma yarattı. Stephen Hawking'in de dediği gibi Newton gökleri ve Dünya'yı birleştirmişti.

Newton kanunlarından günümüzde de her zaman olduğu gibi oldukça faydalanırız. Mühendisler bugün her şeyden evvel bu kanunları öğrenirler. Gerek Dünya'da gerekse uzayda araçların nasıl hareket ettiğini bu kurallar belirler. Makinelerden köprülere, uçaklardan boru hatlarına kadar her şeyi inşa etmemizi sağlar. Üstelik yalnızca yapım değil, tasarım aşamasında da onlardan faydalanırız. Newton kanunlarını gezegenlerin hareketleri üzerine düşünerek keşfetmiş olsa da, bu kanunlar köprü yapımından buhar makinesine birçok teknolojinin geliştirilmesine olanak tanıdı. Newton'ın kuvvet kavramı tüm bunların anahtarı oldu. Kuvvetleri kontrol ederek ve onlara hükmederek doğayı nasıl kendi amaçlarımız için yönlendirebileceğimizi gösterdi.

Newton bulduklarını *Doğal Felsefenin Matematiksel İlkeleri* veya diğer adıyla *Principia*'da yayımlayalı üç yüzyıldan fazla bir zaman geçti, ancak onun evrensel hareket ve kütleçekim kanunları hâlâ mühendisliğin ve mimarinin büyük oranda temelini oluşturur. İnsan toplumlarının örgütlenmesini değiştiren Sanayi Devrimi'ni olası kılan da yine Newton'ın buluşlarıydı.

Newton kanunlarının tanımladığı evren "klasik" veya "saat gibi işleyen" evren olarak da anılır. Eğer bir an içinde her nesnenin kesin konumunu ve hızını bilirseniz, Newton kanunlarıyla o nesnelerin gelecek veya geçmişteki konumlarını da (ne

kadar uzak olursa olsun) tam olarak bilebilirsiniz. Bu klasik evren tamamen belirlenimci, dolambaçsız ve sezgiseldir. Ancak birazdan göreceğimiz gibi bu bağlamda tamamen yanıltıcıdır. Hikâyenin bu kısmına geçmeden önce bir ismi daha tartışmamız gerekiyor; Newton'dan iki yüzyıl sonra, ondan bile daha büyük bir keşfe imza atacak birini.

* * *

IŞIĞIN DOĞASININ KEŞFEDİLİŞİNİN öyküsü, İskoç Aydınlanması olarak bilinen –keşif ve dönem isimleri oldukça uygun düşer– düşünsel gelişim süreciyle başlar. İngiltere'nin Afrika'da, Amerika'da ve Asya'da bir imparatorluk kurmakla meşgul olması nedeniyle rahat bırakılan İskoçya, monarşinin ve Katolik Kilisesi'nin baskısı altında geçen karanlık ve acımasız bir dönemin ardından, 18. yüzyılın sonlarında kendine özel bir kimlik geliştirme fırsatı yakaladı. Güçlü bir ulusal ruh yakalayan İskoçya kendi kararlarını almakta ve örnek bir toplum yaratmakta kararlıydı. İskoçya Parlamentosu 500 devlet okulundan oluşan emsalsiz bir eğitim sistemi kurdu ve 18. yüzyılın sonunda İskoç toplumu, dünyanın en iyi eğitimine sahip toplum haline geldi. Glasgow, St. Andrews, Edinburgh ve Aberdeen'de olmak üzere dört üniversite kuruldu ve bu üniversitelerde okumanın maliyeti İngiltere'deki Oxford ve Cambridge'e kıyasla çok daha düşüktü. İskoç üniversiteleri hem kamusal eğitimin hem de akademik araştırmaların merkezi haline geldi.

David Hume gibi aydınlara ve Adam Smith gibi siyaset felsefecilerine ev sahipliği yapan Edinburgh, Avrupa'nın edebiyat merkezi haline geldi. *How the Scots Invented the Modern World* kitabının yazarı Arthur Herman'a göre İskoçya, "bütün fikirlerin eşit yaratıldığı, sosyal konumdan ziyade beyinlerin el üstünde tutulduğu ve ciddi konuların tartışılabildiği bir yerdi

(...) Edinburgh devasa bir düşünce kuruluşu veya sanat evi gibiydi. Ancak çoğu modern düşünce kuruluşunun aksine gündelik hayattan kopuk değildi; hayatın tam içindeydi."[21]

İskoç akademik çevreler böylece kendine has bir yola girdi; kurucu ilkelere büyük önem verdi ve öğrencilerine düşünmeyi, keşfetmeyi ve icat etmeyi öğretti. Örneğin cebir ve geometrideki temel kavramları ve bunların gerçek dünyayla ilişkileri üzerine ateşli tartışmalar yapılıyordu bu çevrelerde.[22]

Temeller üzerine bu denli yoğunlaşılması meyvelerini verdi. Örneğin 200 yıl boyunca unutulan fakat günümüzde modern veri analizlerinin temelini oluşturan ünlü "Bayes kuramının" sahibi, İngiliz matematikçi ve Presbiteryen Papaz Thomas Bayes, Hume ile aynı zamanda Edinburgh Üniversitesi'ne devam etmişti. İskoçya'nın akademik gelişimi vakit kaybetmeden buhar makinesinin mucidi James Watt veya Angus açıklarındaki Bell Rock Deniz Feneri'ni yapan Robert Stevenson gibi büyük İskoç mühendisleri yarattı.

Batı dünyası 19. yüzyıla adım atarken Sanayi Devrimi yayıldı ve hayatın her alanını yeniden şekillendirdi. Buhar makinelerinin gücü ekonomide devrim yarattı. Trenler, buharlı gemiler ve diğer taşıtlarla mesafeler kısaldı; tekstilden tencere tavaya kadar birçok şey üreten fabrikaların ihtiyaç duyduğu işgücünü sağlamak için insanlar kitleler halinde kentlere taşındı ve böylece emek ve ekonomi değerleri yeniden tanımlandı. Yeni bir tür doğa filozofları türedi –bunlar çoğunlukla hali vakti yerinde meraklı amatörlerdi– ve eskiden var olmayan yeni yöntemlerle dünyayı anlayabilmek için yola çıktılar. İskoç Aydınlanması'nın

21. Arthur Herman, *How the Scots Invented the Modern World: The True Story of How Western Europe's Poorest Nation Created Our World and Everything in It* (New York: Three Rivers, 2001), s. 190.
22. George Elder Davie, *The Democratic Intellect: Scotland and Her Universities in the Nineteenth Century* (Edinburgh: Edinburgh University Press, 1964), s. 150.

etkileri bilimin en üst seviyelerinde de hissedildi. Birçok filozof, yazar, mühendis ve mucitin yanında İskoçya büyük matematikçiler ve fizikçiler çıkarmaya başladı. Bunların arasında genç bir dâhi, doğanın iç işleyişini Newton'ı bile gölgede bırakacak şekilde açığa çıkaracaktı.

Newton fiziği, Ay'ın kütleçekimi nedeniyle oluşan gelgitlerden gezegenlerin yörüngesine, sıvıların akışkanlığına, havan topunun izleyeceği yola ve köprülerin sağlamlığı ve dengesine kadar birçok şeyi –kısaca hareket, kuvvet ve kütleçekimi içeren her şeyi– açıklıyordu. Fakat radyo dalgalarının yayılmasını, telefonu, elektriği, motoru, dinamoyu veya ampulü hiçbir zaman ne öngörebildi ne de açıklayabildi. Bütün bunları ve çok daha fazlasını anlayabilmemizi 1791'de doğan Michael Faraday'in deneysel çalışmalarına ve ondan kırk yıl sonra doğan James Clerk Maxwell'in kuramsal ayrıntılara girmesine borçluyuz.

Faraday ve Maxwell ikilisini, fiziğin deneysel *yin*'i ve kuramsal *yang*'ı olarak görmek mümkün. Bu iki isim Victoria Dönemi biliminin simgesi oldu. Hali vakti yerinde bir aileden gelen, iyi eğitimli Maxwell (Kendisi küçük bir İskoç mülkünün vârisiydi) belirli bir tipi yansıtıyor: Hayatını kazanma baskısı hissetmeyen, bilimin peşinden gayret ve tutkuyla giden bir hobici, centilmen bir biliminsanı.

James Clerk Maxwell İskoçya'nın güneyinde dünyaya gelmiş, zeki ve meraklı bir çocuktu. Ailesinin Glenlair'deki mülkünü dilediği gibi kullanabilen Maxwell, ister insan yapımı ister doğal olsun her şeye ilgi duyuyordu. Bir böceği veya bitkiyi incelerken, bir akıntının yolunu izlerken veya bir zil kablosunu takip ederken sürekli "Bu nasıl işliyor?" diye sorardı. 10 yaşında özel bir okula, Edinburgh Akademisi'ne başladı. "Dafty" (avanak) lakabını almıştı ve bunda avukat olmasına rağmen bilime meraklı babası tarafından tasarlanan giysilerinin de payı

vardı. 14 yaşında, babasının da teşvikiyle Maxwell hevesli bir matematikçi oldu ve yeni elips çizme yöntemleriyle ilgili ödevi, bir öğretmeni tarafından Edinburgh Kraliyet Cemiyeti'ne sunuldu.

İskoç eğitim sistemi matematiğe özel önem veriyordu. Öğrenciler, bir öğretmenin deyimiyle "mekanik hüner" olan ezbere dayalı eğitim görmüyor, işe önce ilke ve aksiyomlarla temelden başlıyorlardı. James Clerk Maxwell bir öğrenciyken ilk yakın arkadaşı Peter Guthrie Tait ile tanıştığında, birbirlerine "öner-me"ler sundukları –birbirlerini alt etmek için sorular icat ettikleri– eğlenceli bir alışveriş geliştirdiler. Bu alışveriş ikili arasında bir bağ kurdu ve onlarca yıl sonra her ikisi de öne çıkan birer fizikçi olduğunda Maxwell eski dostuna sorular göndermeye devam etti. Bu sorulara gelen cevaplar da Maxwell'in elektromanyetizmayla ilgili çalışmalarını tamamlamasına yardımcı oldu.

Maxwell, Tait ve daha sonra Lord Kelvin adıyla anılacak olan ve Glasgow Üniversitesi'nde eğitim görmüş William Thomson, çağın önde gelen üç fizikçisi haline geldiler. Tait ve Thomson 19. yüzyılın en önemli fizik kitabı *Treatise on Natural Philosophy*'yi birlikte kaleme aldılar. Tait matematiksel düğüm kuramlarını ortaya koydu ve Lord Kelvin de aralarında ısı teorisinin de bulunduğu (ki adı bugün sıcaklığın mutlak ölçeğiyle anılır) birçok alana önemli katkı sağladı. Bir diğer büyük İskoç mucid Alexander Graham Bell de Kanada'ya göç edip telefonu icat etmeden önce Maxwell'in izinden Edinburgh Üniversitesi'ne gitti.

Edinburgh Üniversitesi'nde geçirdiği üç yıldan sonra Maxwell Cambridge'e taşındı. Edinburgh Üniversitesi'ndeki hocalarından biri, tavsiye mektubunda şunları yazmıştı: "Çok kibar biri değildir, bununla birlikte tanıdığım en ilginç gençlerden biridir ve fiziksel araştırmalar konusundaki yeteneği son

derece etkileyicidir."[23] Edinburgh'da serbest düşünce üzerine yoğunlaşan, daha rahat bir eğitim verilirken, Cambridge çok daha rekabete dayalı bir yerdi ve Maxwell'in zamanının çoğu sınavlara hazırlanmakla geçiyordu. Maxwell üniversitenin final sınavlarında ikinci olduktan sonra, 23 yaşında Trinity College üyesi olarak atandı. Bu ona, aralarında balık gözü objektiften düşen kağıtların uçuşuna, hatta kedilerin düşerken duruşlarını nasıl düzelttiğine kadar birçok olayı inceleme fırsatı verdi; aynı zamanda renkli fırıldaklar yardımıyla beyaz ışığın kırmızı, yeşil ve mavinin karışımı olduğunu kanıtladı.

Hemen bir yıl sonra, 1856'da Maxwell Aberdeen'e taşınıp doğa felsefesiyle ilgilenmeye başladı. Londra'daki King's College'a geçmeden önce burada beş sene geçirdi. Bu süreçte birçok farklı alana katkıda bulundu; her vakayı fiziksel içgörüsünü matematik yeteneğiyle birlikte kullanarak ele aldı. Satürn'ün halkalarının ufak parçacıklardan oluştuğunu gösterdi (Bu teori 1980'lerde *Voyager*'ın bölgenin yakınlarından geçmesiyle doğrulanacaktı). Elastisite modelini geliştirdi ve ısı kuramında bağıntılar keşfetti (Bunlar da hâlâ günümüzün mühendisleri tarafından kullanılır). Daha sonraki kariyerinde gaz moleküllerinin istatistiksel özellikleri üzerinde çalıştı ve ilk renkli slayt gösterimini yaptı. Ancak bütün bunları gölgede bırakan işine 1854'te, manyetizma ve elektrikle ilgili bir dizi karmaşık denklemi sadeleştirmeyi kafaya koyduğunda başladı.[24]

Öte yandan Michael Faraday ise Güney Londralı bir demircinin oğluydu ve 13 yaşında bir mücellitin yanında çalışmak için okulu bırakmıştı. Hiçbir bilimsel eğitim görmemişti ve matematiğe de yabancıydı, ancak dünyaya karşı derin bir merakı,

23. J. Forbes: P. Harman, *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*, cilt 1, 1846-1862 içinde (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), s. 8.
24. Alan Hirshfeld, *The Electric Life of Michael Faraday* (New York: Walker, 2006), s. 185.

onu anlamaya yatkınlığı ve fizik konusunda muhteşem sezgileri vardı.

Bir gün ciltlemesi için kendisine verilen ansiklopedide okuduğu, elektriğe dair bir yazı Faraday'i büyüledi. Mücellitin müşterilerinden biri bu gencin zekâsını fark etti ve ona dönemin büyük biliminsanlarından Sir Humphrey Davy'nin Kraliyet Enstitüsü'ndeki konferansları için bilet verdi. Konferansa katılan Faraday aldığı bol miktardaki notu temize çekti –ki bu notlar konferansların neredeyse tamamının dökümüydü– güzelce ciltleyip bu büyük biliminsanına sundu. Bu jest Faraday'in önce Davy'nin laboratuvarında şişe yıkayıcı olarak işe başlamasını, çok geçmeden de onun sağ kolu olmasını sağladı. Daha sonra da Kraliyet Enstitüsü'nün direktörü olarak Davy'nin yerini alacaktı. Yoğun eşitsizlik ve adaletsizliğe rağmen Victoria Dönemi'nde, işçi okulları veya kamu konferanslarında olduğu gibi zaman zaman bilimin halka ulaşması mümkün oluyordu.

Bir biliminsanı olarak olgunluk döneminde yorulmak bilmeden çalışan Faraday birçok farklı alanda buluşa imzasını attı. Ancak onu asıl büyüleyen elektrik ve manyetizmaydı ve bu hususta yalnız da sayılmazdı. Elektrikli yılan balıkları ve yıldırım üzerinden elektriğe dair gözlemler bin yıldır yapılıyor olsa da, elektriğin sihirli güçleri 19. yüzyılda daha fazla dikkate alınır oldu; ne var ki bu güçler hâlâ tam olarak anlaşılamıyordu. Kıvılcımı ve cızırtısı hayat vericiydi, yeni bir çağ başlattığı bile söylenebilirdi. Mary Shelley'nin *Frankenstein veya Modern Prometheus* adlı kitabı, 19. yüzyılın başlarında Londra'da, sıklıkla kamusal alanda ölü veya canlı hayvanlar üzerinde yapılan elektrik deneylerinden esinlenilerek kaleme alındı. Eserin adı çağın biliminsanlarını Yunan mitolojisindeki Prometheus'a, kendini insanlığa adayan titana benzetiyordu. Prometheus tanrıların kralı Zeus'tan ateşi çalmış ve insanlara vermişti. Shelley'nin kitabı ibretlik bir hikâyeydi: Zeus ceza olarak Prometheus'u bir

kayaya zincirlemişti; her gün bir kartal gelip Prometheus'un ciğerini yiyordu ve her akşam ciğeri yenileniyordu.

Faraday zamanla elektriği herkesten daha iyi anlamaya başladı; çalışmaları çağının çok ötesindeydi. Kimyasal bağların elektriksel olduğunu gösterdi, elektroliz ve bir metalden diğerine elektrik geçişi kanunlarını keşfetti. Faraday'in basit deneylerle yeni olgular keşfetmek gibi inanılmaz bir yeteneği vardı. Bizmutun, iyotun, alçının, hatta kanın ve ciğerin manyetik özelliklerini inceledi. Manyetikleştirilmiş bir bölge içinde oksijen, azot ve hidrojen gibi çeşitli gazlar içeren sabun baloncukları uçurdu. Oksijenle dolu baloncuğun manyetize bölgede takılı kaldığını gördü; sebebi oksijenin paramanyetik olmasıydı (Bu açıklama için 90 yıl, yani kuantum mekaniğinin icadını beklemek gerekti).

Faraday aynı zamanda elektromanyetik indüksiyonu keşfedip, içinden bir tel geçirerek bir mıknatıstan nasıl elektrik çekilebileceğini gösterdi. Faraday bu keşfinden yararlanarak, günümüzde tüm dünyada elektrik üretip dağıtmak için kullanılan dinamoları ve transformatörleri icat etti. Bununla beraber süperiyonik iletkenliği, yani modern yakıt hücrelerinin temel mekanizmasını da keşfetti.[25]

Faraday ayrıca metal bir kabın elektrikle yüklendiğinde, elektrik yükünün dış yüzeye geçtiğini gösterdi. Asistanının 150.000 volt yüklediği, yaklaşık 3,5 metrelik kare bir kafesin içine oturdu. Her tarafından kıvılcımlar uçuşuyordu, saçları kıvılcımdan tutuşmuştu ancak bu deneyim esnasında hiç zarar görmedi, çünkü elektrik yükünün tümü dışarıdaydı. Artık uçağınız bol şimşekli bir fırtınaya bir daha maruz kaldığında, Michael Faraday'e bunun güvenli olduğunu gösterdiği için teşekkür edersiniz.

25. John Meurig Thomas, "The Genius of Michael Faraday", Waterloo Üniversitesi'ndeki 27 Mart 2012 tarihli dersi.

Faraday bunlardan çok, çok daha fazlasını yaptı, ancak bizim hikâyemiz için yaptığı en büyük katkı, modern fiziğin merkezinde yer alan tuhaf, tarifi zor bir kavramı, yani alan kavramını ilk kez tanımlamış olmasıdır. Faraday elektriksel yüklerin belli bir mesafeden birbirini çekip ittiğine değil, bir yükün etkisini bir diğerine ileten bir aracı olması gerektiğine inanıyordu.

Faraday bir matematikçi değildi ve bir fikri ancak yavaş ve meşakkatli deneyler aracılığıyla geliştirebiliyordu. Bir sonraki büyük buluş teoriye kalıyordu. Tuhaf delikanlı Maxwell, Faraday'in sezgilerini alıp fizikteki en güzel ve en güçlü matematiksel çerçevelerden birine oturttu ve böylece tüm zamanların en büyük gizemlerinden birini çözmüş oldu.

ELEKTRİĞİN EN BASİT kuralı benzer yüklerin birbirini itmesi, farklı yüklerin de birbirini çekmesidir. Bunu bir koli bandından iki ince uzun şerit kesip yapışkan tarafı altta kalacak şekilde, yan yana bir masaya yerleştirerek görebilirsiniz. Şeritlerden birini sol elinizle, diğerini de sağ elinizle tutup masadan aynı anda çekip sökün ve dikey bir şekilde elinizden sarkmalarına izin verin. Ellerinizi birbirine yaklaştırırsanız şeritlerin elektriksel itme kuvveti nedeniyle birbirinden uzaklaşmaya eğilimli olduğunu göreceksiniz.

Zıt etkiyi de deneyi biraz değiştirerek görmek mümkündür. Şeritleri masanın üzerine ayrı ayrı koymak yerine önce şeritlerden birini masaya yerleştirin, sonra da diğerini ilkinin üzerine koyun. Şimdi ikisini birlikte masadan çift katlı bir şerit gibi söküp çıkarın. Üzerinde parmaklarınızı yavaşça gezdirerek çifte şeridi nötralize edin (Böylece elektriksel yük kalmayacak). Şimdi de iki elinizi kullanarak şeritleri birbirinden ayırın. Şeritler üzerinde en başından beri hiç yük olmadığı için, biri yük kazandığı takdirde diğerinin yük kaybetmesi

gerekecek. Dolayısıyla biri artı yüklü ise diğeri eksi yüklü olmak durumunda. Elinizden aşağı doğru sarkıttığınız iki şeridi birbirine yaklaştırdığınızda, şeritlerin birbirine doğru hareket ettiğini göreceksiniz.

Mıknatısların da uçları birbirini çeker ve iter: Pozitif uçlara kuzey kutbu, negatif uçlara güney kutbu denir. İki kuzey veya iki güney kutup birbirini iter ancak bir kuzey ve bir güney uç birbirini çeker. Bu adlandırmanın nedeni Dünya'nın da bizzat dev bir mıknatıs olması ve herhangi bir mıknatısın kuzey kutbunun, örneğin bir pusulanın iğnesinin, Dünya'nın kuzey kutbuna yakın bir yönü göstermesidir.

Faraday elektriksel ve manyetik kuvvetlerin "kuvvet hatları" aracılığıyla çalıştığını düşünüyordu, hatta bu hatlara kafayı takmıştı. Kuvvetlerin Newton'ın çekim kuvveti örneğinde öne sürdüğünün aksine "uzaktan hissedilebilir" olmadığına inanıyordu. Newton'ın çizdiği resimde, Güneş'i aşağı ve yukarı salladığınız takdirde yaklaşık 150 milyon kilometre uzaklıktaki Dünya'nın da Güneş'le birlikte, mükemmel bir şekilde eşzamanlı olarak sallanması gerekecekti. Ve sonsuza kadar diğer tüm nesneler de sallanacaktı.

Kuvvetlerin uzayda iki nesne arasında anlık olarak iletildiği düşüncesi Faraday'in aklına yatmıyordu. Ona göre nesneleri ayıran uzay içinde, kuvvetleri gerçekten taşıyan bir şey olmalıydı. Bu şey her ne olursa olsun bir kütleyi, bir yükü veya bir mıknatısı devamlı olarak çevreliyor olmalıydı; hatta çevresinde itecek bir nesne olmadığında bile. Faraday'in bu harika içgörüsü, "kuvvet alanı" kavramına doğru atılan ilk adımdı.

Bir haritadaki kuzey-güney ve doğu-batı doğrultusunda uzanan, ızgara şeklindeki çizgilere aşinasınızdır. Bu ızgaranın üç boyutlu uzaya yayıldığını hayal edin. Çizgiler kuzey-güney, doğu-batı ve yukarı-aşağı doğrultusunda uzanıyor ve her çizgi kendine paralel çizgilerden eşit uzaklıkta duruyor olsun. Bu ız-

gara uzunluğu, genişliği ve derinliği hesaplamak için oldukça uygun bir araçtır. Üç çizginin de kesiştiği yere ızgara noktası diyelim ve o noktadan geçen her çizginin koordinatına göre etiketleyelim. Paralel çizgiler arasındaki mesafeyi dilediğimiz kadar küçültebilir ve ızgaramızı inceltebiliriz. Fizikçilere göre bu ızgara, zihnimizde canlandırdığımız üç boyutlu uzay imgesinin sayılara dönüştürülmesini ve böylece uzaydaki her farklı noktanın üç sayıyla ilişkilendirilebilmesini sağlar.[26]

Bir kuvvet alanını gözünüzde canlandırabilmek için, her bir ızgara noktasına küçük birer ok yerleştirdiğinizi hayal edin. Bu okların ucu herhangi bir yöne doğrultulmuş olabilir. Oklar bir kuvvet alanını; uzunlukları ve baktıkları yönse kuvvet alanının uzayın o noktasındaki gücünü ve yönünü temsil eder. Bu kuvvet alanına yerleştirilen herhangi bir yüklü tanecik bir kuvvet hissedecektir. Örneğin bir elektron, elektriksel yükü ile elektrik alanının çarpımı büyüklüğünde bir kuvvet hisseder.

Maxwell henüz 25 yaşında ve Cambridge'te öğretim üyesiyken, Kraliyet Enstitüsü'nün yöneticisi ve dönemin en ünlü bilim insanlarından Faraday'e bir mektup yazdı ve ona yeni kaleme aldığı, Faraday'in deneylerinde karşılaştığı etkilere matematiksel açıklamalar getiren "Faraday'in Kuvvet Çizgileri Üzerine" adlı makalesini gönderdi. Hiç matematik çalışmamış olan Faraday daha sonra, "Bu konu üzerine böylesi matematiksel bir ilgi gösterildiğini görünce ilk başta neredeyse korkmuştum," diyecekti.[27] Ancak Maxwell mütevazı makalesinde "Kullandığım yöntemle, üstüne deney yapmadığım bu bilim dalında hiçbir fizik kuramı geliştirmeye çalışmadığımın, yalnızca Faraday'in yöntem ve düşüncelerini sıkıca uygulayarak, onun keşfettiği,

26. Bunlar Fransız filozof René Descartes tarafından bulunan Kartezyen koordinatlardır.
27.Michael Faraday'in J. C. Maxwell'e 25 Mart 1857 tarihli mektubu. P. Harman, *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*, cilt 1, 1846-1862 içinde (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), s. 548.

oldukça farklı türden olgular arasındaki bağın matematiksel zihin tarafından nasıl konumlandırılabileceğini göstermeyi amaçladığımın bilinmesini isterim," diyordu.[28] Bu ikili arasındaki etkileşim ve karşılıklı saygı, aslında kuramla deney arasındaki ilişkinin ideal haline bir güzellemedir.

Maxwell'in çalışmalarından cesaret bulan Faraday büyük bir şevkle Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'ndeki laboratuvarına döndü. Amacı, elektrik ve manyetik alanların uzayda hareket etmek için zamana ihtiyacı olduğunu göstermekti. Ancak 66 yaşına gelmiş ve uzun süredir ağır deneylerle meşgul olan Faraday bu amacını gerçekleştiremedi (Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından gerçekleştirilmesine ise henüz 30 yıl daha vardı). Maxwell'in "matematiksel zihninin" olaya el koymasının tam zamanıydı.

Maxwell 1861'de Londra'daki King's College'a taşındığında elektrik ve manyetizma alanlarında akla yatkın şeyler söyleyecekti. Hedefi Faraday'in bahsettiği "kuvvet çizgilerine" etki eden kanunları matematiksel olarak açıklamaktı. Maxwell bu önsezisini aşamalı olarak kapsamlı bir "alanlar" kuramına dönüştürdü. Bu kavram 20. yüzyılda temel fiziğe damgasını vuracaktı.

Elektrik yükleri elektrik alanlar, mıknatıslar manyetik alanlar ve kütleler de kütleçekim alanları yayar ve bu üç farklı alan evrenin her yerinde mevcuttur. Günümüzde elektrik ve manyetik alanları, uzayı dolduran ufak oklardan oluşan bir deniz gibi tanımlarız. Tüm elektrik ve manyetizma denklemlerini açıklamanın yolu, uzayın her noktasında bulunan bu okların komşularını nasıl etkilediğini anlamaktan geçer. Kurallar hiç de basit değildir; üstelik Maxwell'in bunların hepsini ilk kez ortaya çıkarması gerekti. Newton hareketin matematiği olarak

28. Alan Hirshfeld, *The Electric Life of Michael Faraday* (New York: Walker, 2006), s. 185.

kalkülüsü icat etmişti. Maxwell'in de kuvvet alanlarının uzay ve zaman içinde nasıl değiştiğini açıklamak için bu fikri geliştirmesi gerekti. Maxwell kuvvet alanlarını tanımlamak için, uzaydaki noktalar örgüsünü –bahsettiğimize benzer bir örgü– kullanarak kısmi diferansiyel denklemler teorisini geliştirdi. Maxwell'in mucidi olduğu matematik, günümüzde bilimin çok farklı alanlarında; akışkanları, havanın akışını, hatta hastalıkların yayılmasını tanımlamak için kullanılıyor.

Maxwell'in elektrik ve manyetizma hakkındaki denklemlerini oluşturmak için kullandığı yöntem ilk bakışta şaşırtıcıydı. Hareketli parçalarının alanları temsil ettiği bir makine tasavvur etti. İlk denemesinde elektrik alanın kuvvet çizgilerini, pozitif elektriksel yüklerden negatif elektriksel yüklere doğru bir sıvı taşıyan "borular" olarak hayal etti. Ancak zaman içinde bu model daha karmaşık bir hal aldı ve sıvıyla dolu "borular" yerini zamanla hem elektrik hem de manyetik alanları temsil eden mikroskobik "silindirlere" ve "çıkrıklara" bıraktı. Böylece tüm uzay devasa bir fabrikaya dönüştü.

William Thomson'ın (Lord Kelvin) rehberliğiyle Maxwell tüm bu farklı olguları ve o dönemde bilinen tüm elektrik ve manyetizma kanunlarını düzenledi. Bir önceki yüzyıl boyunca ortaya çıkarılmış tüm bu kanunlar neredeyse bir alfabe meydana getiriyordu: Ampère, Biot-Savart, Coulomb, Faraday, Franklin, Gauss, Kirchhoff, Lenz, Ohm ve diğerlerinin kanunları... Maxwell'in amacı tüm bu parçaları tek ve istikrarlı bir mekanik çerçevenin içine oturtmaktı.

Maxwell biri hariç bilinen tüm elektrik ve manyetizma kanunlarını kavramsal mekanizmasına oturtmayı başardı. Benjamin Franklin elektriksel bir yükün ne yoktan var edilebileceğini ne de yok edilebileceğini söylüyordu. Maxwell, Franklin'in kanununu matematiksel olarak formülize etti ve uzayın bir bölgesindeki elektriksel yükün, elektrik akımının o bölgeden içeri

veya dışarı akmasıyla nasıl değiştiğini gösterdi. Carl Friedrich Gauss elektriksel yüklerin nasıl elektrik alanlara yol açtığını, André-Marie Ampère de elektrik akımlarının nasıl manyetik alanlar yarattığını ortaya koymuştu. Ancak Maxwell bu üç kanunu birleştirdiğinde bir zıtlık fark etti: Bu kanunlar birbiriyle uyuşmuyordu! Bunları tutarlı hale getirmenin tek yolu, değişen bir elektrik alanın da manyetik bir alan yaratacağını söyleyen yeni bir koşul ekleyerek Ampère kanununu değiştirmekti. Bu, Michael Faraday'in kanıtladığı üzere, değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanı yaratmasıyla benzerlik gösteriyordu.

Ama bir dakika: Değişen bir elektrik alan, değişen bir manyetik alan yaratabilir ki Faraday kanununa göre bu da değişen bir elektrik alanın yaratılabileceği anlamına gelir. Demek ki *elektrik ve manyetik alanlar, ortada herhangi bir mıknatıs veya elektriksel yük ya da akım olmadan birbirini yaratabilir.* Maxwell denklemlerini dikkatli bir şekilde gözden geçirdiğinde, manyetik ve elektrik alanların, bir çayırda inişli çıkışlı hareket eden bir örüntü misali uzayda birlikte seyahat ettiğini gördü. Bu elektromanyetik dalga tam da Faraday'in beklediği türdendi.

Maxwell bu buluşu 1861'de, yazı geçirdiği Glenlair'deki aile evinde yapmıştı. O dönemde mevcut en iyi deneysel ölçümleri kullanarak elektromanyetik dalgaların hangi hızda seyahat ettiğini buldu. Faraday'e yazdığı mektupta "(Elektriksel ve manyetik deneylere göre) sonuç saniyede 310.745 kilometredir. (Fransız fizikçi Hippolyte) Fizeau doğrudan deneylerle ışığın hızını saniyede 310.906 kilometre olarak hesaplamıştı." Ardından tatlı bir alçakgönüllülükle, "Bu tesadüf yalnızca sayısal değil," diyordu.[29]

29. J. C. Maxwell'in Michael Faraday'e 19 Ekim 1861 tarihli mektubu, P. Harman, *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*, cilt 1, 1846-1862 içinde (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), s. 684-686.

Maxwell salt matematiksel savlar kullanarak yalnızca ışık hızını öngörmekle kalmadı, aynı zamanda ışığın doğasını da açıkladı. Sadece bilinen gerçekleri birbirine ekleyerek ve matematiksel tutarlılıkta ısrar ederek evrenin en temel özelliklerinden birini ortaya çıkardı.

Sonuca ulaştıktan sonra Maxwell çabucak makina modelini hurdaya çıkardı. Şimdi doğru denklemlere sahip olduğuna göre hayali makinesine gerek duymuyordu. Denklemler teorinin kendisiydi: Daha fazlasına veya azına ihtiyaç yoktu.

Elektromanyetizma derslerimin en önemli bölümünü Maxwell'in buluşu teşkil eder. Öğrencilerim bütün parçaların bir araya geldiği ve ortaya birden ışığın çıktığını gördükleri an son derece sihirli bir andır. "Ne zaman tereddütte kalırsanız," diyorum onlara, "bu anı hatırlayın. Sebat aydınlanmaya götürür!" Ve hakikat en uçuk hayallerimizden bile daha güzeldir.

MAXWELL'İN ELEKTRİĞİ, MANYETİZMAYI ve ışığı birleştiren buluşunun önemini ne kadar vurgulasak kafi gelmez. Bu buluş birdenbire çok geniş bir olgu yelpazesinin; soğuk bir sabahta pirinç kapı kolundaki bir kıvılcımın, kaslarımızı hareket ettiren veya sinirlerimizden geçen sinyallerin, yıldırımların ve mum ışığının, pusula iğnesinin titreşiminin ve bir elektrik türbininin hareketinin basit, kesin bir tanımını yaptı.

Teorinin en önemli öngörülerinden biri elektromanyetik dalgaların, sıfırdan sonsuza uzanan herhangi bir dalga boyuna sahip olabileceğiydi. Bu spektrumun ufacık bir bölümü –bir mikronun (bir metrenin milyonda biri) beşte ikisinden dörtte üçüne kadarki kısmı– görülebilir tüm ışığı açıklamaya yeter: kırmızı, sarı, yeşil, mavi, mor. Maxwell'in buluşu gökkuşağını genişletti ve atom çekirdeğinin binde birinden (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda üretilen gama ışınlarından) binlerce kilometreye (denizaltılarla iletişimde kullanılan aşırı düşük frekanslı

dalgalara) uzanan dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaların varlığını öngördü. Bu iki ucun arasında tıpta kullanılan X ışınları, gece görüşü için kullanılan kızılötesi dalgalar, yemek pişirmekte kullanılan mikrodalgalar ve cep telefonundan nötron yıldızlarını ve kara delikleri gözlemlemeye yarayan teleskoplara kadar çok farklı amaçlarda kullanılan radyo dalgaları yer alır. Maxwell'in denklemleri bu dalgaların her birini tamamen aynı şekilde tanımlar. Bunlar birbirlerinin sıkıştırılmış veya genişletilmiş versiyonlarıdır.

Maxwell'in teorisi bundan fazlasını yaptı. Zamanla anlaşıldı ki bu teori, fizikteki en kutsal iki değerle çelişiyordu: Newton'ın kuvvetler, hareket ve kütleçekim kanunlarıyla en az onlar kadar yerleşmiş ısı teorisi. Maxwell'in denklemleri üstüne çalışmalar devam ettikçe, Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz bu denklemlerin uzay ve zamanı birbirine bağlayan bir simetriye sahip olduğunu fark etti. Bu da Einstein'ın uzayı, zamanı, kütleyi, enerjiyi ve kütleçekimini birleştirmesine giden yolu açtı ve evrilen kozmosun tamamının incelenmesinin tohumlarını attı.

Aynı şekilde Maxwell'in teorisi de kuantum teorisine giden yolu açtı. Maxwell'in elektromanyetik radyasyon tanımını ısı teorisiyle bağdaştırmaya çalışan Max Planck ve sonrasında Albert Einstein, bulunduğu zaman dünyanın bildiğimiz kurallarını alaşağı eden bir tutarsızlık keşfetti. Maxwell'in kuramı bu çarpışmadan yeni bir formda, bir kuantum alan kuramı olarak çıktı. Yeni bir şekle bürünen kuram tüm 20. yüzyıl fiziğinin modelini oluşturdu.

Kuantum devriminin sonuçları karşısında hâlâ bocalıyoruz. Bizim sezgilerimiz dünyanın klasik tasviri üzerine kuruludur. Newton ve Maxwell'in buluşlarını temel alan bu dünya tasvirinde parçacıklar ve alanlar kesin bir varlığa sahiptir ve uzayda mutlak belirlenimci kanunlar çerçevesinde hareket eder. Ancak bir sonraki bölümde açıklayacağım gibi bu dünya çoktan geri-

de kaldı ve gerçeğin daha gizemli bir hali, kuantum fikri ortaya çıktı. Bu durum daha büyük bir olasılıklar dünyasını doğuruyor ve bize daha büyük bir rol veriyor.

* * *

BU ÇALIŞMAYA *İÇİMİZDEKİ EVREN* adını vermemin nedeni, doğayı anlama konusunda katettiğimiz mesafeleri sizinle birlikte onurlandırmak istemem. Bunu izleyen bölümlerde, kuantumdan kozmosa ve tek bir formül altında birleştirilmesine dek fiziğin aldığı yolu izleyeceğiz. Bu her şeyden önce doğa karşısında duyduğumuz alçakgönüllüğünün ve hayranlığın hikâyesidir; eğlenceli, arzulu, kararlı bir hikâyedir.

Bilim baştan sona insanlara dairdir. Biliminsanları laboratuvarlarda çalışıp tuhaf formüller üretiyor olabilirler, ancak onları bunu yapmaya iten şey, hepimizin doğuştan beri taşıdığı doğal merak duygusundan, ne olduğumuzu ve neler yapabileceğimizi anlama isteğinden başka bir şey değildir. Bazı insanlar matematiğe ve fiziğe akıl almaz derecede yatkınken diğerleri de sebatkârlıklarıyla, titiz planlarıyla veya yalnızca şanslarıyla büyük buluşlara imza attılar. Bilim her şeyden öte insani bir faaliyettir. Hayat denen bu müthiş armağanın nimetlerinden faydalanmanın bir yoludur.

Usain Bolt 2008'de Pekin'de, sonrasında da 2009'da Berlin'de dünya sprint rekorlarını yerle bir ettiğinde hepimiz sevindik. Ulaşılmaz sanılan sınırların geçildiğini görmek muhteşem bir duygu değil midir? Aynı şekilde Maxwell'in, Einstein'ın ve onların modern meslektaşlarının kayda değer çalışmalarını da takdir etmeliyiz. Dünyanın büyük buluşlar yapabilen daha fazla sayıda insana ihtiyacı vardır ve bu insanlar her yerden çıkabilir. Onlar insan doğamızın ve ruhumuzun birer temsilcisidirler, başarıları hepimize ilham vermelidir.

Bilimin büyük bölümü karmaşık ve teknik detaylarla dolu-

dur. Sunduğu fikirlerin çoğu karmaşıktır ve biliminsanları ne yaptıklarını ve bunları neden yaptıklarını daha iyi açıklamak durumunda kalırlar. Toplum da bilimin bizi bulunduğumuz noktaya nasıl getirdiğini ve bu noktanın çok daha ötesine götürebileceği gerçeğini çok daha fazla önem vermelidir.

Bilimle toplum arasındaki bağı yeniden kurma düşüncesinin, büyük satışlar getirecek yeni bir teknoloji bulmaktan daha ulvi bir gayesi vardır. Bu gaye iyimserlik, kendine güven ve amaç barındıran bir toplum yaratmaktır. Biliminsanları neden bilimle uğraştıklarını, toplum da bilimin kendilerini neden desteklediğini fark etmeliler.

Günümüzde güvendiğimiz teknolojilerin tamamı eski buluşların üzerinde yükselir. Çığır açan yeni buluşlara ihtiyacımız olmakla birlikte elimizdeki bilgiyi kullanmanın daha akıllıca yöntemlerini de bulmalıyız. Gezegenimizdeki milyarlarca genç zihin itinayla beslenmeli ve yüreklendirilmeli, çünkü her biri dünyayı değiştirme yetisine sahip potansiyel bir Faraday, Maxwell veya Mandela.

Yeni bir dünya bizi çağırıyor. Bir sonraki bölümde açıklayacağım üzere, kuantum fiziği dünyanın davranışının ve bizim onunla etkileşime geçme biçimimizin tahminlerimizden ne kadar farklı olduğunu ortaya koydu. Ufukta şimdiye kadar deneyimlediğimiz her şeyin ötesine geçen teknolojiler ve fikirler yer alıyor. Varoluşumuzun, kendi evrimimizin ve evrenin evriminin bir sonraki seviyesine çıkmamız gerekiyor. Klasik fiziğin getirdiği tüm değişikliklere tanık olmuş bir tür olarak, kuantum fiziğinin şekillendireceği geleceğimizi ve onunla neler yapabileceğimizi hayal etmekte bile zorlanıyoruz.

2*
HAYALİ GERÇEKLİĞİMİZ

"Kuramsal fizikçiler kuantum mekaniğinin dünyasını gözeten klasik bir dünyanın sakinleridirler."
John Bell[1]

"Fizik yasalarını geometriye referans vermeden tarif etmek, düşüncelerimizi kelimeler kullanmadan anlatmaya benzer."
Albert Einstein[2]

RAFFAELLO'NUN *ATİNA OKULU* adlı eseri Rönesans'ın en nefes kesici tablolarından biridir. İnsanlık tarihinin en önemli anlarından birini; özgür düşüncenin Klasik Yunan uygarlığındaki filizlenişini resmeder. Dönemin insanları, nasıl olduysa, geleneksel batıl inançları ve yüksek otoriteyi bir kenara iterek dünyayı yepyeni gözlerle görmeyi başardılar. Tartışmalar ve mantıksal argümanlarla kendi kendilerine evrenin nasıl işlediğini ve insan toplumlarının hangi ilkelerin üzerine kurulması gerektiğini anlamaya çalıştılar. Böyle yaparak modern dünyaya yön veren

1. John Bell, "Introduction to the Hidden-Variable Question" (1971), M. Bell, K. Gottfried ve M. Veltman, *Quantum Mechanics, High Energy Physics and Accelerators: Selected Papers of John S. Bell* içinde (Singapore: World Scientific, 1995), s. 716.
2. Albert Einstein, "How I Created the Theory of Relativity", çev. Yoshimasa A. Ono, *Physics Today* 35, no. 8 (1982), s. 45-47.

siyaset, edebiyat ve sanat gibi kavramların çoğunun temelini attılar ve Batı tarihini tamamen değiştirdiler.

Raffaello'nun resmi Aristoteles, Platon ve Sokrates gibi filozofları bir tartışmanın içindeyken betimler. Tabloda ayrıca Stephen Hawking'in Antik Yunan versiyonu sayılabilecek Parmenides de yer alır. Tıpkı Hawking gibi Parmenides de en temel seviyede dünyanın değişmediğine inanıyordu; oysa tablodaki diğer isim Herakleitos dünyanın zıt unsurlar arasındaki gerilimden dolayı kesintisiz bir devinim halinde olduğunu düşünüyordu. Tabloda ayrıca matematikçiler de yer alır: Sağ ön planda geometri öğreten Eukleides, sol ön plandaysa koca bir kitaba denklemler yazmakla meşgul Pythagoras vardır. Parmenides'in yanındaysa bilinen ilk kadın matematikçi ve filozof Hypatia bulunur. Tüm sahne yeni fikirler bulmaya, yaratmaya ve değiştokuş etmeye çalışan insanlarla dolu, katılmaktan şahsen büyük mutluluk duyacağım muhteşem bir üniversiteyi andırır.

Tabloda Pythagoras'ın omzundan sarkan ve elindeki deftere not alan tuhaf bir figür de vardır. Bu karakter kopya çekiyormuş gibi görünür ki bir bakıma aslında öyledir: Gözlerinden birini matematiğe, diğerini gerçek dünyaya dikmiştir. Bu kişi bazılarına göre dünyanın ilk biliminsanı olan Anaksimandros'dur.[3] Anaksimandros MÖ 600 civarında, dönemin en büyük Yunan kenti olan, Ege'nin doğu kıyılarında, günümüzde Türkiye sınırları içinde yer alan Milet'te yaşadı. O dönemde dünyaya, güçlerini mistik ve dini inançlardan alan krallar ve hükümdarlar hâkimdi. Buna karşın Anaksimandros, öğretmeni Thales, öğrencileri ve kendilerini izleyen diğer düşünürler kendi akıllarının gücüne o zamana kadarki herkesten daha fazla güvenmeyi seçtiler.

3. Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy*, (Yardley, PA: Westholme, 2011).

Söz konusu isimlerin çalışmalarıyla ilgili kayıtların neredeyse tamamı yok olmuş olsa da sahip olduğumuz küçücük bilgi kırıntıları bile akıllara durgunluk verecek niteliktedir. Anaksimandros harita fikrini buldu –dolayısıyla uzay kavramını bir niceliğe bağladı– ve dünyanın bilinen en eski haritasını çizdi. Kendisinin aynı zamanda Antik Yunan'ı, zemine dikey olarak yerleştirilen ve gölgesiyle Güneş'in yerini ve yüksekliğini gösteren, dolayısıyla zamanın niceliğini ölçmeye yarayan *gnomon* ile tanıştırdığı kabul edilir. Anaksimandros'un *gnomon* ve geometri bilgisini kullanarak ekinoksları isabetli bir şekilde saptayabildiği düşünülür.[4]

Anaksimandros'un ayrıca sonsuzluk kavramını geliştiren ilk kişi olduğuna ve nasıl yaptığını bilmesek de evrenin sonsuz olduğu sonucuna vardığına inanılır. Aynı zamanda biyolojik evrimin ilkel bir örneğini, insanların ve hayvanların denizlerdeki balıklardan geldiği fikrini öne sürdüğü bilinir. Kendisi tıpkı *gnomon*'u geliştirirken yaptığı gibi deney ve gözlemlerden sistematik olarak bir şeyler öğrendiği için ilk biliminsanı olarak kabul edilir. Ayrıca Thales'ten öğrendiklerini Pythagoras'a aktarmış, böylece öğrenci yetiştirme ve bilgiyi aktarma gibi bilimsel bir geleneği başlatmıştır.

Bir anlığına bu fevkalade edinimleri düşünün ve bunların getirdiği değişimleri hayal edin. Ne sıklıkta yabancı bir şehre veya semte harita kullanmadan gidiyorsunuz? Yakın çevreniz dışında hiç görmediğiniz, hakkında zihinsel bir görsele sahip olmadığınız yerlerde kaybolursunuz. Saptığınız her yol beraberinde beklenmedik ve kestirilemez bir şeyler getirir. Bir harita size bir perspektif sunar ve böylece nereye gitmek, neler görmek istediğinizi düşünebilir ve seçebilirsiniz, ancak bu da

4. Wikipedia, "Anaximander" konusu, http:// en.wikipedia.org/wiki/Anaximander, 15 Nisan 2012 tarihinde erişilmiştir. "Suda" konusu, http:// en.wikipedia.org/wiki/Suda, 15 Nisan 2012 tarihinde erişilmiştir.

yeni sorular doğurur. Haritada gösterilenlerin ötesinde neler vardır? Tüm dünyanın haritasını çıkarabilir miyiz? Peki ya evrenin?

Peki saatiniz olmadan zamanı nasıl anlayabilirsiniz? Aydınlığı ve karanlığı kullanabilirsiniz, evet, ancak bütün kesinlik kaybolur; mevsimlerin ve havanın sıradışı davranışları kafanızı karıştırır. Geçmişle gelecek silikleşir ve içinde bulunduğunuz ana çok daha yakın olursunuz. Göksel cisimleri izlemek ve öngörmek ve bunları yolumuzu bulmak için kullanmak gibi belli başlı teknolojilere giden yollar zamanı ölçebilme yetisini kazanmamızla açıldı. Ancak muhtemelen bu konular bile Anaksimandros'un öncelikli olarak kafasını kurcalayan şeyler değildi. Anlaşılan o ki onun dikkatini, zamanın izlerini uzak geçmişe veya geleceğe kadar sürdüğünüzde ne bulacağınız gibi daha büyük sorular çekmişti.

Peki Anaksimandros'un evrenin sonsuz olduğu fikrine ne demeli? Bu fikir günümüzde hayli akla yatkın olsa da örneğin dört yaşımdayken gökyüzünün bir kubbe olduğunu, Güneş ve yıldızların da üzerine sabitlenmiş olduğunu düşündüğümü hatırlıyorum. Oysa uzaya, sonsuz bir enginliğe bakmakta olduğumuzu fark ettiğimde veya bunu bana söylediklerinde ne çok şaşırmıştım. Anaksimandros bunu nasıl fark etmişti? Peki ya denizdeki balıklardan geldiğimiz düşüncesini? Anaksimandros'un fikirleri her şeyden öte olasılıklarla dolu bir dünya sunmuştu. Eğer etrafımızdaki şeyler mevcut hallerini eskiden beri korumuyorsa gelecekte de son derece farklı olabilirlerdi.

Modern bilimin ilk adımlarının birçok yeni teknolojinin keşfedildiği döneme rastlaması tesadüf değildi. Anaksimandros'un yaşadığı Milet yakınlarındaki Sisam Adası'nda Theodorus adlı Yunan heykeltıraş ve mimar gönye, su terazisi, torna, kilit, anahtar ve döküm gibi inşaat sektörüne dair birçok malzemeyi keşfetmiş veya mükemmelleştirmişti.

Bu gelişmelere matematiğin, felsefenin, sanatın, edebiyatın ve tabii demokrasinin gelişimi eşlik etti. Ancak Antik Yunan uygarlığı çalkantıdaydı. Varlığı boyunca savaşlara ve işgallere maruz kaldı: Yunan-Pers savaşları, Atina ile Sparta arasındaki savaş, Büyük İskender'in işgali ve ölümünden sonra doğan kargaşa. En sonunda Roma'nın zaferi ve medeniyeti Avrupa'dan neredeyse bin yıllığına ortadan kaldıran çöküşü geldi. Antik dünyanın muhteşem kütüphaneleri, örneğin İskenderiye Kütüphanesi kayıplara karıştı. Koleksiyonlarının yalnızca bir kısmı yok olmaktan kurtulabildi.

15. yüzyılda İtalya'nın önde gelen matbaacısı Aldus Manutius, eski klasiklerin ucuz ve başarılı cep nüshalarını üretip yaymayı kendine görev edindi. Böylece Antik Yunan'ın fikirleri doğrudan Rönesans'ın tohumlarını atmış oldu ve bunu da bilimsel devrim izledi.

DÖRT YÜZ YILDAN FAZLA BİR süre sonra, Raffaello'nun başyapıtının modern bir versiyonuna rastlarız: 1927'de Brüksel'de düzenlenen Elektronlar ve Fotonlar temalı Beşinci Uluslararası Solvay Konferansı'nda çekilmiş siyah beyaz bir fotoğraf.

19. yüzyılın sonlarına doğru fizikçiler doğanın temel tanımlarını birleştirmeye çok yakın olduklarını fark ettiler. Newton'ın mekanik yasalarına, Maxwell'in elektrik, manyetizma ve ışık kuramına ve Maxwell'in arkadaşı William Thomson'ın (Lord Kelvin) geliştirdiği ısı kuramına ve diğerlerine sahiptiler. Fizik Sanayi Devrimi'nin teknik altyapısını hazırlamış ve küresel iletişime uzanan yolu açmıştı. Geriye atomun iç yapısı gibi birkaç ufak tefek ayrıntı kalmıştı. Buna rağmen dünyanın uzayda hareket eden parçacıklardan ve alanlardan oluştuğunu öne süren klasik tablonun yeri sağlamdı.

Ancak 20. yüzyıl sürprizlerle geldi. Söz konusu tablo gitgide daha karmaşık bir hal aldı ve bu karmaşıklık ancak 1925-1927

yıllarında gerçekleşen tam ölçekli bir devrim sayesinde çözülebildi. Bu devrimde, fizikçilerin evreni devasa bir makine gibi gören bakış açıları tepetaklak oldu ve bunun yerini daha az içgüdüsel ve daha az tanıdık bir şey aldı. Dünyanın bu yeni ve soyut tasvirinin hemen akabinde toplanan Beşinci Solvay Konferansı fizik üzerine yapılmış en huzursuz konferans sayılabilir.

1925'te genç Alman deha Werner Heisenberg "elektronun konumu ve periyodu gibi, şimdiye kadarki gözlemlenemez nicelikleri gözlemleme umudundan vazgeçilmesi" ve bunun yerine "yalnızca gözlemlenebilir nicelikler arasında ilişkilerin olduğu, klasik mekaniğe paralel bir kuantum mekaniği oluşturma denemesi" çağrısını yaparak kuantum teorisini ortaya attı.[5] Heisenberg'in çalışmaları atom çekirdeği çevresinde yörüngeye oturmuş klasik elektronlar fikrini, yalnızca deneylerde doğrudan gözlemlenebilen niceliklerin gerçek bir açıklamaya sahip olabileceği gibi daha soyut ve matematiksel bir tanımla değiştirdi. Çok geçmeden, 1926'da Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger, Heisenberg'inkine benzer, elektronların birer parçacık değil de dalga gibi ele alındığı bir tanım öne sürdü. Sonrasındaysa, henüz 1927'nin başlarında Heisenberg ünlü belirsizlik ilkesini keşfetti ve Newton'ın klasik evreninin temel kavramını, yani her parçacığın kesin bir konum ve hıza sahip olduğu fikrini geçersiz kıldı.

Fizikçiler Solvay Konferansı'na katılmak üzere Brüksel'e vardıklarında dünyaya yönelik klasik bakış açısı yerle bir olmuştu. Herhangi bir kesin öngörüde bulunmaktan vazgeçmeleri gerekti; ne de olsa artık kesin bir dünya yoktu. Max Born'un 1926'da fark ettiği gibi, kuantum fiziği yalnızca olasılıklar hakkında fikir belirtebilirdi. Ancak bu, atom çekirdeğinde olan

5. Werner Heisenberg, "Quantum-Mechanical Re-interpretation of Kinematic and Mechanical Relations", B. L. van der Waerden, *Sources of Quantum Mechanics* içinde (Amsterdam: North-Holland, 1967), s. 261-276.

bitene zar atarak karar verildiği anlamına da gelmiyordu; durum bundan çok daha tuhaftı. Dünya zarif bir matematiksel biçimselliğin hükmü altındaydı ancak bunun klasik bir açıklaması henüz yoktu. Solvay fotoğrafındaki fizikçilerin suratlarını neden astığı açık!

Fotoğrafın ortasında, önde Einstein yer alır. Hemen yanında bacak bacak üstüne atmış Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz oturur. Onun yanında da fotoğraftakiler arasında iki kez Nobel kazanan tek isim ve aralarındaki tek kadın Marie Curie bulunur. Curie, eşi Pierre ile birlikte radyoaktivitenin atom çekirdeklerinden kaynaklı bir olgu olduğunu gösterdi. Onların buluşu atomaltı dünyanın tuhaf davranışlarına yönelik ilk ipuçlarını içeriyordu: Beşinci Solvay toplantısından bir yıl sonra radyoaktivite, atom çekirdeğindeki parçacıkların çekirdek dışına doğru kuantum tünellemesi olarak açıklanmıştı. Elinde şapkasıyla Curie'nin yanında oturan ve mutsuz görünen isim ise Max Planck'tır. Planck 1900'de ışığın foton adı verilen paketlerle enerji taşıdığını öne sürerek kuantum devrimini başlattı. Fikirleri 1905'te Einstein tarafından geliştirilip ışığın metallerden nasıl elektron kopardığını açıklamakta kullanıldığında, çarpıcı bir şekilde kabul görmüştü.

Hemen arkadaki sıranın ortasında, Lorentz ile Einstein arasında, modern nin kurucusu İngiliz dâhi Paul Dirac yer alır, onun hemen arkasında da Erwin Schrödinger durur. Onun sağa doğru üç yanında Werner Heisenberg; Heisenberg'in hemen önünde de Alman-İngiliz matematikçi Max Born bulunur. Heisenberg, Born'la birlikte kuantum teorisinin matris mekaniğini formülleştirdi, Dirac da bu teoriyi nihai matematiksel haline kavuşturdu. Born'un yanında da Planck'ın kuantum fikrini hidrojen atomunu da kapsayacak şekilde geliştiren ve bu nedenle kuantum teorisinin vaftiz babası sayılabilecek Danimarkalı fizikçi Niels Bohr yer alır. Bohr, Kopenhag Üniversitesi'nde

Kuramsal Fizik Enstitüsü'nü kurdu ve yöneticisi oldu. Orada Heisenberg'e ve diğer birçok fizikçiye yol gösterdi ve bu enstitüyü dünyanın kuantum teorisi açısından merkezi konumuna getirdi. Heisenberg ileride, "Şunu söyleyebilirim ki kuantum teorisinin derinlerine inebilmek, yalnızca o dönemde (1924) Kopenhag'da mümkündü"[6] diyecekti. Bohr kuantum kuramının en yaygın yorumu olan Kopenhag yorumunu da geliştirmişti. Heisenberg'in sağındaysa, iki elektronun aynı anda aynı durumda olamayacağını belirten Pauli dışlama ilkesini geliştiren Avusturyalı genç dâhi Wolfgang Pauli bulunur. Bu ilke, yine Pauli'nin geliştirdiği kuantum spin kuramıyla birlikte elektronların karmaşık atomlar ve moleküller içinde nasıl davrandığının anlaşılmasına muazzam katkıda bulundu. Dirac, Heisenberg ve Pauli 20'li yaşlarının ortalarında olmalarına karşın yeni gelişmelerin en ön saflarında yer aldılar.

Katılımcılar çok çeşitli çevrelerden geliyordular. Curie Polonya kökenliydi, bir mülteci sayılırdı.[7] Einstein'a gelince, o da 1905'teki çığır açan buluşlarından önce bir patent ofisinde çalışıyordu. Einstein, Born, Bohr, yakın arkadaşları Paul Ehrenfest (fotoğrafta Curie'nin arkasında, ayakta durur) ve Pauli'nin babası, 19. yüzyılın sonlarında matematik ve bilimde atılım yapan genç Yahudi neslini temsil ediyorlardı. Bu tarihten önce Yahudiler Batı Avrupa üniversitelerinden bilinçli bir şekilde dışlanmışlardı. Nihayet fizik, matematik ve diğer teknik alanlara kabul edildiler ve bu alanlara elleri boş girmediler; kanıtlayacakları şeyler vardı. Yeni fikirlerin beraberinde yeni enerji de getirdiler ve kendileriyle ilgili entelektüel geri kalmışlık yanılgısını tarihe gömdüler.

6. Werner Heisenberg: J. C. Taylor, *Hidden Unity in Nature's Laws* içinde (Cambridge: Cambridge University Press, 2001), s. 225.
7. Lauren Redniss, *Radioactive: Marie and Pierre Curie: A Tale of Love and Fallout* (HarperCollins, 2010), s. 17.

Dünyanın önde gelen fizikçilerinin çoğu, devrim niteliğindeki bir fikir hakkında düşünüp taşınmak ve bunun evreni algılayış biçimimiz üzerindeki etkilerini anlayabilmek üzere toplanmışlardı. Ancak içlerinden biri bile bunun heyecanını yaşıyor gibi görünmüyordu. En temel düzeyde doğanın temel bileşenlerinin davranışının tamamen gerçeküstü olduğunu keşfetmişlerdi. Parçacıkların hareketleri, bilardo topları veya düzlemlerden kayan kütleler ya da yaylar üzerindeki ağırlıklar, bulutlar, nehirler, dalgalar, kısaca gündelik hayatta görüp geçtiğimiz şeylerinkine benzemiyordu. Heisenberg bile bunun olumsuz yanını gördü: "Bilimdeki neredeyse her ilerlemenin bedeli fedakârlıkla ödenir; erişilen her yeni entelektüel aşama için öncekilerden vazgeçilmesi gerekir. Bu yüzden denilebilir ki bilgimizdeki artış, biliminsanının doğayı 'anlama' iddiasını sürekli zayıflatır."[8] Öte yandan, dürüst olmak gerekirse 1920'ler fiziğin altın çağıydı. Kuantum teorisi, Dirac'ın bana yıllar sonra tanıştığımızda söyleyeceği gibi "ortalama fizikçilerin bile önemli buluşlara imza atabilmesini" sağladı.

Kuantum fiziğinin bize ne sunduğunu anlayabilmemiz için 20. yüzyılın sonraki yıllarını beklememiz gerekti. Günümüzdeyse geleceğimizi tamamen değiştirebilecek bir dizi gelişmenin eşiğinde duruyoruz.

* * *

KUANTUMUN TUHAF HİKÂYESİ mütevazı ampulle başlar. 1890'ların başında, o zaman Berlin'de profesör olan Max Planck, Alman Standartlar Enstitüsü'ne ampulleri minimum elektrikle nasıl maksimum ışığı sağlayacak şekilde geliştirebileceklerine

8. Werner Heisenberg: F. Selleri, *Quantum Paradoxes and Physical Reality* içinde (Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 1990), s. 21.

dair danışmanlık yapıyordu. Max Born daha sonraları Planck hakkında şunları yazacaktı: "Doğası ve ailesinin gelenekleri gereği muhafazakârdı, devrimsel yeniliklerden pek hazzetmezdi ve spekülasyonlara hep kuşkuyla yaklaşırdı. Ancak gerçekliklere dayalı mantıksal düşüncenin gücüne inancı öyle sağlamdı ki, tersinin mümkün olmadığına inandığı bir noktayı savunmak için geleneklerin tümüne karşı çıkmakta tereddüt etmezdi."[9]

Planck'ın görevi sıcak bir telin ne kadar ışık yayacağını öngörmekti. Maxwell'in teorisi sayesinde ışığın elektromanyetik dalgalardan oluştuğunu ve her dalgaboyunun ışığın farklı bir rengine tekabül ettiğini biliyordu. Yapması gereken şey, ısınan bir nesnenin her renkten ne kadar ışığı yaydığını kestirmekti. 1895 ila 1900 yıllarında Planck bir dizi başarısız girişimde bulundu. En sonunda, daha sonra "umutsuzluktan" olduğunu söyleyeceği bir şey yaptı; verileri geriye doğru giderek inceledi ve ışık dalgalarının enerjiyi yalnızca paketler veya "kuantumlar" halinde kabul ettiğine dair yeni bir fizik kuralına ulaştı. Bir paketin enerjisi doğadaki yeni bir sabitin, Planck sabitinin ışık dalgasının salınım frekansıyla çarpımıyla, yani elektromanyetik bir dalga uzayda herhangi bir noktadan geçerken elektriksel ve manyetik alanların saniyede kaç kez ileri geri titrediğiyle belirleniyordu. Salınım frekansı ışık hızının ışığın dalgaboyuna bölünmesiyle belirleniyordu. Planck bu kural sayesinde, ısınan nesnelerden yayılan ışık spektrumunun deneysel ölçümlerine mükemmel bir şekilde ayak uydurabileceğini gördü. Çok sonra Planck'in enerji paketleri foton olarak anılacaktı.

Planck'in kuralı ilk başta göründüğünden çok daha az *ad hoc*'tu. Planck karmaşık bir kuramcıydı ve 1830'larda İrlandalı matematiksel fizikçi William Rowan Hamilton tarafından

9. Wikipedia, "Max Planck" konusu, http:// en.wikipedia.org/wiki/Max_Planck, 10 Temmuz 2012'de erişilmiştir.

geliştirilen ve Fermat, Leibniz ve Maupertuis'in düşüncelerini temel alan güçlü biçimciliği oldukça dikkate alırdı. Kanunlarını, zamandaki bir andan diğerine ilerleyen bir sistemi takip etmek için formüle eden Newton'ın aksine Hamilton, bir sistemin ilk zamanından son zamanına kadar olabilecek muhtemel bütün geçmişlerini göz önünde bulundurdu. Sistemin Newton kanunlarına uyan gerçek geçmişinin, "eylem" adı verilen belli bir niceliği minimize eden geçmiş olduğunu gösterdi.

Hamilton'ın düşüncesini bir süpermarket deneyimi üzerinden somutlaştıralım. Alışverişinizi bitirdikten sonra bir dizi kasayla karşılaşırsınız. En yakındaki kasa en az adımda ulaşacağınız kasadır, ancak daha çok kişi sırada bekliyor olabilir. En uzaktaki kasaya yürümeniz daha uzun sürer ama kasa boş olabilir. Önce ne kadar sayıda insanın alışveriş arabasına veya sepetine sahip olduğuna, bunların ne kadar dolu olduğuna ve kasalardaki bantlarda ne kadar ürün yer aldığına bakar, sonra da en hızlı çıkışın hangisi olacağına karar verirsiniz.

Kabaca söylersek Hamilton'ın ilkesi böyle işler. Sizin süpermarketten çıkış sürenizi olabildiğince kısaltmanız gibi, fiziksel sistemler de eylemi minimize etmek için zaman içinde evrilir. Newton'ın yasaları bir sistemin zaman içerisinde nasıl ileriye gittiğini açıklarken, Hamilton'ın yöntemi geleceğe giden mevcut *bütün* yolları inceler ve aralarından en iyisini seçer.

Hamilton'ın yeni formülasyonu daha önce çözülmesi mümkün olmayan birçok problemin çözümünü mümkün kıldı. Ancak bu formülasyon teknik bir araçtan çok daha fazlasıydı; gerçekliğin daha bütünsel bir resminin çizilmesini sağlamıştı. Ayrıca James Clerk Maxwell'e elektromanyetik teoriyi geliştirmesinde yardımcı olmakla kalmayıp, Planck'ın da sonradan kuantum teorisine dönüşecek, ilham verici tahminlerde bulunmasını sağladı. Hatta Hamilton'ın mekanik üzerine yorumları kuantum teorisinin gelişimini şekillendirecekti. Süpermarketten çıkarken

iyi birkaç seçenek olması gibi, Hamilton'ın eylem ilkesi de bazı şartlar altında dünyanın birden fazla geçmişi izleyebileceğini öne sürdü. Planck bir anda fiziğin geleneksel bakış açısından bu kadar uzaklaşmaya hazır olmasa da, onlarca yıl sonra başkaları bunu yapacaktı. Dördüncü Bölüm'de göreceğimiz gibi, bilinen tüm fizik yasaları 20. yüzyıl sona ermeden Hamilton'ın eylem ilkesinin kuantum versiyonlarıyla ifade edilecekti.

Tüm bunların hikâyemizi ilgilendiren kısmı şu: Planck, Hamilton'un eylem ilkesinin fiziğin temellerini formülleştirdiğini biliyordu. Bu nedenle doğal olarak kendi geliştirdiği kuantalama ile Hamilton'ın eylemi arasında bir bağ oluşturmaya çalıştı. Hamilton'ın eyleminin ölçüldüğü birim, zaman çarpı enerjiydi. Işık dalgasında zaman ile alakalı tek faktör, salınım frekansının tersi olan salınım periyoduydu. Dolayısıyla Planck şu tahminde bulundu: Bir elektromanyetik dalganın enerjisiyle salınım periyodunun çarpımı, doğanın yepyeni bir sabitinin tamsayı katına, onun "eylem kuantumuna", bizimse günümüzde "Planck sabiti" adını verdiğimiz bir değere denk olacaktı. Planck tüm fizik yasalarının eyleme dahil edilebileceğine inandığı için, kuantalama hipotezinin günü geldiğinde yeni bir evrensel yasa haline geleceğini umuyordu. Ve gerçekten de günü gelince haklı olduğu kanıtlandı.

Planck'ın Berlin'deki meslektaşlarından ikisi, Ferdinand Kurlbaum ve Heinrich Rubens dönemin önde gelen deneycilerindendi. 1900'de sıcak nesnelerin yaydığı ışık spektrumu üzerinde oldukça isabetli ölçümler yapmıştılar. Planck'ın spektrum hakkındaki, kuantalamaya dayalı yeni tahminleri bu ölçümlerle çok iyi örtüştü ve ısınan nesnelerin renk değişimini açıkladı. Bu çalışmasıyla Planck kuantum teorisinin kurucusu olarak anıldı. Daha ileri gitmeyi denediyse de başarılı olamadı. Bir süre sonra şunları söyleyecekti: "Eylem kuantumunu klasik teoriyle birleştirmeye yönelik nafile çabalarım yıllarımı aldı ve bana çok

sorun çıkardı."[10] Fiziğin bir sonraki sıçrayışı gerçekleştirmesi için genç, cesur ve parlak birini beklemesi gerekti.

PLANCK ELİNDEKİ SONUÇLARA kısmen teorisiyle, kısmen de deneyleriyle ulaştı. 1905'te Albert Einstein elektromanyetik radyasyonun klasik tanımının, sıcak nesnelerden yayılan radyasyonu açıklamakta neden başarısız olduğuna dair daha açık ve isabetli bir teorik analiz yayımladı.

Isı teorisindeki en temel kavram olan ısıl denge, bir fiziksel sistem durulmaya bırakıldığında, enerjinin o sistemin bileşenleri arasında nasıl paylaştırıldığını tanımlar. Soğukken üzerine düşen tüm ışığı emen siyah bir nesne hayal edin. Şimdi bu nesneyi ısıtın ve kapalı, tamamen yalıtkan bir oyuğa yerleştirin. Isınmış nesne radyasyon yayacak ve bu radyasyon cisim tarafında tekrar soğurulana kadar oyuğun içinde yansıyıp duracaktır. En sonunda, nesnenin enerji yayma oranıyla –Planck'ın öngörmek istediği miktar buydu– enerji soğurma oranı eşitlendiğinde bir denge kurulacaktır. Denge halinde, yayılımla soğurma arasında, ışığın her dalgaboyunda kusursuz bir denge olması gerekir. Yani tamamen siyah bir nesnenin ısıtıldığında yaydığı ışığın oranını hesaplamak için bilmeniz gereken tek şey, dengeye ulaşmış sıcak bir oyuğun içindeki her dalgaboyunun ne kadar radyasyona sahip olduğudur.

Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann ısıl dengeyi tanımlayacak istatistiksel bir yöntem geliştirdi. Birçok fiziksel sistemde ortalama olarak, enerjinin her bileşen arasında eşit paylaşılacağını gösterdi ve buna "eşbölüşüm ilkesi" adını verdi. Einstein oyuktaki elektromanyetik dalgaların bu yasayı izlemeleri gerektiğini fark etti; bu da klasik teori için bir sorun demekti. Sorun şuydu: Maxwell'in teorisi sıfır dalgaboyuna kadar tüm

10. age.

elektromanyetik dalgalara izin veriyordu. Belli bir dalgaboyunun belli boyuttaki bir oyuğa sığmasının belli sayıda yolu varken, daha kısa dalgaları sığdırmak için daha fazla sayıda yol söz konusuydu. *Rastgele* kısalıktaki dalgaboylarının dalgalarını da işin içine katınca, bunları bir oyuğun içinde düzenlemenin *sonsuz* sayıda farklı yolu oluyordu. Boltzmann'ın ilkesine göre her biri aynı miktarda enerjiye sahip bu düzenlemeler, hep birlikteyken *sonsuz bir ısı soğurma kapasitesine* sahipti ve izin verildiği takdirde enerjinin tümünü soğuracaktı.

Gelin bunu da örneklendirelim. Sabit miktarda parası dolaşımda bir ülke hayal edin (gerçekçi değil, biliyorum). Bu ülkede aralarında sürekli bir şeyler alıp satan, sabit sayıda insanlar olduğunu düşünün. İnsanların tümü birbirinin aynısı olursa (bu da gerçekçi değil, evet!) paranın *eşbölüşümü* yasasından bahsedebiliriz. Böyle bir durumda toplam para miktarı toplam insan sayısına bölünecek ve ortalamada herkes aynı miktarda paraya sahip olacaktır.

Şimdi bu ülkeye fazla sayıda ve küçük boyutta insanlar eklediğimizi düşünün. Örneğin yarı boyutta iki kat fazla insan, çeyrek boyutta dört kat insan, sekizde bir boyutta sekiz kat insan vb. ekleyin. Boyut sıfıra ulaşana kadar eklemeye devam edin ve hepsi aynı şekilde alım satım yapmaya yetkin olsun. Sanırım sorunu fark etmeye başladınız: Eğer en küçük boyutta insanların serbestçe alım satım yapmasına izin verirseniz, sayıları çok fazla olduğu için bütün para onlarda toplanacak ve diğerlerine hiçbir şey kalmayacaktır.

Planck'ın kuralı bu ülkeye, insanların boyutlarına göre farklılık gösteren minimum kuantumda para değiştokuşu yapmalarına izin veren fazladan bir "piyasa regülasyonu" getirir. En büyük insanlar bir kuruşla alım satım yapar. Yarı boyutlu insanlar iki kuruş, çeyrek boyutlu insanlar dört kuruşla vb. Çok küçük insanlar yalnızca çok büyük miktarlarda ve yalnız-

ca pahalı, lüks ürünlerin ticaretini yapabilirler. En küçük insanlarsa, para kuantumları tedavüldeki toplam paradan daha fazla olacağı için alım satım yapamazlar.

Bu piyasa regülasyonu kuralı sayesinde bir denge kurulmuş olur. Daha küçük insanların sayısı daha fazladır ve sahip oldukları para kuantumu daha büyüktür. Bu da demek oluyor ki tüm parayı aralarında paylaşabilecek boyutta insanlar vardır ve piyasa regülasyonundan etkilenmemelerini sağlayacak birkaç kuantuma sahiplerdir. Denge halinde, bu boyuttaki insanlar piyasadaki paranın çoğunu elinde tutarlar. Tedavüldeki para miktarını artırırsanız da paranın çoğunu elinde tutan insanların boyutunu küçültmüş olursunuz.

Aynı şekilde Einstein da Planck'ın kuantalama kuralı uygulandığında, bir oyuğun içindeki enerjinin çoğunun, ancak birkaç kuantum kısalıktaki dalgalar tarafından elde tutulacağını ve bu dalgaların enerjinin tümünü kendi arasında paylaşacağını gösterdi. Oyuk ısıtıldıkça da gitgide daha kısa dalgalar enerjiyi aynı şekilde paylaşacaktır. Dolayısıyla sıcak bir cisim bir oyuğa yerleştirilip dengeye ulaşmasına izin verildiğinde, oyuk ısıtıldıkça cismin yaydığı ve soğurduğu radyasyonun dalgaboyları da küçülecektir.

İşte sıcak cisimler aynen bu şekilde davranır. Şömine küreği gibi bir cismi ısıttığınızda, ısısı yükseldikçe önce kırmızı, sonra sarı, sonra beyaz, son sıcaklık raddesine geldiğinde de mavi ve mora döner. Tıpkı Planck'ın kuantalama kuralının öngördüğü gibi bu değişimin nedeni yayılan ışığın dalgaboyunun kısalmasında yatar. İnsanlık binyıllardır farklı nesneleri ısıtıyor ve kuantum fiziği, yüzlerinde parlayan cisimlerin rengi aracılığıyla onlara en başından beri göz kırpıyor.

Aslına bakarsanız, bugün fiziği anladığımız kadarıyla, kısa dalgaboylu elektromanyetik dalgaların ister yanmış bir kibrit ister Güneş'in kendisi olsun, ısınmış herhangi bir cismin

yaydığı enerjiye baskın gelmesini engelleyen şey de Planck'ın kuantalama kuralıdır. Planck'ın "piyasa regülasyonu" olmaksızın, ışığın en küçük dalgaboyları *Harry Potter* kitaplarındaki Ruh Emiciler misali her şeyin enerjisini emip bitirirdi. Planck'ın önlediği felaket, görülebilen ışığın en kısa dalgaboyu mor olduğu için klasik fiziğin "morötesi faciası" olarak anılır (Bu bağlamda "morötesi" yalnızca "çok kısa dalgaboyu" anlamına gelir).

Bu morötesi faciayla günümüzün modern dijital çağında olanlar arasında bir paralellik kurmak çok cezbedicidir. Bilgisayarlar ve internet gitgide daha güçlü ve ucuz bir hale geldiği için yazıları, resimleri, filmleri ve müziği neredeyse sıfır maliyetle üretmek, kopyalamak ve dağıtmak yeni bir morötesi facia yaratır: Değerli herhangi bir içeriği perdeleyebilecek kadar çok miktarda düşük nitelikli, gereksiz bilgi üretilir. Bütün bunlar hangi noktada sonlanacak? Dijital işlemciler o kadar küçük boyutlara eriştiler ki önümüzdeki on yılda atomların boyutları tarafından konulan sınırlara yaklaşacak; bu ölçekte çalıştıkları zaman da bunu klasik biçimde yapmayacak ve kuantum yöntemleriyle erişilmeleri ve çalıştırılmaları gerekecektir. Enformasyon anlayışımızın kökten değişmesi gerekecek ve onu yaratma ve paylaşma araçlarımız da doğaya çok daha fazla yaklaşacak. Doğadaki morötesi facia ise kuantum fiziği sayesinde engellenmiş olacak. Son bölümde açıklayacağım üzere kuantum bilgisayarları evreni deneyimlememiz ve anlamamız açısından bizim için yepyeni ufuklar açabilir.

EINSTEIN'IN 1905 TARİHLİ makalesi klasik fizikteki morötesi faciayı ve Planck'ın kuantalama kuralının bunu nasıl çözümlediğini gösterdi. Ancak burada kalmayıp çok daha ileri gitti ve ışığın kuantum doğasının "fotoelektrik etki" adıyla bilinen bir olgu sayesinde her şeyden bağımsız görülebileceğini gösterdi.

Morötesi ışık bir metalin yüzeyine düştüğünde çevreye elektronlar yayılır. 1902'de Alman fizikçi Philipp Lenard bu olgu üzerinde çalıştı ve her bir elektronun yayılım enerjisinin, ışığın frekansıyla birlikte arttığını gözlemledi. Einstein ise enerjisini Planck'ın kuralından alan elektronların, ışığı kuantumlar halinde soğurması halinde bu verinin açıklanabileceğini gösterdi. Bu yöntemle Einstein kuantum hipotezini doğrulamış oldu. Ancak Einstein da tıpkı Planck gibi, kuantalamanın gerçekliğe yönelik klasik bakış açısı üzerindeki can sıkıcı sonuçlarını fark etti. İleride şunları söyleyecekti: "Zeminin ayaklarımızın altından çekilmesi gibiydi."[11]

Çalkantılar 1913'te devam ediyordu: Manchester'da Ernest Ruterford'un altında çalışan Niels Bohr "On the Constitution of Atoms and Molecules" adlı bir makale yayımladı ve tıpkı Planck'ın ışık için yaptığı gibi, atomlardaki elektronların yörüngelerini açıklamak üzere kuantalamaya başvurdu. Bohr'un çalışmasından hemen önce, Rutherford'un deneyleri atomun iç yapısını ortaya koymuştu ve onun merkezinde ufak, yoğun bir çekirdeğin ve etrafında dönüp duran elektronların yer aldığı minyatür bir Güneş Sistemi'ne benzediğini göstermişti.

Rutherford, Marie ve Pierre Curie'nin radyoaktif maddelerden yayıldığını gözlemlediği gizemli alfa parçacıklarını, atomun yapısını derinlemesine incelemesine yardımcı olacak bir araç olarak kullandı. Radyoaktif bir kaynağı kullanarak ince bir altın folyoyu alfa parçacıkları bombardımanına maruz bıraktı ve nasıl dağıldıklarını gözlemledi. Birçok parçacığın doğrudan metalin içinden geçtiğini, yalnızca bazılarının geri sektiğini görünce çok şaşırdı ve şu sonuca vardı: Atomun içi çoğunlukla boş bir alandan oluşur, ortasında da minicik bir nesne –atom çekirdeği– yer alıyor olmalıdır. Söylentiye göre bu buluşu yap-

11. age.

tığı günün ertesi sabahı Rutherford başarısızlığa uğramış olabileceği korkusuyla yatağından çıkamamıştı.[12]

Rutherford'un atom modeli, pozitif yüklü bir çekirdek ve onun çevresinde birer yörüngeye oturmuş negatif yüklü elektronlardan oluşuyordu. Zıt yükler birbirini çektiği için elektronlar çekirdek çevresinde bir yörüngeye oturmuştu. Ancak Maxwell'in elektromanyetik teorisine göre, çekirdeğin çevresinde hareket eden elektronlar elektrik ve manyetik alanlarda bir değişime yol açmalı ve sürekli olarak elektromanyetik dalgalar yaymalıydı. Bu enerji kaybı elektronların yavaşlamasına ve çekirdeğe yaklaştıkça daralan bir spiral çizmesine yol açmalıydı ve sonunda atomun çökmesi gerekiyordu. Bu da en az morötesi facia kadar korkunç bir felaket anlamına geliyordu; ne de olsa evrendeki her atomun kısa süre içinde çökmesi gerekmekteydi. Tüm bunlar oldukça kafa karıştırıcıydı.

Rutherford ile çalışan Niels Bohr bu kafa karıştırıcı durumun farkındaydı. Tıpkı Planck'ın elektromanyetik dalgaları kuantalaması gibi, Bohr da Rutherford modelindeki elektronların yörüngelerini kuantalamayı denedi. Hamilton'ın eylemiyle aynı birime sahip bir büyüklüğün –Bohr'un durumunda elektronun momentumu çarpı yörüngesinin çevresi– Planck sabitinin bir tamsayı katına denk gelmesine ihtiyacı vardı. En basit atom, en basit çekirdek parçacığı olan tek bir protonun çevresinde yörüngeye oturmuş tek bir elektrondan oluşan hidrojen atomuydu. Bir kuantum en içerideki yörüngeyi, iki tanesi bir sonraki yörüngeyi veriyor ve bu böyle devam ediyordu. Bohr kuantum sayısını artırdıkça varsayımının, her biri çekirdekten uzaklaşan, sıralı yörüngeleri öngörebildiğini fark etti. Her bir yörüngedeki elektron belli bir enerji mik-

12. Albert Einstein: Abraham Pais, Inward Bound: *Of Matter and Forces in the Physical World* içinde (New York: Oxford University Press, 1986), s. 134.

tarına sahipti. Doğru enerji miktarı sayesinde elektromanyetik dalgalar yayarak veya soğurarak bir yörüngeden diğerine "sıçrayabilirdi."

Deneyler atomların yalnızca belli dalgaboylarında ışığı soğurduğunu veya yaydığını gösterdi; bu da Planck'ın sabit enerji paketleri kuralıyla örtüşüyordu. Bohr bu basit kuantalama kuralı sayesinde, hidrojen atomunun yaydığı veya soğurduğu ışığın dalgaboylarını isabetli şekilde eşleştirebildiğini gördü.

* * *

PLANCK, EINSTEIN VE BOHR'UN buluşları ışığın kuantum doğasını ve atomun yapısını ortaya koydu. Ancak koydukları kuantalama kuralları yalnızca *ad hoc* nitelikteydi ve ilkelerle örülmüş herhangi bir zemine oturmadı. Bu durum 1925'te Heisenberg fiziğe, kuantalamayla sıfırdan kurulmuş yepyeni bir bakış açısı getirdiğinde değişti. Yaklaşımı dâhiyaneydi: Atomdan anlam çıkarmayı bir türlü başaramayan klasik resmin dışına çıktı. Bunun yerine teorinin, yörüngedeki elektronların soğurduğu veya yaydığı ışık dalgalarının enerjisi gibi, yalnızca gözlemleyebileceğimiz büyüklüklerin çevresinde kurulması gerektiğini öne sürdü. Bu amaçla "zamanda Fourier analizi" adıyla bilinen bir yöntem kullanarak elektronların pozisyonlarını ve momentumlarını, yayılan ve soğurulan enerjiler biriminden ortaya koydu.

Fourier'in yönteminin merkezinde *i* adı verilen, -1'in karekökü olan tuhaf, hayali bir sayı yer alır. Tanım gereği *i* çarpı *i* -1 eder. "Hayali" ifadesi uydurulmuş değer izlenimi verse de *i* matematikteki diğer herhangi bir sayı kadar kesindir. Ayrıca ileride açıklayacağım üzere *i*'nin dahil edilmesiyle birlikte sayılar her zamankinden daha eksiksiz bir hal alır. Heisenberg'den önce fizikçiler *i*'nin kullanışlı bir matematiksel hile olduğunu düşündüler. Ancak Heisenberg'in çalışmalarında *i*'nin çok daha

merkezi bir rolü vardı. Bu, gerçekliğin hayali yanının ilk emaresiydi.

Hayali *i* sayısı matematiğe 16. yüzyılda, İtalya Rönesansı döneminde girdi. Dönemin matematikçileri cebir denklemlerini çözmeyi kafaya koydular. Hintli, İranlı ve Çinli matematikçilerin bulgularıyla hareket ettiler ve oldukça güçlü formüllere ulaştılar. 1545'te Gerolamo Cardano cebirin geldiği noktayı *Ars Magna* (Büyük Sanat) adlı kitabında özetledi. Cardano negatif sayıları sistemli bir şekilde kullanan ilk matematikçiydi. Ondan önce insanlar yalnızca pozitif sayıların bir anlam ifade ettiğine inanıyordu; negatif sayıyla bir nesneyi veya negatif uzaklığı ya da negatif zamanı hayal etmek güçtü. Ancak hepimizin okulda öğrendiği gibi, sayıları eksi sonsuzdan artı sonsuza uzanan, ortasında da sıfırın yer aldığı bir doğrultuda düşünmek çoğu zaman kullanışlıdır. Ne de olsa negatif sayılar da tıpkı pozitif sayılar gibi toplanabilir, çıkarılabilir, çarpılabilir ve bölünebilir.

Cardano ve diğerleri cebir denklemlerine genel çözümler ürettiler ancak çözümlerinde bazen negatif bir sayının karekökü de yer alıyordu. İlk bakışta anlamsız oldukları gerekçesiyle bu çözümleri görmezden geldiler. Ancak sonra Scipione del Ferro bu kareköklerin anlamlı olduğunu varsayan gizli bir yöntem geliştirdi. Formülleri manipüle ederek, bu kareköklerin nihai sonucu geçersiz kılmasını sağlayabileceğini ve söz konusu denklemler için çok daha fazla çözüm üretebileceğini gördü.

Matematikçiler arasında masrafları varlıklı hamileri tarafından karşılanan kamuya açık yarışmalar düzenlediği bir dönemde, del Ferro'nun büyük kâr sağlamalarına yarayacak bu hilesi olay yarattı. Ancak nihayetinde hilesi önce Cardano, sonra da ayrıntılarıyla Raffaello Bombelli tarafından yayımlandı. 1572'de yayımladığı ve basit bir şekilde *Algebra* adını verdiği kitabında Bombelli, aritmetiğin kurallarını *i*'yi içerecek şekilde nasıl genişlettiğini sistematik bir şekilde gösterdi. Herhangi bir

sıradan sayıyla *i*'yi toplayabilir, çarpabilir, sıradan bir sayıya bölebilir veya ondan çıkarabilirsiniz. Bunu yaptığınızda, *x*'in ve *y*'nin sıradan sayılar olduğu, $x + iy$ gibi sayılar elde edersiniz. Bu sayılara "karmaşık sayılar" adı verilir. Nasıl ki sıradan sayıların negatif değerlerden pozitif değerlere uzanan bir doğrultuda yer aldığını düşünüyorsak, karmaşık sayıların da *x* ve *y*'nin yatay ve dikey koordinatlar olduğu bir düzlemde yer aldığını düşünebiliriz. Matematikçiler bu düzleme "karmaşık düzlem" adını verir. Merkezinde sıfır yer alır ve herhangi bir karmaşık sayının uzunluğunun karesi, Pythagoras'ın kuralı nedeniyle $x^2 + y^2$ değerine sahiptir.

Sonrasında hoş bir tesadüf ortaya çıktı: Bir karmaşık sayı üzeri herhangi bir başka karmaşık sayı yine bir karmaşık sayıydı. Dolayısıyla artık hiçbir karekök, küpkök ya da diğer kökler bir sorun teşkil etmiyordu. Bu bağlamda karmaşık sayılar *tamamlanmış* idi: Bir kez sıradan sayılara *i*'yi veya *i*'nin bir katını eklediğinizde başka hiçbir şey eklemenize gerek yoktu. Daha sonra matematikçiler, karmaşık sayılar kullandığınız takdirde *bütün* cebirsel denklemlerin bir çözümü olduğunu kanıtladı. Bu sonuca "cebirin temel teoremi" adı verildi. Uzun lafın kısası, işin içine *i*'nin katılmasıyla cebir her zamankinde çok daha güzel bir konu haline geldi.

Bu fikirden de Richard Feynman'ın "matematikteki en kayda değer formül" dediği, tüm zamanların en üretken matematikçilerinden Leonhard Euler tarafından keşfedilen bir denklem ortaya çıktı. Euler bir matematik alan olan analizin –sonsuzluklarla ilgilenen matematiksel tekniklerin derlemesi– fikir babası ve düzenleyicisiydi. Euler'in ortaya koyduğu yeniliklerden biri de, sayısal değeri 2,71828... olan ve matematiğin birçok alanında karşımıza çıkan *e* sayısıydı. Üstel büyümeyi tanımlayan *e*, bileşik faizi veya enflasyonun biriken etkilerini hesaplamak için finansta, doğal popülasyonların çoğalmasını ölçmek için biyolojide,

ayrıca bilişimde ve fiziğin diğer her alanında kullanılır. Euler *e* üzeri *i*'nin bir açıyla çarpımının; iki temel trigonometrik fonksiyonu, sinüs ve kosinüsü ortaya çıkardığını bularak cebiri ve analizi geometriye bağlamayı başardı. Söz konusu formül bugün alternatif akımı incelemek için elektrik mühendisliğinde ve titreşimleri incelemek için makine mühendisliğinde, ayrıca müzikte, bilgisayar biliminde ve hatta kozmolojide kullanılır. Dördüncü Bölüm'de, bilinen fiziğin tamamını kapsayacak şekilde birleştirilmiş tanımımızın kalbinde Euler'in formülünü bulacağız.

Heisenberg Euler'in formülünü (zamanda Fourier serileri olarak) bir elektronun konumunu, atomların enerji düzeylerini gösteren terimlerin bir toplamı halinde tasvir etmek için kullandı. Elektronun pozisyonu, her biri atomun iki farklı enerji durumu arasında bir katsayı bağını temsil eden karmaşık sayıların sonsuz bir dizilimi halini aldı.

Heisenberg'in makalesinin dönemin fizikçileri üzerindeki etkisi büyük oldu. Birdenbire Bohr'un kuantalama kuralını açıklayan matematiksel bir formülasyon ortaya çıktı. Ancak fiziğin bu yeni halinde, elektronun hızı veya konumu, hiçbir tanıdık veya sezgisel yorumlaması olmayan karmaşık bir matristen oluşuyordu. Klasik dünya gitgide hükmünü yitiriyordu.

Heisenberg'in keşfinin üzerinden çok geçmeden, Schrödinger ünlü dalga denklemini yayımladı. Schrödinger elektronu nokta benzeri bir parçacık olarak değil uzaya usulca yayılan bir dalga olarak tanımladı. Çalınan bir gitar telinin veya davulun titreşimlerinin, dalga benzeri belli örüntülerle hareket etmesine aşinaydı. Bu örneği geliştiren Schrödinger sonuçları hidrojen atomunun yörüngedeki elektronunun enerjilerini, tıpkı Heisenberg'in matrislerinin yaptığı gibi nicelendiren bir dalga denklemi buldu. Heisenberg ve Schrödinger'in çizdiği tablolar matematiksel olarak denk olsa da birçok fizikçi Schrödinger'in dalgalarını daha anlaşılır buldu. Ancak tıpkı Heisenberg'in

matrisleri gibi Schrödinger'in dalgası da karmaşık sayıydı. Tüm bunlar ne anlama geliyor olabilirdi?

Beşinci Solvay Konferansı'ndan hemen önce Max Born bir cevap ortaya attı: Schrödinger'in dalga fonksiyonu bir "olasılık dalgasıydı." Parçacığı uzayın belirli bir noktasında bulma olasılığı, karmaşık düzlemdeki dalga fonksiyonunun Pythagoras'ın teoremine göre bulunabilen uzunluğunun karesiydi. Bu durumda kuantum teorisinin merkezine geometri yerleşti ve önce Heisenberg'in, sonrasında da Schrödinger'in ortaya attığı tuhaf karmaşık sayılar, olasılıkları elde etmek için kullanılan matematiksel araçlar haline geldi.

Fiziğin bu yeni hali, dünyanın nasıl işlediğini somut bir şekilde ortaya koymak isteyen Einstein gibi bir fizikçi için oldukça umut kırıcıydı. Solvay toplantısının arifesinde bu konudaki bütün umutları suya düştü. Heisenberg ünlü belirsizlik ilkesini yayınladı ve kuantum teorisi çerçevesinde bir parçacığın konumunun ve hızının aynı anda tam bir kesinlikle ölçülemeyeceğini gösterdi. "(Bir elektronun) konumu ne kadar isabetli bir şekilde belirlenirse, o andaki momentumu da o kadar az isabetli şekilde bilinebilir," diyordu Heisenberg.[13] Eğer bir parçacığın nerede olduğunu *kesin olarak* biliyorsanız, bir sonraki anda nerede olacağı hakkında *hiçbir şey* söyleyemezsiniz. Bu durumda konumu ve hızını aşağı yukarı bilebileceğiniz, bulanık bir dünyadan daha fazlasını umamazsınız.

Heisenberg'in argümanları genel ilkelerin üzerine kuruldu ve ister top, ister gezegen olsun her cisme uygulanabiliyordu. Kuantum belirsizliği büyük cisimlerin konum veya hızları söz konusu olduğunda yalnızca çok ufak bir belirsizliği temsil eder. Yine de bir ilke olarak belirsizlik her zaman vardır. Heisen-

13. Susan K. Lewis ve Neil de Grasse Tyson, "Picturing Atoms" (*NOVA ScienceNOW*'daki konuşma), PBS, http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/atoms-electrons.html, 4 Temmuz 2012'de erişilmiştir.

berg'in belirsizlik ilkesinin en büyük etkisi, kuantum teorisinde hiçbir şeyin Newton, Maxwell veya herhangi bir kuantum öncesi fizikçinin düşündüğü gibi belirli olmadığını göstermektir. Gerçekliğin zemini dünya hakkındaki klasik kavrayışımızın telkin ettiğinden daha kaygandır.

GERÇEKLİĞİN KUANTUM DOĞASININ en güzel örneklerinden biri şu meşhur çift yarık deneyidir. Tek renkli bir ışık kaynağı (örneğin yeşil bir lazer) ile bir ekranın arasına, üzerinde birbirine paralel iki ince uzun yarık bulunan bir levha yerleştirdiğinizi düşünün. Arkadaki ekrana yalnızca bu yarıklardan geçen ışık düşebilir. Yarıklardan geçen ışık kırılma adı verilen bir süreçle yayılır, böylece her yarık ekranın üzerine geniş bir ışık demeti düşürür. Bu iki ışık demeti ekrana ulaştığında çakışır.

Ancak ışığın her iki yarıktan ekrandaki her noktaya ulaşması için katetmesi gereken mesafe farklıdır, dolayısıyla her iki yarıktan da gelen ışık dalgaları ekrana ulaştığında birbirine eklenebilir veya birbirini geçersiz kılabilir. Ekranda oluşan ışık desenine "girişim örüntüsü" adı verilir: Bu desen yarıklardan gelen ışık dalgalarının birbirine eklendiği veya birbirini geçersiz kıldığı yerlerde parlak ve karanlık çizgilerden oluşur. Kırılma ve girişim, klasik dalga benzeri birer davranıştır ve yalnızca ışıkta değil su dalgalarında, ses dalgalarında, radyo dalgalarında da görülür.

Şimdi işin kuantum tarafına bakalım. Eğer ışığı kısarsanız ve ekranı, fotonları –Planck'ın ışık kuantumlarını– tek tek saptayabilecek hassasiyette bir kamera veya benzeri bir dedektörle değiştirirseniz, her bir fotonun gelişini gözlemleyebilirsiniz. Işık sabit bir yoğunluğa sahip devamlı bir ışın olarak değil fotonlar, enerji demetlerinden oluşan rastgele paketler halinde gelir ve her biri gelişini bir parlamayla kameraya belli eder. Parlamalardan oluşan desen yine girişim çizgileri oluşturur; bu da ışık

fotonları bir enerji paketi olarak yalnız tek bir yere düşse de, fotonların her iki yarıktan da geçtiğini ve bir dalga olarak girişim yaptığını gösterir.

Şimdi işin en tuhaf kısmına sıra geldi. Işığı, ekrandaki parlamalar arasındaki zaman diliminin düzenekte tek seferde birden fazla foton olmasına izin veremeyeceği kadar kıstığımızı düşünün. Kamerayı her bir parlamayı ayrı ayrı kaydedecek şekilde ayarlayın ve hepsini tek bir resim üzerinde birleştirin. Ortaya çıkan tablo şunu gösterir: Her bir foton kendi kendine girişim yapmış ve dolayısıyla bir şekilde *her iki* yarıktan da geçip ekrana ulaşmış olmalıdır.

Yani fotonların bazen dalgalar bazen de parçacıklar gibi davrandığı sonucunu çıkarabiliriz. Fotonları tek tek saptadığınızda, tıpkı bir parçacık gibi her zaman belli bir konumda bulunur. Hareket ettiklerindeyse bunu tıpkı dalgalar gibi yapar; mümkün olabilecek tüm yolları keşfeder; uzaya yayılır, kırılır, girişim yapar.

Kuantum teorisinin elektronların, atomların ve diğer tüm parçacıkların da bu şekilde davrandığını öngördüğünü zaman içinde anladık. Bir elektronu saptadığımızda her zaman belli bir konumda olur ve o konumdaki elektriksel yükünü bulabiliriz. Ancak elektron bir atom çevresinde yörüngedeyken veya uzayda serbestçe hareket ederken bir dalga gibi davranır ve aynı kırılma ve girişim özelliklerini gösterir.

Böylece kuantum teorisi kuvvetleri ve parçacıkları birleştirdi ve her birinin, diğerinin özelliklerine sahip olduğunu gösterdi. Böylece Newton ve Maxwell'in geliştirdiği, parçacıkların alanlardaki kuvvetler aracılığıyla etkileşime geçtiğini iddia eden dünyasının yerini aldı. Artık hem parçacıklar hem de kuvvetler tek bir tür olgu tarafından temsil ediliyordu: hem dalga benzeri hem de parçacık benzeri özellikleri olan kuantalanmış alanlar.

NIELS BOHR, DALGA VE PARÇACIK tanımlarının bir arada var olmasını "tamamlayıcılık ilkesi" adını verdiği bir fikirle açıkladı. Bazı durumların, örneğin bir parçacığın klasik yaklaşımla, dalga gibi diğer bazı durumlarınsa farklı yaklaşımlarla daha uygun şekilde açıklanabileceğini belirtti. Buradaki kilit nokta, her ikisi arasında herhangi bir mantıksal çelişki bulunmamasıydı. Bu durum, dönemin ünlü Amerikalı yazarı F. Scott Fitzgerald'ın sözlerini akla getiriyor: "Üst düzey bir zekânın sınavı, zihninde birbirine zıt iki fikri birden taşıması ancak yine de işlevini yitirmemesiyle verilir."[14]

Matematikçi Bohr aynı zamanda felsefe üzerine de çalışmıştı ve oldukça açık ve kıvrak bir zekâya sahipti. Yazdıkları az çok mistik ve başkaları tarafından çözülmesi güç şeylerdi. Görünüşe göre, Solvay Konferansı'ndaki temel rolü de herkesi sakinleştirmek ve onları olup biten tüm çılgınlığa rağmen her şeyin en sonunda yolunu bulacağına ikna etmekti. Bir şekilde Bohr kuantum teorisinin oldukça tutarlı olduğuna dair bir inanca sahipti. Ancak bunu ne kanıtlayabildi ne de Einstein'ı buna ikna edebildi.

Einstein Beşinci Solvay Konferansı'nda oldukça sessizdi ve toplantılarda yaptığı konuşmalara dair çok az şey kayda geçti. Kuantum teorisinin rastgeleliğinden ve olasılıkçı doğasından çok rahatsız olmuştu, ayrıca matematiksel biçimciliğin soyutluluğu da hiç hoşuna gitmemişti. Her fırsatta "Tanrı zar atmaz!" diyordu; bir noktada Bohr da ona, "Einstein, Tanrı'ya dünyayı nasıl yöneteceğini söylemeyi bırak" diyecekti.[15] Beşinci ve ondan sonraki Solvay Konferansları'nda Einstein defalarca kuantum teorisini tutarsız veya tamamlanmamış kılacak bir paradoks

14. Clifford Pickover, *The Math Book: From Pythagoras to the 57th Dimension*, 250 Milestones in the History of Mathematics (New York: Sterling, 2009), s. 118-124.
15. Richard P. Feynman, Robert B. Leighton ve Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, cilt 1 (Reading, MA: AddisonWesley, 1964), s. 22.

bulmayı denedi. Ancak Bohr bir iki günlük düşünce sürecinden sonra bu paradoksları her seferinde çözmeyi başardı.

Kuantum teorisi Einstein'ı rahatsız etmeye devam etti; bir parçacığın ölçüldüğünde tek bir noktada olması, ölçülmediğindeyse her yere yayılması fikrini özellikle sevmiyordu. 1935'te Boris Podolsky ve Nathan Rosen ile birlikte, dönemin fizikçileri tarafından fazla felsefi bulunduğu için genelde görmezden gelinen bir makale yazdı. Ancak bu makale kuantum gerçekliğinin doğasına dair neredeyse 30 yıl sonra çığır açacak bir içgörünün tohumlarını ekti.

Einstein, Podolsky ve Rosen dâhiyane bir fikir sunuyordu. Radyoaktif çekirdek gibi istikrarsız bir parçacığın, birbirinin aynısı olan, tamamen aynı hızda farklı yönlere doğru uçan daha da küçük iki parçacık yaydığını düşündüler. Bu parçacıklar herhangi bir zamanda fırlatıldıkları noktaya eşit uzaklıkta olmalıydı. Bu iki parçacığın, herhangi bir ölçüm yapmadan önce çok uzağa yayılmasına izin verdiğinizi düşünün, hatta örneğin güçlü olması için aradaki mesafe ışık yılı olsun. Sonra, en son anda, parçacıklardan birinin konumunu veya hızını ölçmeye karar verdiğinizi düşünün. Bu parçacığın konumunu ölçtüğünüzde, diğer parçacığın konumu hakkında da hiçbir ölçüme ihtiyaç duymaksızın bir çıkarım yapabilirsiniz. Aynı durum parçacıkların hızları için de geçerlidir. Bu önerinin püf noktası, parçacıklardan birinin konumunu veya hızını, diğer parçacık ölçümlerinizden etkilenemeyecek kadar uzaktayken ölçebiliyor olmanızdır. Ölçümünüzü yaptıktan sonra diğer parçacığın da hızı veya konumunu çıkarabilirsiniz. Öyleyse, diye düşündü Einstein ve arkadaşları, kuantum teorisi ikisini aynı anda tanımlamak için yetersiz kalsa da ölçülmemiş parçacık hem bir konuma hem de hıza sahip olmak zorundaydı. Bu nedenle kuantum teorisinin eksik olduğuna kanaat getirdiler.

Diğer fizikçilerin aklı bu konuya pek yatmadı. Wolfgang Pauli, "Hakkında hiçbir şey bilemeyeceğimiz bir şeyin yine de var olup olmayacağı sorusunu, şu eski 'Bir iğnenin ucunda kaç tane melek oturabilir?' sorusundan daha fazla düşünmenin anlamı yok" diyordu.[16] Ancak Einstein-Podolsky-Rosen argümanı unutulup gitmeyecekti ve en sonunda biri bu argümandan nasıl faydalanacağını bulacaktı.

* * *

DÜNYADAKİ HER ŞEYİN göründüğü gibi olmadığına dair bir komplo teorisine kapıldığınız oldu mu hiç? Jim Carrey'nin Truman karakterini canlandırdığı *The Truman Show*'daki gibi bir durumdan bahsediyorum; orada Truman normal ve mutlu bir hayat sürüyor gibi görünür, ancak hayatı bir televizyon programında yayınlanmakta ve milyonlarca kişi tarafından izlenmektedir. Nihayet Truman durumu fark eder ve yapay dünyasının sonundaki boyalı gökyüzünden gerçek dünyaya geçer.

Bir bakıma hepimiz dev bir *Truman Show*'da yaşıyoruz: Dünyayı, sanki içindeki her şeyin uzaydaki her noktada ve zamanın her anında kati özellikleri varmış gibi kavramsallaştırıyoruz. Oysa 1964'te İrlandalı fizikçi John Bell dünyanın bu klasik algısının (birkaç şerh ile) aksini deneysel olarak ispatlayabilecek bir yöntem keşfetti.

Kuantum teorisi fizikçileri belirlenimci bir evren fikrini terk etmeye ve ellerinden gelen en iyi şeyin, prensipte bile olsa olasılıkları öngörmek olacağını kabul etmeye yöneldi. Doğanın, Einstein'ın deyimiyle ara sıra zar atan gizli mekanizmalara sa-

16. Werner Heisenberg, "Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik and Mechanik", Zeitschrift für Physik 43 (1927), 172-198, İngilizce çevirisi için bkz. John Archibald Wheeler ve Wojciech H. Zurek, *Quantum Theory and Measurement* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983), s. 62-84.

hip bir makine olarak görülmesi halen akla yatkındı. Bu tür teorilerden biri fizikçi David Bohm tarafından keşfedildi. Schrödinger'in dalga fonksiyonlarını uzayda parçacıklara ileri doğru yol gösteren bir "pilot dalga" olarak gördü. Ancak onun teorisinde parçacıkların gerçek konumları istatistiksel olarak, doğrudan erişimimiz olmayan fiziksel bir mekanizma aracılığıyla belirleniyordu. Bu tür mekanizmaları kullanan teorilere "gizli değişken" teorileri adı verilir. Ne yazık ki Bohm'un teorisinde parçacıklar, kendilerinden çok uzaktaki olgulardan etkileniyordu. 19. yüzyılda Faraday ve Maxwell bu tür teorilere şiddetle karşı çıkmıştılar ve o zamandan beri fizikçiler, bir cismin yalnızca yakın çevresi tarafından doğrudan etkilendiğini öne süren yerellik ilkesini, fiziğin en temel ilkelerinden biri olarak benimsediler. Bu nedenle Bohm'un yaklaşımı birçok fizikçiye hitap etmedi.

Einstein, Podolsky ve Rosen'in argümanından ilham alan John Bell, 1964'te Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) çalışırken bir deney önerdi. Amacı, etkilerin ışık hızından daha hızlı yol alamayacağını öngören yerel, klasik dünya görüşünü geçersiz kılmaktı. Bell'in önermesi, gerçekliği klasik, yerel tanımda mümkün olmayacak şekilde hareket ederken "suçüstü yakalamanın" peşindeydi.

Bell'in öngördüğü deney, tıpkı Einstein, Podolsky ve Rosen'in hayal ettiği gibi birbirinden uzaklaşan iki basit parçacık içeriyordu. Tıpkı onlar gibi Bell de iki parçacığın kusursuz bir şekilde ilintili olmasına dikkat ediyordu. Ancak Bell parçacıkların konum veya hızlarını değil, çok daha basit bir şeyi ölçecekti: spinlerini.

Pauli'nin, ardından da Dirac'ın gösterdiği gibi basit parçacıkların çoğu bir spine sahiptir. Bu parçacıkları sabit bir şekilde dönen ufak topaçlar gibi düşünebilirsiniz. Spin, Planck sabitinden gelen birimlerle kuantalanmıştır, ancak bunun ayrıntılarının bu noktada pek bir önemi yok. Bizi ilgilendiren tek şey bunun

sonucunun iki bileşenli olmasıdır. Bir parçacığın spinini ölçtüğünüzde yalnızca iki sonuçtan biriyle karşılaşabilirsiniz: Parçacık ölçme eksenine göre ya saat yönünde ya da saat yönünün aksine dönecektir. Parçacık saat yönünün aksine dönüyorsa spini "yukarı", saat yönünde dönüyorsa spini "aşağı" doğru olacaktır.

Bell, iki Einstein-Podolsky-Rosen parçacığının "sıfır spin hali" olarak bilinen bir durumda oluştuğunu varsaydı. Böyle bir durumda parçacıkları aynı eksene göre ölçerseniz, birinin "yukarı" diğerinin "aşağı" doğru (veya tam tersi) olduğunu görürsünüz. Bu durumda parçacıkların "dolanık" olduğu söylenebilir, yani birinin durumu diğerininkini belirleyecektir. Kuantum teorisine göre parçacıklar birbirinden ne kadar uzaklaşmış olursa olsun bu ilişkiyi muhafaza edecektir. Bunun yol açtığı tuhaf durumsa parçacıklardan birini ölçtüğünüzde, parçacıklar birbirinden ne kadar uzak olursa olsun diğerinin de durumunu anında belirleyebilmenizdir. Bu, Einstein'ın "ürkütücü yerelsizlik" dediği durumun bir örneğidir.

Bell parçacıkların ölçülmeden önce farklı yönlere uçtuğu bir deney düşündü. Hemen göze çarpmayan fakat can alıcı bir etki keşfetti; dünyanın yerel olmayan, klasik resmi, kuantum teorisinin öngördüğü olasılıklar örüntüsünü açıklayamazdı.

Bütün bunları basitleştirmek adına iki parçacık değil de içinde birer madeni para bulunan iki kutu düşünün. Parçacığın spininin "yukarı" olduğunu düşünmek yerine madeni paranın tura tarafının üstte olduğunu, parçacığın spininin "aşağı" olduğunu düşünmek yerine yazının üstte olduğunu düşünelim.

Şimdi size, üçgen piramit –yani tabanı kare değil, eşkenar üçgen olan, dört eşit yüzeye sahip bir piramit– şeklinde, birbirinin aynısı iki kutu verildiğini düşünün. Piramidin temeli parlak metal, diğer üç yüzeyi de kırmızı, yeşil ve mavi renklerde olsun. Renkli yüzeylerin aslında küçük birer kapı olduğunu ve piramidin içine göz atmak üzere açılabildiğini düşünün. Kapıyı her

açtığınızda piramidin zemininde, yazı veya tura yüzü görünen bir madeni parayı görebildiğinizi varsayın.

Bu kutularla oynarken temellerinin manyetik olduğunu ve birbirine yapıştığını fark edersiniz. Kutular bu durumdayken kapılar sıkıca kapanır ve kutuların durumunun ayarlandığı anlamına gelen bir uğultu duyarsınız.

Şimdi bir arkadaşınızla birlikte kutuları ayırıyorsunuz. Bunu Einstein-Podolsky-Rosen deneyinin örneklemesi olarak düşünebilirsiniz. Her biriniz birer kutu alıyorsunuz ve kapaklarından birini açıyorsunuz. Önce her ikiniz de kendi kutunuzun kırmızı kapısını açıp içeri bakıyorsunuz. Siz tura görüyorsunuz, arkadaşınız ise yazı görüyor. Deneyi tekrarlıyorsunuz: Kutuları birleştiriyor, ayırıyor ve kırmızı kapıyı açıyorsunuz. Bu işlemi birçok kez yaptıktan sonra sonucun tamamen rastgele olduğubu fark ediyorsunuz; denemelerin yarısında madeni paranız yazı, diğer yarısında da tura geliyor. Ancak siz ne görürseniz görün, arkadaşınız tam tersini görüyor. Kutuları açmadan önce birbirinden çok uzağa taşıyorsunuz, ancak yine aynı şey oluyor. Kendi paranızın yazı mı tura mı geleceğini öngöremiyorsunuz, ancak elinizdeki sonuç ne olursa olsun, arkadaşınızın kutusundaki madeni paranın hangi tarafının üstte olduğunu doğru biçimde tahmin etmenizi sağlıyor. Kutulardaki paraların hangi yüzünün yukarı bakacağı tamamen rastgele olsa da kutular birbirinin zıttı sonuçlar veriyor.

Oldukça tuhaf olmakla birlikte, bu noktaya kadar dünyaya yönelik klasik bakışımızla tam anlamıyla çelişen bir nokta yoktur. Zeminleri birbirine yapıştığında kutuları rastgele programlayan ufak bir makine varmış gibi düşünebilirsiniz. İlk kutuyu tura gelecek şekilde programlarken, diğer kutuyu yazı gelecek şekilde –veya tam tersi– programlıyor olabilir. Bu ufak programlama hilesi şu ana kadar gördüğünüz her şeyi açıklamaya yeter de artar bile.

Ancak şimdi deneyi biraz daha ilerletmeye karar veriyorsunuz. Her ikiniz de yalnızca yeşil kapıyı açmak üzere anlaşıyorsunuz. Sonuç sizi pek şaşırtmıyor, denemelerin yarısında yazı, yarısında tura görüyorsunuz ve her seferinde siz ne görürseniz arkadaşınız tam tersini görüyor. Aynı sonuçlara mavi kapıyı açarak da ulaşıyorsunuz.

Halen klasik bakışımızla çelişen bir şey yok. Tanık olduğunuz şeyi yeniden canlandırmak için ihtiyacınız olan tek şey, zeminleri birbirine bakarken kutulardan birini rastgele, diğerini de tamamen tersine programlamaktır. Örneğin birinci kutu kırmızı, yeşil veya mavi kapıyı açtığınızda tura/tura/yazı göstermeye programlanmışsa, ikinci kutu da kırmızı, yeşil veya mavi kapıyı açtığınızda yazı/yazı/tura göstermeye programlanmış demektir. Bu böyle devam eder ve sistem şu ana kadar tanık olduğunuz her şeyi açıklamaya yeter.

Sonra farklı bir şey deniyorsunuz. İşe yine kutuların zeminlerini birbirine dayayıp kutuları ayırarak başlıyorsunuz. Ancak bu kez ikiniz de hangi kapıyı açacağınıza –bu ister kırmızı olsun, ister yeşil, ister mavi– *rastgele* karar veriyorsunuz; sonuçları da kaydediyorsunuz. Bunu defalarca yaptığınızda deneylerin yarısında aynı şeyi, yarısında farklı şeyi görüyorsunuz. İlk bakışta her şey yolunu bulmuş gibi görünüyor ne de olsa kutuların her biri rastgele sonuçlar veriyor. Ancak o da nesi? Sonuçlarınızı daha büyük bir dikkatle karşılaştırınca, arkadaşınızla ne zaman aynı renkteki kapıyı açsanız, farklı sonuçlar gördüğünüzü fark ediyorsunuz. Demek ki kutular arasında halen güçlü bir bağ var ve sonuçlar aslında hiç de bağımsız değil. O halde asıl soru şu: Acaba kutular siz aynı renkteki kapıyı açtığınızda her zaman farklı sonuçlar vermeye, ancak hangi renkteki kapıyı açacağınıza rastgele karar verdiğinizde %50 ihtimalle farklı sonuçlar vermeye programlanmış olabilir mi?

Sizin kutunuzun tura/tura/yazı, arkadaşınızın kutusunun ise yazı/yazı/tura sonucunu vermeye programlandığını hayal edelim. Hem siz hem de arkadaşınız hangi kapıdan bakacağınızı da rastgele seçiyor olun. Bu durumda ikinizin de yapacağı seçimler için 9 farklı olasılık var: kırmızı-kırmızı, kırmızı-yeşil, kırmızı-mavi, yeşil-kırmızı, yeşil-yeşil, yeşil-mavi, mavi-kırmızı, mavi-yeşil ve mavi-mavi. Bu seçeneklerin beşinde zıt sonuçları, dördünde ise aynı sonuçları görürsünüz. Peki ya kutular tura/tura/tura ve yazı/yazı/yazı göstermeye programlanmışsa? Bu durumda her zaman farklı şey görürsünüz. Olası diğer programlar da bu iki senaryodan birine benzeyeceği için, rahatça söyleyebiliriz ki kutular *her nasıl* programlanırsa programlansın, kapıları rastgele seçip açtığınızda farklı sonucu görme olasılığınız en az 5/9 olmalıdır. Ancak deneyde bulduğunuz şey bu değildi; denemelerin yarısında sonuç farklıydı.

Çoktan tahmin etmiş olabileceğiniz gibi kuantum teorisi tam da sizin bulduğunuz şeyi öngörür: %50 olasılıkla aynı, %50 olasılıkla da farklı sonucu görürsünüz. Asıl deney ise birbirinden oldukça uzaktaki, sıfır spin halindeki iki Einstein-Podolsky-Rosen parçacığını alıp 120 dereceyle ayrılmış üç eksenden biri üzerinden spinlerini ölçmekti. Seçtiğiniz eksen de tıpkı piramitsel kutuda seçtiğiniz kapılara denk geliyordu. Kuantum teorisi iki parçacık için aynı ölçüm ekseni seçtiğinizde spinlerinin her zaman farklı olacağını öngörür. Farklı eksenler seçtiğinizde ise denemelerin dörtte üçünde aynı sonuca, dörtte birinde ise farklı sonuca ulaşırsınız. Ve eksenleri rastgele seçerseniz denemelerin yarısı aynı sonucu, yarısı farklı sonucu verir. Kutularda da gördüğümüz gibi yerel, klasik teoride böyle bir sonucun gerçekleşmesi mümkün değildir.[17]

17. Çift yarıktan kaynaklanan kırınım ve girişim hakkında güzel bir animasyon için bkz. Wikipedia, "Diffraction" konusu, http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction, 2 Temmuz 2012 tarihinde erişilmiştir.

Herhangi bir sonuca varmadan önce, parçacıkların bir şekilde birbiriyle iletişim halinde olduğunu, ışık hızında sinyaller gönderebildiğini düşünebilirsiniz. Örneğin farklı ölçüm eksenleri seçtiğinizde parçacıklar spinlerini, denemelerin dörte üçünde aynı sonucu, dörtte birinde ise farklı sonucu verecek şekilde ilişkilendirebilir; tıpkı kuantum mekaniğinin öngördüğü gibi. Deneysel olarak, ölçüm eksenine karar verdiğiniz anda, parçacıkların birbirine ışık hızında bile sonuca etki edebilecek bir sinyal gönderemeyecek kadar uzaklaşmış olmasını sağlayabilirsiniz.

1982'de Fransız fizikçiler Alain Aspect, Philippe Grangier ve Gérard Roger, Einstein-Podolsky-Rosen parçacıklarının ölçüm eksenlerini, parçacıkların uçuşu sırasında seçtikleri deneyler yaptılar. Bu deneyler parçacıklar arasındaki iletişimin tamamen olasılık dışı bırakıldığı şartlar altında yürütüldü. Vardıkları sonuçlar kuantum teorisinin öngörüleriyle örtüşüyordu: Dünya bizim klasik kavramlarımızla açıklanamayacak şekilde işliyordu. Bazı fizikçiler bunu, gelmiş geçmiş en büyük fizik buluşu kabul edecek kadar heyecanlanmıştılar.

Her ne kadar 5/9 ile yarım arasındaki fark kulağa çok ufakmış gibi gelse de bu olay çok uzun bir toplama işlemi yapıp 1000'in 1001'e eşit olduğunu (Eminim vergilerimizi hesaplarken birçoğumuzun başına gelmiştir bu) kanıtlamaya eşdeğerdi. Denkleminizi tekrar tekrar kontrol ettiğinizi ve hiçbir hata bulamadığınızı düşünün. Sonra diğer insanların, ardından da dünyanın en iyi bilgisayarlarının kontrol ettiğini ve herkesin sizinle hemfikir olduğunu düşünün. Sonra denkleminizden 1000 çıkararak 0=1 sonucuna ulaştığınızı düşünün. Böylece istediğiniz herhangi bir denklemin doğru veya yanlış olduğunu kanıtlayabilirsiniz. Ve bildiğiniz matematiğin tamamı yok olup gider... Bell'in savundukları ve bunun deneylerle doğrulanması da dünyanın bildiğimiz yerel, klasik tanımlarının aynı şekilde yok olmasına yol açtı.

Bu sonuçlar ufuk açıcı nitelikteydi. Kuantum dünyasının herhangi bir klasik dünyadan niteliksel olarak farklı olduğunu gözler önüne serdi ve insanları, bu farklılıkları gelecekte nasıl kullanabilecekleri hakkında düşünmeye itti. Beşinci Bölüm'de kuantum dünyasının, klasik dünyada yapmamızın imkânsız olduğu ne gibi şeylere izin verdiğini anlatacağım. Kuantum bilgisayarları, iletişim yöntemleri, hatta belki algı dünyası gibi alanlarda yepyeni fırsatların kapıları açılıyor önümüzde; tüm bunların yanında şimdiki bilgilerimiz son derece önemsiz kalabilir. Bu teknolojiler hayatımıza girdikçe, evrenin işleyişini bizden çok daha rahat bir şekilde düşünüp anlayabilecek yepyeni bir yaşam formunu da mümkün kılabilir. Kuantum geleceğimiz son derece nefes kesici ve biz onun başlangıcına tanık olduğumuz için oldukça şanslıyız.

* * *

EINSTEIN'IN ŞÜPHELERİNE RAĞMEN kuantum teorisi 20. yüzyıl boyunca zaferden zafere koştu. Curie'nin radyoaktivitesi kuantum tünelleme sayesinde anlaşılabildi: Bir atomun çekirdeğinde sıkışıp kalmış bir parçacık, olasılık dalgasının uzayda yayılması sayesinde ara sıra sıçrayıp kurtulabiliyordu. Nükleer fizik alanı geliştikçe nükleer füzyonun Güneş'in enerjisini nasıl sağladığı anlaşıldı ve dünyamızda nükleer enerji ulaşılabilir oldu. Parçacık fiziği ve katı, sıvı ve gazların fiziği; hepsi kuantum teorisinin üzerinde yükseldi. Kuantum fiziği, moleküllerin nasıl bir arada kaldığını açıkladı ve kimyanın temelini attı. Gerçek katıların ve maddenin nasıl davrandığını ve elektriğin bunlar üzerinden nasıl iletildiğini gösterdi. Süperiletkenlik, maddenin yeni hallere yoğunlaşması ve diğer birçok olağanüstü olguyu açıkladı. Transistörlerin, entegre devrelerin, lazerin, LED'lerin, dijital kameraların ve etrafımızdaki tüm o modern, küçük aletlerin temellerini attı.

Kuantum teorisi aynı zamanda temel fiziğin de hızla ilerlemesini sağladı. Paul Dirac, Einstein'ın görelilik teorisini kuantum mekaniğiyle birleştirdi ve elektronun karşıt parçacığı olan pozitronu anlama sürecinde elektron için göreli bir denklem oluşturdu. Ardından hem Dirac hem de diğerleri Maxwell'in elektromanyetik alanlarıyla etkileşime giren elektronları nasıl tanımlayabilecekleri konusunda kafa patlattılar, böylece kuantum elektrodinamiği veya QED adıyla bilinen çalışma alanı oluştu. Amerikalı fizikçiler Richard Feynman ve Julian Schwinger ve Japon fizikçi Sin-Itiro Tomonaga QED'i kullanarak temel parçacıkların etkileşimlerini ve temel özelliklerini hesapladılar ve olasılığı trilyonda birin ötesine geçen öngörülerde bulundular.

Dirac'ın bir önermesini göz önünde bulunduran Feynman, kuantum teorisini doğrudan Hamilton'ın aksiyon biçimciliğine bağlayan bir yol geliştirdi. Feynman'ın kanıtladığı şey, Schrödinger'in dalga fonksiyonlarının zaman içindeki evriminin yalnızca Euler'in *e*'si, hayali sayı *i*, Planck sabiti *h* ve Hamilton'un aksiyon ilkesiyle yazılabileceğiydi. Feynman'ın kuantum teorisi formülasyonuna göre dünya tüm olası tarihleri birden yaşıyordu, ancak bazılarının meydana gelme olasılığı diğerlerinden daha fazlaydı. Feynman'ın bu tanımı "çift yarık" deneyiyle özellikle örtüşüyordu: Bu durumda parçacık veya foton yolların *her ikisini de* izliyordu. Her iki yoldaki etkiyi toplayınca da Schröndinger'in dalga fonksiyonunu elde ediyordunuz ve parçacıklar arasında var olan ve ekrandaki farklı noktalara düşen parçacık veya fotonların olasılık örüntüsünü yaratan girişim de buydu. Dördüncü Bölüm'de bilinen fiziğin nasıl birleştirildiğini anlatırken, Feynman'ın kuantum teorisi hakkındaki bu harika formülünün dilini kullanacağım.

Ne kadar tuhaf olursa olsun kuantum teorisi tüm zamanların en başarılı, en güçlü ve en isabetli test edilmiş bilimsel teori-

si oldu. Her ne kadar deneylerden elde edilen ipuçları olmadan kuralları asla keşfedilemeyecek olsa da, soyut, matematiksel akıl yürütmenin bir zaferiydi kuantum teorisi. Bu düşünce tarzının büyülü gücünün, sezgimizi, hayal edebileceğimiz her şeyin ötesine nasıl taşıyabildiğini gördük bu bölümde. Cebirde devrim yaratan, onu geometriyle birleştiren ve insanların kuantum teorisini geliştirmesini mümkün kılan hayali sayı *i*'nin, yani -1'in karekökünün rolünün altını çizmek istedim. Aslında *i*'nin işin içinde olmasının kuantum teorisinin işleyişinde oldukça sembolik bir anlamı vardır. Biz gözlemlemeden önce dünya soyut, belirsiz ve kararsız bir haldedir. Zarif matematik kurallarını izlese de gündelik dilde tanımlanamaz. Kuantum teorisine göre dünyayı gözlemleme çabalarımız, onu bizim aklımıza yatan, sıradan sayılarla tasvir edilebilir kurallara sığmaya zorlar.

Oysa *i*'nin gücü görünenden çok daha derine iner ve zaman kavramıyla da yakından ilintilidir. Bir sonraki bölümde Einstein'ın özel görelilik teorisinin zaman ve uzayı "uzayzaman" adı altında nasıl birleştirdiğini anlatacağım. Alman matematikçi Hermann Minkowski bu tabloya açıklık getirdi ve eğer uzayın üç yerine dört boyutuyla işe başlarsa ve dört uzay koordinatlarından birini hayali bir numara –sıradan bir sayı çarpı *i*– olarak ele alırsa, bu hayali uzay boyutunun zaman olarak tekrar yorumlanabileceğini fark etti. Minkowski bu yöntemle, üstelik daha basit bir şekilde Einstein'ın özel göreliliğinin tüm sonuçlarına ulaşabileceğini gösterdi.[18]

Çok ilginçtir ki uzayı biri hayali olmak üzere dört boyutla ele alan bu matematik hilesi yalnızca özel göreliliği açıklamakla kalmaz, aynı zamanda kuantum fiziğinin tamamını da kesin bir biçimde açıklar! Dört boyutlu ve zamansız bir klasik dünya hayal edin. Bu dünyanın ısı açısından dengede olduğunu

18. F. Scott Fitzgerald, *The Crack-Up* (New York: New Directions, 1993), s. 69.

ve sıcaklığının Planck sabiti tarafından belirlendiğini düşünün. Bu dünyanın özelliklerini ölçtüğümüzde bütün niceliklerin nasıl birbiriyle ilintili olduğunu görürsünüz, sonra da Minkowski'nin hilesini uygulayarak kuantum teorisinin tüm öngörülerini yeniden üretiriz. Zamanı uzayın başka bir boyutu olarak ele alan bu teknik son derece kullanışlıdır; örneğin teorik nükleer kuvvet çalışmalarında, proton ve nötron gibi nükleer parçacıkların kütlesini bilgisayarlarla hesaplarken bu teknik kullanılır.

Zamanı uzayın hayali bir boyutu olarak ele alan diğer benzer fikirler de evrenin kara deliklerde veya büyük patlama tekilliğinde nasıl davrandığını anlamak için elimizdeki en iyi ipuçlarıdır. Bu gibi fikirler kuantum boşluğunu ve onun her alanda dalgalanmalarla nasıl dolduğunu anlamamızın temelini oluşturur. Halihazırda evreni ele geçirmekte olan bu vakum enerjisi uzak geleceği de kontrol edecek. Böylece diyebiliriz ki hayali sayı i, kozmolojideki en büyük bilmece karşısında elimizdeki en büyük çabalarımızın merkezinde yer alır. Belki de, tıpkı kuantum fiziğinin kurulmasında oynadığı kilit rol gibi, i sayısı 21. yüzyılda bir kez daha evrenin yeni bir resmini yaparken bize rehberlik edecek.

Matematik bizim algımızdan görselleştirilemeyecek kadar uzak alanlarda evrenin nasıl işlediğini görmemizi ve anlamamızı sağlayan "üçüncü bir göz" adeta. Matematikçiler genellikle dünyevi olmayan, hayallerde var olan, yapay bir alanda çalışan insanlar olarak görülür. Ancak kuantum fiziğinin bize öğrettiği bir şey varsa kelimenin tam anlamıyla hayali bir gerçeklikte yaşadığımızdır.

3*
PATLAYAN NEYDİ?

"Bilinenler sınırlı, bilinmeyenlerse sınırsızdır; düşünsel olarak sanki kifayesizlik okyanusunun ortasındaki bir adadayız. Her nesle düşen görev, topraklarımızı biraz olsun genişletmektir."
T.H. Huxley, 1887[1]

"Her şeyin ardında o kadar basit, o kadar güzel bir fikir yatıyor olmalı ki belki on, belki yüz, belki de bin yıl sonra ona eriştiğimiz zaman birbirimize dönüp şunu diyeceğiz: 'Aksi nasıl olabilirdi ki?'"
John Archibald Wheeler, 1986[2]

BAZEN YAŞAYAN EN ŞANSLI insan olduğumu düşünüyorum. Ne de olsa zamanımı evren hakkında sorular sorarak ve meraklanarak geçiriyorum. Evren nereden geldi? Nereye gidiyor? Gerçekte nasıl işliyor?

1996'da Cambridge Üniversitesi'nde Matematiksel Fizik Kürsüsü'nü devraldım. Bu, bir zamanlar Isaac Newton'ın olan

1. Thomas Huxley, "On the Reception of the Origin of Species" (1887), Francis Darwin, *The Life and Letters of Charles Darwin*, cilt 1 içinde (New York: Appleton, 1904), çevrimiçi olarak http://www.gutenberg.org/files/2089/2089-h/2089-h.htm adresinden erişilmiştir.
2. John Archibald Wheeler, "How Come the Quantum?", *Annals of the New York Academy of Sciences* 480, no. 1 (1986), s. 304-316.

Lucas Kürsüsü'nün[3] sahibi Stephen Hawking'le yakından çalışma fırsatı sağladı bana. 30 yıl önce, Einstein'ın denklemlerinin büyük patlamadaki bir tekilliğe işaret ettiğini Hawking kanıtlamıştı. Bu da tüm fizik kanunlarının evrenin başlangıcında telafi edilemez bir biçimde geçersiz olduğu anlamına geliyordu. Hawking 1980'lerde, ABD'li fizikçi James Hartle'la birlikte bu tekillikten nasıl kaçınılabileceğine ve böylece fizik kanunlarının evrenin başlangıcını nasıl açıklayabileceğine dair bir yöntem öne sürdü.

Stephen'la birlikte çalıştığım dönemde, hayata geçirilmesine yardımcı olduğu, kozmosla ilgili bir televizyon programında röportaj vermem için beni davet etti. Program yayımlandıktan bir süre sonra posta kutumda bir mektup buldum. Mektup Tanzanya'daki ilkokul öğretmenim Bayan Margaret Carnie'dendi. Sevinçten hoplayıp zıplamaya başladım. Margaret'ın bendeki yeri çok özeldir. On yaşımdayken ailem İngiltere'ye taşınınca iletişimimiz kesildi. Margaret şimdi İskoçya'daydı, televizyonda ismimi görmüş "Darüsselam'daki Bunge İlkokulu'nda öğrencim olan o küçük Neil Turok siz misiniz?" diyordu mektubunda.

Margaret hayatını öğretmeye adamıştı. Kökenleri İskoç Aydınlanması'na dayanan bir matematik ve bilim öğretim geleneğinin bir parçasıydı. Margaret ve birebir aynısı olan ikizi Ann, Darüsselam'daki küçük devlet okulunda öğretmenlik yapıyor ve kendileri gibi bir öğretmen olan anneleriyle birlikte okulun üst katındaki bir evde yaşıyordular. Margaret'ın yaklaşımını farklı kılan, öğrencilerine buyruklar vermek yerine onları zarifçe ilgi çekici konulara yönlendirmesiydi. Bana birçok özgürlük tanımış ve birçok malzeme sağlamıştı. Okulun planlarını ve ha-

3. Albert Einstein: Antonina Vallentin, *Einstein: A Biography* içinde (Weidenfeld & Nicolson, 1954), s. 24.

ritalarını çıkarmış, yaşayan canlılar ve bitkileri çizmiş, Archimedes'in ilkeleriyle deneyler yapmış, trigonometriyle oynamış ve matematiksel formüller keşfetmiştim. Evde eski araba parçalarından elektrikli motorlar ve dinamolar yapmış, böcekler toplamış, saatlerce karıncaaslanlarını izlemiş, patlamalara yol açmış, palmiye yapraklarından çadırlar kurmuştum (Gerçi içeri süzülen yılanlara karşı dikkatli olmak gerekiyordu). Çocukluğum tek kelimeyle harikaydı.

Margaret bana yazmadan hemen önce, Cambridge'in en eski geleneklerinden birinden haberdar oldum. Yeni atanan profesörler başlangıç olarak halka açık bir ders veriyordu, ancak artık çok azı bu zahmete katlanıyordu. Margaret'ın mektubunu aldıktan sonra kendi dersimi onun onuruna vermeye karar verdim. Telefonla arayıp onu ve kardeşini davet ettim; o günden sonra da sürekli temas halinde olduk. Birkaç yıl sonra onları Edinburgh'da ziyaret ettim. İkisi de yetmişlerinin sonlarına yaklaşıyordu ancak hâlâ oldukça aktiftiler. Müzelerde gönüllü işler yapıyor, halka açık dersler organize ediyordular; kısaca parçaları oldukları topluluğun ruhu ve hayatı haline gelmiştiler.

Margaret ufak dairelerinde oturmuş çay içerken bana ne üzerinde çalıştığımı sordu. "Kozmoloji" deyip açıklamaya başladığımdaysa ayrıntılara girmeme izin vermeden beni susturdu. Güçlü İskoç aksanıyla "Yalnızca bir tane önemli soru var," dedi. "Ne zaman astronomi hakkında halka açık bir derse gitsem, hocaya sorarım: 'Patlayan neydi?' Ama halen akla yatkın bir cevap alabilmiş değilim."

"Margaret, ben de tam bunun üzerinde çalışıyorum!" diye cevap verdim. "Akıllı bir çocuk olduğunu biliyordum," dedi. Ve okul bahçesindeki çiftlikte, elimde tuttuğum bir çapayla ona bakıp sırıttığım eski bir fotoğrafı gösterdi bana. Oldukça heyecanlı görünüyordum.

Margaret'a üzerinde çalıştığım, büyük patlamanın iki tane üç boyutlu dünyanın çarpışması olduğu son modeli açıklamaya çalıştım. Ancak bakışlarının bulandığını ve anlattığım her şeyi fazla karmaşık ve teknik bulduğunu fark ettim. O ayakları yere basan, pragmatik bir kişiydi. Basit, lafı eveleyip gevelemeyen, akla yatkın bir cevap bekliyordu. Ne yazık ki birkaç yıl önce Margaret ve kardeşi vefat etti. Halen onları tatmin edecek cevap üzerinde çalışıyorum.

İNSANİ KAYGILARA YOĞUNLAŞTIĞIMIZ bu modern çağda kozmoloji tuhaf bir uğraş gibi görünebilir. Einstein da bir noktada bundan dem vurmuş ve "Dünyanın en anlaşılmaz yanı, anlaşılabilir olmasıdır,"[4] demişti. Onun düşüncesine göre bile *bizim*, yani insanların, *ona*, yani evrene bakıp nasıl işlediğini anlayabilmesi şaşırtıcıydı.

Antik Yunan'da insanların bakış açıları daha farklıydı. İlk Yunan filozofları kendilerini doğal dünyanın bir parçası olarak görüyordu ve onlar için dünyayı anlamak diğer tüm çabaların temelini oluşturuyordu. Evreni esas niteliği uyum olan ilahi bir canlı olarak düşünüyorlardı. Adına *kozmos* dediler ve onun şaşmaz gerçeği, bilgeliği ve güzelliği temsil ettiğine inandılar. Antik Yunanların bulduğu bir kelime olan "teori" veya Yunancasıyla *theoria*, "İlahi olanı (*theion*) görüyorum (*orao*)" anlamına gelir.[5] Doğanın derin ilkelerinin adalet kavramımıza ve toplumun en iyi nasıl düzenleneceğine rehberlik etmesi gerektiğini düşünüyorlardı. Evren her birimizden çok daha büyüktü; kendimizle ve nasıl yaşamamız gerektiğiyle ilgili gerekli bakış

4 Luc Ferry, *A Brief History of Thought: A Philosophical Guide to Living* (New York: Harper Perennial, 2011), s. 19.

5. Albert Einstein, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunk", *Annalen der Physik* 17, no. 6 (1905), s. 132-148. İngilizceye iyi bir Wikisource çevirisi için bkz. http://en.wikisource.org/wiki/ On_a_Heuristic_Point_of_View_about_the_Creation_and_Conversion_of_Light.

açılarına evren hakkında düşündükçe ulaşabilirdik. Antik Yunanlara göre evrenin anlaşılabilmesi şaşırtıcı değildi: Evrenin anlaşılması, kim olduğumuz ve kim olmamız gerektiğiyle ilgili kilit öneme sahipti. Evrenin anlaşılabilir olduğunu düşündüler, tarih de onları haklı çıkardı.

Kozmoloji ortaçağ toplumunda da büyük rol oynadı. Rönesans düşünürlerini, Dünya'nın evrenin merkezinde yer aldığı düşüncesinde ısrar eden Katolik Kilisesi'yle karşı karşıya getiren büyük bir tartışma söz konusuydu. Kilise'nin bu düşüncesine karşı çıkan Copernicus ve Galileo, Antik Yunanların birçok düşüncesini gün yüzüne çıkardı; bunlardan biri de mantıksal argümanların dogmalar karşısındaki üstünlüğüdür. Dünya'nın Güneş etrafında dönen bir gezegenden başka bir şey olmadığını göstererek bizleri kozmosun merkezinde olmaktan azat ettiler; bizler, keşfedecek koca bir evreni olan uzay yolcularıyız. Galileo'nun ilhamını Antik Yunanlardan alan evrensel matematik kanunları olduğu önerisi oldukça demokratiktir: Dünya herhangi biri tarafından anlaşılabilir; ihtiyacınız olan araçlar yalnızca akıl, gözlem ve matematiktir. Üstelik bunlar otoriteden ve toplumdaki yerinizden bağımsızdır.

Newton, Galileo'nun sezgilerini bir adım ileri götürdü ve hareket ve kütleçekim kanunlarını birleştirdi. Newton'ın bunların yanı sıra kalkülüsü de bulması mühendisliğin ve sanayi çağının temellerini attı. Ancak unutmayın ki Newton'ın kilit önemdeki bütün buluşları, uygulamaları yüz yıllar boyunca dünyada yer alacak olsa da Güneş Sistemi'nin ta kendisini inceleyerek öğrenilmişti. Evren bize bir şeyleri öğretmekte oldukça iyi olmalı.

İki yüz yıl sonra Michael Faraday doğanın başka sırlarını da keşfetti. Onun deneyleri ve sezgileri, tıpkı Galileo'nunkilerin Newton'a rehberlik etmesi gibi Maxwell'e rehberlik etti. Maxwell elektriği, manyetizmayı ve ışığı birleştirdi ve kuan-

tumla göreliliğe uzanan kapıyı araladı. Einstein, Maxwell'in teorisinden o kadar etkilenmişti ki ışığın kuantalanmasıyla ilgili 1905 tarihli makalesinde "Işığın dalga teorisi (...) tamamen optik bir olgunun mükemmel bir modelidir ve muhtemelen başka bir teori asla onun yerini alamayacak," diyecekti.[6] Daha sonraları 1931'de Maxwell hakkında yazdığı bir denemede de "Maxwell'den önce fiziksel gerçekliğin maddesel parçacıklardan oluştuğu düşünülürken, Maxwell'in zamanından beri fiziksel gerçekliğin kesintisiz alanlar tarafından oluşturulduğu kabul edilir (...) Gerçeklik algısındaki bu değişiklik, fiziğin Newton zamanından beri gördüğü en derin ve en verimli değişimdir" diyordu.[7]

Maxwell'in teorisi Einstein'ın uzay ve daha sonraları tüm kozmosu açıklayacak kütleçekimi teorisine ilham vermişti. Teorinin kuantum versiyonuysa atomaltı fiziğin gelişimine ve şu meşhur büyük patlamanın tanımına götürecekti. Ve 20. yüzyılın sonlarında kuantum alan teorisi, galaksilerin ortaya çıkmasını sağlayan yoğunluk değişimlerini açıklayan teorileri doğuracaktı. Fizik çemberi tamamladı: Newton'ın göklerden topladığı bilgiler dünyadaki matematik ve fizik teorilerinin gelişimini sağladı. Bunlar da sırası gelince kozmos hakkındaki bilgilerimizi derinleştirdi. Antik Yunan düşünürleri bu ilerleme karşısında ne kadar mest olurlardı bir düşünün. Evrenden öğrendiklerimizle bilgimizin sınırlarını genişletmemizi sağlayan bereketli döngü halen devam ediyor; biz de bundan cesaret almalıyız.

6. Albert Einstein, "Maxwell's Influence on the Development of the Conception of Physical Reality", *James Clark Maxwell: A Commemorative Volume* içinde (New York: Macmillan, 1931), s. 71.

7. Max Planck, kütleçekim ve kuantum teorilerini nasıl birleştireceğini düşünürken Planck birimini keşfetti. Planck ölçeği Lp = (hG/c3)1/2 = 4 × 10–35 metredir, Newton'ın kütleçekimi sabitinin, Planck sabiti *h*'nin ve ışık hızı c'nin bir birleşimidir. Planck uzunluğunun altında, kuantum çalkantılarının etkileri o kadar büyüktür ki zaman ve uzaya dair tüm klasik kavramlar anlamını yitirir. Planck enerjisi, dalgaboyu Planck uzunluğuna denk bir radyasyon kuantumuyla bağlantılı enerjiye verilen isimdir, Ep = (hc5/G)1/2 = 1.4 MWh.

Daha önce de belirttiğim gibi, çok küçük bir çocukken gökyüzünün, üzerine yıldızların resmedildiği bir kubbe olduğunu düşünürdüm. Ancak şimdi kafamı kaldırıp evrene baktığımda, Maxwell, Einstein ve onları takip eden diğerlerinin çalışmaları sayesinde onu nasıl anlayabildiğimizi düşünüp takdir ediyorum. Benim için bu anlayış akıl almaz bir ayrıcalık; kim olduğumuz ve kim olmamız gerektiğine dair kısacık bir bakıştır. Gökyüzüne baktığımızda aslında doğrudan kendi içimizi görürüz. Orada durup dünyanın gerçekten nasıl işlediğini anlamak mucizeden başka bir şey değildir. Gözlerimizi algımızın sınırlarının da ötesine dikip daha büyük sorulara cevap aramaksa daha da nefes kesicidir. Bizi buralara taşıyan matematik gerçek dünyanın muhteşemliği karşısında sadece bir araçtır; beni en çok ilgilendiren şey de onun ne anlama geldiğidir.

* * *

BİR MİLİMETRE ÇAPINDA kusursuz bir ışık topu hayal edin. Görüp görebileceğiniz en parlak ışıktan oluşuyor olsun. Güneş'i bir atom çekirdeği boyutuna indirgediğinizi düşünün, işte topun içindeki alev alev yanan parlaklık öyle bir şeydir. Sıcaklığı herhangi bir atomun hatta atom çekirdeğinin bile var olamayacağı kadar yüksektir. Her şey bir temel parçacıklar plazmasına ve fotonlara, yani ışığın enerji paketlerine dönüşür.

Şimdi o ışık topunun gördüğünüz veya hayal edebileceğiniz herhangi bir şeyden daha büyük bir hızda genişlediğini düşünün. Bir saniye içerisinde çapı bin ışık yılına uzanır. Bu yayılma bir patlamadan etrafa yayılan ışık ve parçacıklar sayesinde oluşmaz; hiçbir şey o kadar hızlı hareket edemez. Olan şey *topun içindeki uzayın genişlemesidir*. Uzay büyüdükçe fotonların dalgaboyu uzar. Çok daha düşük enerji yüklü bir hal alır ve plazmanın sıcaklığı azalır. Yayılma başladıktan bir saniye sonra

sıcaklık on milyar dereceye yükselir; fotonlar hâlâ atom çekirdeklerini parçalayacak enerjiye sahiptir.

Topun içindeki uzay genişledikçe ve plazma soğudukça, madde parçacıkları atom çekirdeklerinde kümelenebilir. Genişleme başladıktan on dakika sonra hidrojen, helyum ve lityum gibi en hafif kimyasal elementlerin atom çekirdekleri oluşur. Karbon, azot ve oksijen gibi daha ağır kimyasal elementlerin atom çekirdekleriyse daha sonra yıldızlar ve süpernovalarda oluşacaktır.

Işık topu genişlemeye devam eder, ancak genişlemenin hızı azalır. Dört yüz bin yıl sonra çapı 10 milyon ışık yılına ulaşır. Koşullar atom çekirdeklerinin çevrelerindeki elektronları toplayarak ilk atomları oluşturmasına izin verecek kadar soğuktur. Koşullar Güneş'in yüzeyini andırır, sıcaklık binlerce derece civarındadır. Uzay genişlemeye devam eder, ancak hızı daha yavaştır ve hâlâ madde ve radyasyondan oluşan tekdüze bir plazmayla kaplıdır. Yine de uzayın farklı bölgelerine bakıldığında farklı yerler arasında yüz binde bir gibi ufak yoğunluk ve sıcaklık farklılıkları göze çarpar. Yoğunluktaki bu hafif dalgalanmalar tıpkı okyanustaki dalgalar gibi alçalıp yükselir.

Evren genişledikçe kütleçekimi bu dalgaların tıpkı kıyıya vuran dalgalar gibi güçlenmesine neden olur. Daha yoğun bölgeler dev dalgalar gibi çok daha güçlenerek galaksileri, yıldızları ve gezegenleri oluştururken, daha az yoğun bölgeler galaksiler arasındaki boşlukları doldurmak üzere genişler. Günümüzde, yani genişlemenin başlangıcından 13,7 milyar yıl sonra, o bir milimetre çapındaki parlak ışık topu her biri yüz milyarlarca yıldıza sahip yüz milyarlarca galaksiyi içine alan devasa bir alana yayılmış durumdadır.

Anlattığım bu olay geçmişte kalmış olsa da, uzaya baktığımızda gerçekleştiğini anlayabiliriz. Işık sabit bir hızda hareket ettiğinden ne kadar uzağa bakarsak gördüğümüz nesneler

o kadar gençtir. Örneğin Ay bizden ortalama bir ışık saniyesi uzaklıktadır, yani onun sanki bir saniye önceki halini görürüz. Aynı şekilde Güneş'in sekiz dakika önceki haline; Jüpiter'in de kırk dakika önceki haline tanık oluruz. Söz konusu olan bizden iki milyon ışık yılı uzaklıktaki Andromeda Galaksisi olduğunda ise gördüğümüz sanki onun, türümüzün Dünya'da ortaya çıkmadan önceki halidir.

Yani ne kadar uzağa bakarsak, o kadar geçmişi görürüz. Bizim çevremizde orta yaşlı bir evren vardır: Sessiz, daha öngörülebilir, yavaşça genişleyen bir evrendir bu. Yıldızların içindeki kimyasal elementleri saptayarak onların evrendeki bolluğunu belirleyebilir ve tahminlerimizle uyuşup uyuşmadığını görebiliriz. On iki milyar ışık yılı uzaklıktaki bir mesafeye bakınca, çöken madde bulutlarının oluşturduğu kuasarları (büyük kütleli kara deliklerin çevresinde oluşan güçlü radyasyon kaynakları), yeni oluşmuş spiral ve eliptik galaksileri, yani kısaca evrenin fırtınalı ergenliğini görürüz. Bunların da ötesinde bazıları yalnızca yeni doğan ve toplaşmaya çalışan bir gaz demetinden ibaret bebek galaksiler, daha da ötesinde, büyük patlamanın yalnızca dört yüz bin yıl sonrasına, yani Güneş'in yüzeyiyle aşağı yukarı aynı sıcaklığa sahip sıcak bir plazmayla kaplı olduğu bir zamana uzanan uzay yolu yer alır.

Daha ötesini göremeyiz, görüş alanımızı bulanıklaştıran ise daha önceki zamanlarda atomların ışığı dağıtacak şekilde yüklü parçacıklara ayrılmış olmasıdır. Çevremizdeki bu sıcak plazma kabuğundan yayılan radyasyon, evrenin genişlemesinden dolayı mikrodalga dalgaboylarına ulaşmıştır. Dönüp bu devire baktığımızda, devasa, sıcak ve küre biçiminde bir mikrodalga fırının merkezindeymişiz gibi görünür.

Bu anlattığım şey, evrenin evrimini olağanüstü başarılı bir biçimde açıklayan Büyük Patlama teorisinin ta kendisidir. "Peki patlayan neydi?" diye sorduğunuzu duyar gibiyim. An-

lattığım tabloda patlama bile yok, yalnızca son derece yoğun, tahmini bir çıkış noktasından başlayıp genişleyen bir uzay var. Uzay her yerde aynı şekilde ve aynı anda genişledi. Genişlemenin bir merkezi yoktu; evrenin koşulları uzayın her yerinde aynıydı. Bizim bir milimetrelik topumuz, genişleyerek bugün görebildiğimiz her şeyi oluşturan tarihöncesi evrenin yalnızca ufak bir parçasıydı.

1982'DE, LONDRA'DAKİ Imperial College'da lisansüstü eğitimimi alıyordum ve kozmolojiyle ilgilenmeye yeni başlamıştım. Cambridge'te "Evrenin İlk Zamanları" adlı bir atölye çalışması düzenlendiğini duyup konuşmaları dinlemek için bir gün oraya gittim. Bütün ünlü kuramcılar oradaydı: Alan Guth, Stephen Hawking, Paul Steinhardt, Andrei Linde, Michael Turner, Frank Wilczek ve daha birçoğu. Hepsi de enflasyon teorisinin yarattığı heyecanı paylaşıyordu.

Enflasyon teorisi en baştaki ışık topunu açıklamayı hedefliyordu. Top birçok yönden kafa karıştırıcıydı. İnanılmaz derecede yoğun olmasının yanı sıra içeride de son derece yumuşak olmalıydı. İçindeki uzay Einstein'ın kütleçekim teorisinin izin verdiği gibi kıvrımlı değildi, neredeyse kusursuz şekilde düzdü. Nasıl olmuştu da evrenin başlangıcında böyle bir nesne doğmuştu? Ve galaksilerin oluşumunun tohumunu atan ufak yoğunluk değişimleri nasıl meydana gelmişti?

Enflasyon teorisi Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) fizikçi Alan Guth tarafından olası bir açıklama olarak ortaya atılmıştı. Guth'un düşüncesi, ilk zamanlarında evren her ne kadar rastlantısal ve kaotik olsa da, onu yumuşatarak muazzam miktarda radyasyonla doldurabilecek bir mekanizma olabileceği şeklindeydi. Doğadaki tüm parçacıklara yönelik tanımlarımızı, kütleçekimi hariç diğer kuvvetlerle bağdaştırmayı deneyen büyük birleşim teorilerinde benzer bir mekanizma

bulduğunu düşündü. Bu teorilerde, uzaydaki her nokta için bir değere sahip"skaler alanlar" adı verilen belli alan türleri vardı. Elektrik ve manyetik alanlara benzerdi, ancak her noktada bir yöne değil de yalnızca bir değere sahip olduğundan daha da basitti. Büyük birleşim teorilerinde, farklı parçacık ve kuvvet türlerini ayırt etmek için bu skaler alanlardan oluşan ve "Higgs alanı" adı verilen setler kullanılmıştı. Dördüncü Bölüm'de tartışacağımız ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda bulunduğu düşünülen elektrozayıf Higgs alanının genelleştirmeleriydi bunlar.

Bu teoriler "skaler potansiyel enerji" adı verilen, sıradan maddelerin aksine kütleçekimine dayalı itici bir enerji türünü doğru varsayıyordu. Tıpkı bizim şu ışık topumuz gibi inanılmaz derecede yoğun olmalıydı. İtici kütleçekimi, uzayın genişlemesini bizim ışık topumuzun içinden de daha fazla hızlandırmalıydı ve uzayın ilk aşamasında katlanarak büyümesini sağlamalıydı. Guth bu senaryoya "kozmik enflasyon" adını verdi.

Guth'un çizdiği resimde evren bir milimetreden çok daha küçük, atomun çekirdeğinden de küçük olan ve daha az enerjiye sahip bir bölgeyle başlamış olabilir. Aslına bakarsanız evrenin, kuantum teorisinin kabul ettiği sınır olduğuna inanılan Planck uzunluğundan çok da büyük olmayan bir uzay parçasıyla işe başlamış olabileceğini düşünebilirsiniz. Ve bu parçanın bir otomobilin yakıt deposundaki kimyasal enerjiden daha fazla enerjiye sahip olması da gerekmiyordu.[8] Sabitlenmiş yoğunluktaki skaler potansiyel enerjiyle dolu uzayın enflasyonlu genişlemesi, ufacık bir tohumdan evrendeki tüm enerjiyi meydana getirebilirdi. Guth bu etkiye "en büyük bedava öğle yemeği" adını verdi. Daha sonra açıklayacağım üzere kavram biraz da aldatıcıydı, çünkü uzay genişlerken enerji sabit kalmayacaktı. Yine

8. Albert Einstein: Frederick Seitz, "James Clerk Maxwell (1831–1879), Member APS 1875", *Proceedings of the American Philosophical Society* içinde, 145, no. 1 (2001): 35, çevrimiçi erişim için bkz. http://www.amphilsoc.org/sites/default/files/Seitz.pdf.

de zihninizde canlanan "hiçbir şey vermeden çok şey alma" fikri, enflasyoncu düşüncenin büyük bölümünü karşılar. Ancak daha dikkatli hesaplamalar yapıldığında göreceğimiz üzere her zaman ödenecek bir bedel vardır.

Evrenin ufacık bir parçası başlangıçta bu haldeyse, skaler potansiyel enerji onu katlayarak genişletecek ve neredeyse bir anda çok büyük, tamamen tekbiçimli ve çok dümdüz hale getirmiş olacaktır. Bir milimetrelik bir boyuta ulaştığında, skaler potansiyel enerjinin çözünüp radyasyon ve parçacıklara dönüştüğünü, büyük patlamanın başlangıcındaki ışık topu gibi bir bölge oluşturabileceğini düşünebilirsiniz. Guth'un anlattığı tabloda skaler potansiyel enerji bir nevi kendi kendini yenileyen bir dinamit gibiydi. Ufacık bir parçası bile büyük patlamanın başındaki koşulları yaratmak için yeterli olacaktı.

Enflasyon hiç beklenmedik bir sürpriz getirdi: Daha sonra galaksilerin oluşumunu sağlayacak küçük yoğunluk değişimlerini –kozmik dalgaları– oluşturacak bir kuantum mekanizması. Bu mekanizma kuantum mekaniğini temel alır: Skaler potansiyel enerji, Heisenberg'in belirsizlik ilkesi doğrultusunda rastlantısal değişimlerle mikroskobik ölçeklerde bir yerden diğerine farklılık gösterir. Evrenin katlanarak genişlemesi bu ufacık dalgaları, evrenin yoğunluğunda çok büyük ölçekli dalgalara dönüştürür. Bu yoğunluk dalgaları her ölçekte gelişir. Ayrıca her ölçekte az çok aynı güce sahip olduğunun öngörülmesi de enflasyonun bir zaferidir. Bu dalgaların yoğunluğundaki değişiminin seviyesi, enflasyon modelini, galaksilerin kökenini açıklamak için gerekli yoğunluk değişimlerinin seviyesi olan yüz binde bire getirecek ince ayarla düzenlenebilir.

Genç bir biliminsanı olarak bu kuramcıların, insan deneyiminden bu kadar uzaktaki bir evrenle alakalı geliştirdikleri küçük denklemlerine duydukları güven beni hayrete düşürmüştü. Tartıştıkları *hiçbir şeyin* doğrudan kanıtı yoktu: Evrenin enflas-

yon sırasında katlanarak büyümesi, skaler alanlar, potansiyel enerjileri ve toplantıdaki biliminsanlarını en çok heyecanlandıran şey olan esneyip büyüyerek galaksilerin kökenleri olduğunu umdukları kuantum vakum dalgalanmaları... Hiç kuşkusuz özgüvenleri, fiziğin matematiksel fikirleri ve akıl yürütmeyi kullanarak evrenin nasıl işlediğini açıklamaya dair mevcut başarısından kaynaklanıyordu.

Ancak bana arada büyük bir fark var gibi geliyordu. Maxwell, Einstein ve halefleri, doğanın basit ve zarif bir şekilde işlediğine dair derin bir inanca sahiplerdi. Teorileri son derece tutucuydu, ortaya attıkları yeni fizik kanunlarında gelişigüzellik varla yok arasındaydı. Enflasyonu işin içine sokmak oldukça sorunluydu. Büyük Birleşim Teorisi'yle bağlanması heyecan vericiydi, ancak farklı parçacıkları ve kuvvetleri birbirinden ayırmak üzere oluşturulmuş Higgs alanları genel anlamda gereken enflasyonu destekleyecek nitelikte değildi; ya evreni sonsuza kadar katlanarak büyüme halinde tutacak ya da enflasyonu çok hızlı bir biçimde sona erdirerek evreni kıvrımlı ve yumru yumru bir halde bırakacaktı. Başarılı sonuçlar veren enflasyon modelleri, parametrelerinin ince ayarına ve başlangıç koşullarıyla ilgili güçlü tahminlere ihtiyaç duyuyordu. Enflasyon modelleri bana doğaya yönelik temel bir açıklamadan ziyade tertibat gibi geliyordu.

Öte yandan kuramcıların dikkatini kozmolojiye yöneltmesi bu alanı canlandırıyordu. Enflasyon modelleri yapay olsa da, tahminleri gözlemcilere hedef alınacak somut bir şeyler vermişti. Takip eden otuz yılda enflasyon önerisi, temel fiziği kozmolojiye bağlayan diğer düşüncelerin ve evrenle ilgili en büyük ve en temel sorulara yönelik gözlemsel çabaların büyük ölçüde artmasını sağladı.

MODERN KOZMOLOJİNİN HİKÂYESİ Einstein'ın uzay, zaman, enerji ve kütleçekimini, Maxwell'in elektrik, manyetizma ve

ışıkla yaptığına benzer bir şekilde birleştirmesiyle başlar. Einstein Londra'yı ziyaret ettiğinde bir gazeteci ona Newton'ın omzunda yükselip yükselmediğini sormuştu. Einstein ise "Bu doğru bir söylem değil; ben Maxwell'in omuzları üzerinde duruyorum."[9] diye cevap vermişti. Zamanında Maxwell'in teorisinde olduğu gibi, Einstein'ın teorisini de çarpıcı tahminler izleyecekti. Maxwell'in denklemleri radyo dalgalarını, mikrodalgaları, X-ışınlarını, gama ışınlarını, yani elektromanyetik radyasyonun tüm spektrumunu öngörülebilir kılmıştı. Einstein'ın denklemleri daha da zengindi; yalnızca Güneş Sistemi'nin ayrıntılarını açıklamakla kalmıyor, kara delikler ve kütleçekimi dalgalarından kozmosun genişlemesine ve evrimine dek her şeyi tanımlıyordu. Buluşları evreni yeni, dinamik bir alana çevirmişti. Einstein'ın teorisi Maxwell'inkinden daha karmaşıktı ve tüm çıkarımlarına tanık olmak zaman alacaktı.

Maxwell'in birleşik elektrik ve manyetizma teorisinin en olağanüstü sonucu ışık hızını tahmin etmesiydi. Bu tahmin çıkarımlarında öyle derine uzanan bir paradoks yarattı ki çözümü onyıllar sürdü. Bu paradoks şu gayet basit soruyla özetlenebiliyordu: Işık hızı neye görelidir? Newton'a ve gündelik algımıza göre, eğer sizden uzaklaşan bir şeyin peşinden koşarsanız sizden uzaklaşma hızı yavaşlar. Eğer yeterince hızlı koşarsanız onu yakalayabilir veya geçebilirsiniz. Mutlak hızın çok da bir anlamı yoktur.

Her argümanda birtakım varsayımlar gizlidir. Ne kadar derine gömülü olursa ortaya çıkarılması da o kadar güçtür. Newton zamanın mutlak olduğunu varsaydı; bütün gözlemciler saatlerini ayarlayabilirdi ve nasıl hareket ederlerse etsinler saatleri hep aynı zamanı gösterirdi. Ayrıca Newton'a göre uzay

9. Albert Einstein ve Leopold Infeld, *The Evolution of Physics* (New York: Simon & Schuster, 1938), s. 197-198.

kavramı da mutlaktı. Farklı gözlemciler farklı konumlarda bulunabilir ve farklı hızlarda hareket edebilirlerdi, ancak her zaman nesnelerin göreli konumu ve aralarındaki mesafeler üzerinde hemfikir olacaklardı.

Einstein akla yatkın bu iki varsayımın –mutlak zaman ve uzay– Maxwell'in ışık teorisiyle uyuşmadığını fark edince işler değişti. Herkesin ışık hızı üzerinde uzlaşmasının tek yolu, herkesin uzay ve zamanın *farklı* bir versiyonunu deneyimlemesiydi. Bu uzay ve zaman ölçümlerinin rastgele olduğu anlamına gelmiyordu. Tam aksine farklı gözlemcilerin yaptığı ölçümler arasında kesin bir ilişki vardı.

Farklı gözlemcilerin yaptığı uzay ve zaman ölçümleri arasındaki ilişki, Maxwell'in teorisinden bunların çıkarsamalarını yapan Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz'e ithafen "Lorentz dönüşümleri" adıyla bilinir. Einstein görelilik teorisini geliştirirken, Lorentz'in buluşunu fiziksel terimlere döktü ve Lorentz'in dönüşümlerinin sizi bir gözlemcinin ölçtüğü konum ve zamandan alıp başka bir gözlemcininkilere götürdüğünü gösterdi. Örneğin bir saatin vuruşlarının arasındaki zaman veya bir cetvelin uçları arasındaki mesafe, gözlemi yapana göre değişiyordu. Bunların yanından geçen bir gözlemci için saat daha yavaş ilerleyecek ve gözlemcinin hareketiyle hizalı bir cetvel, onu hareketsiz halde gözleyen birinin gördüğünden daha kısa görünecektir. Bu olgulara "zaman genişlemesi" ve "Lorentz daralması" adı verilir ve gözlemciler birbirlerine göre ışık hızına yakın hızlarda hareket ettiğinde son derece önem kazanır.

Lorentz dönüşümleri uzay ve zaman koordinatlarını karıştırır. Newton'ın teorisine göre böyle bir karışım mümkün olamazdı, çünkü uzay ve zaman birbirinden tamamen farklı niceliklerdi. Biri metreyle, diğeri saniyelerle ölçülüyordu. Ancak bir kez esas hıza, yani ışık hızına ulaştığınızda, hem mesafeyi hem de zamanı aynı birimlerle –örneğin saniyeler ve ışık sani-

yeleriyle– ölçebilirsiniz. Bu da zamanın ve uzayın dönüşümler içerisinde karışabilmesini sağlar. Bu karışım sayesinde de uzay ve zaman "uzayzaman" adı verilen, tek, temel bir kimlik altında tanımlanabilir.

Einstein'ın uzay ve zamanı "özel görelilik" adını verdiği teorisinde birleştirmesi, onun Newton'a göre birbiriyle ilişkisi bulunmayan nicelikler arasındaki ilişkileri anlamasını sağladı. Bu ilişkilerden biri de fiziğin en ünlü denklemlerinden biri oldu.

EINSTEIN ÖZEL GÖRELİLİK teorisini ortaya attığı 1905'te üç sayfalık kısa bir makale yazdı. Hayret verici bu makalede hiç referans yoktu ve mütevazı bir başlığı vardı: "Bir cismin eylemsizliği enerji içeriğine mi bağlıdır?" Bu makale Einstein'ın ikonik formülü $E=mc^2$'yi dünyaya ilan edecekti.

Einstein'ın formülü üç şey arasında bağ kuruyordu: Enerji, kütle ve ışık hızı. Einstein'a kadar bu üç niceliğin birbirinden tamamen ayrı olduğu düşünülüyordu.

O dönemde enerji aralarındaki en soyut kavramdı: Bir şeye parmağınızı doğrultup "İşte bak, enerji," diyemiyordunuz, çünkü enerji fiziksel bir nesne gibi var olan bir şey değildi. Söyleyebileceğiniz tek şey bir nesnenin enerjiye *sahip olduğu*'ydu. Yine de enerji oldukça kayda değer bir kavramdır, çünkü normal şartlar altında (uzayın genişlemesini bir kenara bırakalım) bir biçimden diğerine dönüştürülebilse de asla yaratılamaz veya yok edilemez. Teknik tabirle ancak enerjinin *korunduğunu* söyleyebiliriz.

Kütle kavramı ilk kez Newton'ın kuvvet ve hareket teorileriyle, bir cismin eylemsizliğini ölçmek, bir cismi hızlandırmak için nasıl bir etki gerekeceğini hesaplamak üzere ortaya çıktı. Newton'ın ikinci hareket kanunu bir ivmeyi başlatmak için gerekli olan kuvveti söylüyordu: Kuvvet eşittir kütle çarpı ivme.

O zaman enerji nasıl bir cismin kütlesi çarpı ışık hızının karesine eşit olabilir? Einstein'ın argümanı basitti: Işık enerji

taşır. Ve atom veya molekül gibi nesneler ışığı soğurabilir veya yayabilir. Yani Einstein'ın yalnızca iki farklı gözlemcinin bakış açısından atomun ışık yayma sürecine bakması kafi geldi.

İlk gözlemci hareketsiz atomun bir elektromanyetik dalgalar patlaması yaydığını görür. Enerji korunumu dolayısıyla atomun ışık yaymadan önce, ışığı yaydıktan sonrasına kıyasla daha fazla enerjisi olmalıdır. Şimdi aynı duruma, ilk gözlemciye göre hareket halinde olan ikinci bir gözlemcinin bakış açısından bakalım. İkinci gözlemci atomu ışık yaymadan hem önce hem de sonra hareket halinde görür. İkinci gözlemciye göre atom hareket enerjisine, yani kinetik enerjiye sahiptir. İkinci gözlemci ayrıca hareket halinde olduğu için, ilk gözlemciye göre biraz daha enerjik bir radyasyon patlaması görür. Bu fazla enerji Maxwell'in teorisiyle ve Lorentz dönüşümü kullanılarak hesaplanabilir.

Einstein yalnızca enerji korunumu denklemlerini yazdı. Yayılımdan önceki toplam enerji, her iki gözlemciye göre de yayılımdan sonraki enerjiye eşit olmalıydı. Bu iki denklemi, atomun yayılımdan sonraki, ikinci gözlemci tarafından gözlemlenen kinetik enerjisinin, atomun yayılımdan önceki kinetik enerjisi artı radyasyon patlamasındaki ekstra enerjiye eşit olması gerektiği izledi. Bu denklem radyasyon patlamasındaki enerjiyi, atomun yayılımdan önceki ve sonraki kütlesine bağladı. Ve söz konusu denklem atomun kütlesinin, yaydığı enerji bölü ışık hızının karesi olduğuna işaret ediyordu. Bu süreçte atom kütlesinin *tümünü* kaybeder ve tamamen bir radyasyon patlamasına dönüşecek şekilde çözünürse aynı bağ burada da geçerli olacaktı. Salınan radyasyon enerjisi, baştaki kütle çarpı ışık hızının karesi olmalıydı, yani kısaca $E = mc^2$.

Einstein bu durumu şöyle açıkladı: "Klasik fizik iki kavramı ortaya koydu: Madde ve enerji. İlkinin bir ağırlığı vardı, ancak ikincisi bir ağırlığa sahip değildi. Klasik fizikte biri madde, di-

ğeri enerji için olmak üzere iki korunum kanunu vardı. Modern fiziğin bu iki kavramlı görüşü ve iki korunum yasasını elinde tutmaya devam edip etmeyeceği sorusunu daha önce sormuştuk. Cevap: Hayır. Görelilik kanununa göre enerjiyle kütle arasında temel bir ayrım yoktur. Enerjinin de kütlesi vardır ve kütle enerjiyi temsil eder. O halde iki korunum kanunu yerine artık tek bir korunum kanunumuz vardır; o da kütle-enerji korunumudur."[10] $E = mc^2$ bir bileşimdir ve bize kütleyle enerjinin aynı şeyin iki yüzü olduğunu anlatır.

Einstein'ın bu küçük sihirli formülünün bize söylediği şeyse şudur: Devasa enerji depolarıyla çevriliyiz. Örneğin kahvenize atmak üzere olduğunuz şeker yüzlerce kiloton TNT'ninkine denktir, yani New York'u yerle bir etmeye yetecek kütle enerjisine sahiptir. Tahmin edeceğiniz üzere Einstein'ın bu buluşu nükleer fiziğe, dolayısıyla da nükleer enerjiye ve nükleer bombalara açılan kapıyı araladı.

Newton'ın teorisinde bir cismin hızının sınırı yoktur. Ancak Einstein'ın teorisine göre hiçbir şey ışıktan daha hızlı hareket edemez. Nedeni basittir: Eğer bir şey ışıktan hızlı hareket etseydi, Lorentz dönüşümlerine göre bazı gözlemciler o cismin zamanda geriye gittiğini göreceklerdi. Bu da nedensellikle ilgili çok farklı paradokslar yaratacaktı.

GÖRELİLİK TEORİSİNİ GELİŞTİRİRKEN Einstein'ın karşı karşıya kaldığı ve yarım yüzyıl önce Michael Faraday'in de kafasını kurcalayan bir sonraki soru, kütleçekim kuvvetinin gerçekten de ışıktan daha hızlı hareket edip edemeyeceğiydi. Newton'a göre bir kütlenin diğer bir kütleye uyguladığı kütleçekim kuvveti *anında* etki ediyordu, yani evrenin bir ucundan anında his-

10. John Archibald Wheeler ve Kenneth William Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics* (New York: W. W. Norton, 2000), s. 235.

sediliyordu. Somut bir örnek vermek gerekirse, okyanuslardaki gelgitler Ay'ın kütleçekim gücü nedeniyle gerçekleşir. Ay, Dünya'nın çevresinde bir yörüngede hareket ederken okyanuslardaki su kütleleri de onu izler. Newton'a göre Ay'ın kütleçekimi anında hissedilir. Ancak ayışığı Dünya'ya ulaşmak için bir saniyenin biraz üzerinde bir süreye ihtiyaç duyar. Hem Faraday hem de Einstein kütleçekimin etkisinin ışıktan daha hızlı hareket etmesine pek ihtimal vermedi.

Einstein kütleçekim teorisini oluştururken kendisine rehberlik eden kilit noktalardan biri, Galileo'nun da fark ettiği üzere, tüm cisimlerin kütlelerinden bağımsız olarak yerçekiminde aynı şekilde düşmesiydi. Serbest düşüş halindeki bir cisim kütleçekimi yokmuş gibi hareket eder. Astronotların uzayda deneyimlediği yerçekimsizlikten bunu biliyoruz: Bir astronot uzay kapsülüyle birlikte düşer. Einstein'a göre bu davranış, kütleçekiminin cisimlerin değil, uzayzamanın bir özelliği olduğuna işaret ediyordu.

O zaman kütleçekimi dediğimiz şey nedir? Einstein'ın teorisinde kütleçekimi, uzayın ve zamanın madde tarafından bükülmesidir. Örneğin Dünya tıpkı bir trambolinin ortasındaki bir bowling topu gibi çevresindeki uzayzamanı büker. Eğer merkeze doğru bilyeler gönderirseniz, tıpkı Ay'ın Dünya'nın çevresinde bir yörüngede olması gibi, trambolinin kavisli yüzeyi bilyelerin bowling topu etrafında bir yörüngeye oturmasına yol açacaktır. Fizikçi John Wheeler'ın daha sonra belirteceği gibi, "Madde uzayzamana nasıl bükülecğini, uzayzaman da maddeye nasıl hareket edeceğini söyler."[11]

On yıllık bir denemeden sonra Einstein nihayet 1916'da, bugün Einstein denklemi olarak anılan meşhur denklemini buldu.

11. George Bernard Shaw, "You Have Broken Newton's Back", D. R. Danielson, *The Book of the Cosmos: Imagining the Universe from Heraclitus to Hawking* içinde (New York: Perseus, 2000), s. 392, 393.

Bu denkleme göre uzayzamanın kavisliliği, içerdiği maddeye göre belirlenir. Einstein kavisli uzayın 1850'lerde Alman matematikçi Bernhard Riemann tarafından bulunan matematiksel tanımını kullanmıştı. Riemann'dan önce küre benzeri kavisli bir yüzeyin yüksek boyutlar içine gömülü olduğu düşünülüyordu. Ancak Riemann geometrideki düz çizgiler veya açılar gibi kilit kavramların kavisli bir yüzeyin içinde, dışarısındaki herhangi bir şeyi dikkate almadan nasıl tanımlanabileceğini gösterdi. Bu son derece önemli bir buluştu, çünkü evrenin başka bir şeyin içine gömülü olmadan kavisli olabileceğini düşünmemizi sağladı.

Einstein'ın "genel görelilik" adını verdiği yeni teorisi, evrene bakışımızı Antik Yunan'a çok daha yakın bir hale getirdi: Evren uzay, zaman ve madde gibi unsurları arasında hassas bir denge olan yaşamsal, dinamik bir varlıktı. Einstein kozmosu algılayışımızı değiştirdi: Çocukken hayal ettiğim o hareketsiz sahne değil, kıvrılabilen veya genişleyebilen, değişken bir alandı evren.

Einstein Londra'yı ziyaret ettiğinde ünlü oyun yazarı George Bernard Shaw, genç bir profesörün –Albert Einstein– Newton dünyasını nasıl yerle bir ettiği hakkında komik bir hikâye anlatmıştı. Newton'ın kütleçekim kanununun geçersiz olduğunu öğrenince insanlar kendisine sormuş: "Peki düz çizgi ne olacak? Eğer kütleçekimi diye bir şey yoksa, gökteki cisimler neden evrenimizin dışına doğru düz bir çizgide hareket etmiyor?" Shaw şöyle devam etmişti: "Profesör demiş ki 'Neden etsinler ki? Dünya böyle değil. Dünyamız doğrusal İngiliz dünyasından farklı, kıvrımlı bir dünya. Gökteki cisimler de kıvrımlı yollarda hareket eder, çünkü onların doğal işleyişi bu şekildedir.' Sonra nihayet tüm Newton evreni parçalanıp yok olmuş ve Einstein evreni onun yerini almış."[12]

12. *The Born-Einstein Letters, 1916-1955: Friendship, Politics and Physics in Uncertain Times*, çev. Irene Born (New York: Walker, 1971), s. 223.

Einstein'ın genel görelilik teorisi henüz yeniyken Max Born onu şöyle tanımladı: "Benim için bu teori insanın doğa hakkında düşünmesinin en büyük getirisiydi; felsefi zekânın, fiziksel sezgilerin ve matematiksel becerinin en muhteşem birleşimiydi. Ancak deneyimle bağı biraz zayıftı. Beni, uzaktan hayran olunması gereken muhteşem bir sanat eserinin etkilediği gibi etkilemişti."[13] Günümüzde Born'un bu yorumu gerçekliğini yitirmiştir. Einstein'ın genç halefleri bu teoriyi kozmosa uyarladılar ve sihirli bir şekilde işlediğini gördüler. Günümüzde kozmolojinin tüm yükü genel göreliliğin omuzlarında ve ister Hubble Teleskobu ister dev radyo teleskop dizilimleri, X ışını veya mikrodalga uydular aracılığıyla olsun, evrene yönelik her gözlemimiz yorumlanmak için Einstein'ın teorisine ihtiyaç duyar.

Genel görelilik kolay bir konu değildir. Bir lisans öğrencisiyken, konuyla ilgili *Gravitation* adlı, kalınlığıyla ünlü, iki buçuk kilogram ağırlığında bir kitapla cebelleşmek durumunda kaldım. Don Quijote'unkine benzeyen bir çaba sarf etmem gerekti; konu özünde basit olsa da denklemleri son derece zordu. Altı aylık bir deneme sürecinden sonra dersini almaya karar verdim. İş birden çok kolaylaşmıştı. Birçok konuyu olduğu gibi fiziği de en iyi şekilde başkalarıyla birlikte öğrenirsiniz. Birinin başardığını görünce kendinizin de başarabileceğini hissedersiniz.

* * *

GENEL GÖRELİLİĞİN KEŞFİ ve uzayzamanın bükülmez olmadığı çıkarımı bir soru ortaya çıkarmıştı: Evren çok büyük ölçekte neler yapar ve içindeki tüm madde ve enerji onu nasıl etkiler? O dönemdeki herkes gibi Einstein da kozmoloji hakkında dü-

13. John Farrell, *The Day Without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology* (New York: Basic Books, 2010), s. 10.

şünmeye başlayınca evrenin durağan ve sonsuz olduğunu varsaydı. Ancak ortaya hemen bir paradoks çıktı. Sıradan maddeler kütleçekimiyle diğer sıradan maddeleri çektiğine göre durağan bir evren de kendi ağırlığı altında çökmelidir. Einstein meseleye bir çözüm getirdi. "Kozmolojik terim" adını verdiği yeni, basit bir enerji biçimi ortaya attı. Bu enerji biçiminin temel özellikleri uzayzamanda kesinlikle tekbiçimli olması ve her gözlemciye aynı görünmesiydi. Kozmolojik terimi daha iyi anlayabilmek için, tamamen elastik, esneyebilen, uzayı dolduran dev bir sünger benzeri bir madde düşünün. Bir "gerilime" yani negatif basınca sahip olsun; bu da gerildikçe lastik bir bant gibi enerji depoladığı anlamına gelir. Ancak ne kadar çekerseniz çekin özellikleri kesinlikle değişmez, yalnızca daha fazlasını elde edersiniz.

Evreni bir arada tutan şeyin negatif basınç olması duymak isteyeceğiniz son şey olabilir. Sanki her şeyi içe doğru çekip çökertecekmiş gibi anlaşılır. Ancak daha önce de açıkladığımız üzere, evrenin genişlemesi sıradan fizikteki karşılığıyla örtüşmez. Bu bir patlama değildir, uzayın genişlemesidir. Einstein denklemleri negatif basıncın yol açtığı etkilerin, beklentilerin tam tersi olduğunu gösterir. Kütleçekimi *itici* olduğu için evrenin şişmesine neden olur (Bu itici kütleçekimi etkisi Guth'un enflasyon teorisinde kullandığıyla aynıdır.).

Einstein sıradan maddenin kütleçekimiyle, kozmolojik terimin itici kütleçekimini dengeleyerek evrenin matematiksel modelinin sabit kalmasını sağladı. Ancak model başarısız oldu. İngiliz astrofizikçi Arthur Eddington'ın fark ettiği üzere bu düzenleme istikrarsızdı. Evrenin boyutu biraz küçülse, sıradan maddenin yoğunluğu artacak ve çekimi büyüyecekti, bu da evrenin çökmesine yol açacaktı. Aynı şekilde evrenin boyutu biraz büyüse, madde seyreltilmiş olacak ve kozmolojik terimin itici gücü çekişmeyi kazanacaktı, böylece evren patlayıp gidecekti.

Einstein'ın göremediği şeyi görme, yani teorisinin genişleyen bir evreni tasvir ettiğini fark etme ayrıcalığına sıradışı iki insan erişecekti.

BUNLARIN İLKİ, I. Dünya Savaşı'na pilot olarak katılan yetenekli genç Rus matematikçi Alexander Friedmann'dı. Savaş ve onu takip eden Rus Devrimi nedeniyle, Einstein'ın genel görelilik teorisi Friedmann'ın yaşadığı St. Petersburg'a ancak 1920 civarında ulaşabilmişti. Yine de iki sene gibi bir süre içinde Friedmann, Einstein'ı geride bırakan kayda değer bir makale yayımlamayı başardı. Tıpkı Einstein gibi Friedmann da sıradan madde ve kozmolojik terim de dahil olmak üzere evrenin tüm uzayda ve her yöne tekbiçimli olduğunu varsaydı. Ancak Einstein'ın aksine Friedmann evrenin durağan olduğuna inanmıyordu; Einstein'ın denklemine uygunluk gösterecek şekilde evrenin boyutunu değiştirmesine izin verdi.

Friedmann, Einstein'ın durağan evreninin tamamen atipik olduğunu keşfetti. Einstein'ın denklemine getirilen çoğu matematiksel çözüm, genişleyen veya çöken bir evren ortaya koyuyordu. Einstein hemen karşılık verip Friedmann'ın matematiksel hatalar yaptığını söyledi. Ancak birkaç ay sonra Friedmann'ın sonuçlarının doğru olduğunu kabul etti. Yine de bu bulguların yalnızca matematiği ilgilendirdiğine ve gerçek evrenle örtüşemeyeceğine inanmayı sürdürdü. Unutmayın ki bu tartışmaların sürdüğü zaman gözlemlerden elde ettiğimiz bilgiler çok azdı. Astronomlar halen Samanyolu'nun evrendeki tek galaksi olup olmadığından emin değillerdi ve galaksi düzleminin dışında görülen ve "nebula" adı verilen yamalı bulutların uzaktaki galaksiler olup olmadığını tartışıyorlardı.

Einstein'ın Friedmann'ın evrim geçiren evren çözümlerinden hoşlanmamasının nedeni bunların her birinin tekilliğe sahip olmasıydı. Genişleyen bir evrenin zamandaki kökenine

veya çöken bir evrenin geleceğine doğru giderseniz, bir noktada bütün uzayın tekil bir nokta olduğunu ve madde yoğunluğunun sonsuz olduğunu görürsünüz. "Kozmik tekillik" adı verilen böylesi bir durumda bütün fizik kanunları çöker.

Yine de Friedmann bir tekillik boyunca evreni izlerse ne göreceğini merak etti. Örneğin çalıştığı bazı modellerde evren genişleme evrelerinden geçiyor ve en sonunda da çöküyordu. Friedmann matematiksel olarak tekillik aracılığıyla evrimi sürdürebileceğini, evrenin başka bir genişleme halkasından sonra çökeceğini bulmuştu. Bu ileride tartışacağımız üzere öngörülü bir fikirdi.

Günümüzde Friedmann'ın evrenin genişlemesine dair matematiksel tanımı tüm modern kozmolojinin mihenk taşlarından birini oluşturur. Yapılan gözlemler Friedmann'ın öngörülerini detaylı biçimde doğruladı. Ancak Friedmann çalışmalarının doğruluğunu görecek kadar yaşayamadı. 1925'te bir balonla 7400 metrelik rekor bir yüksekliğe, Rusya'nın en yüksek dağından da yükseğe çıktı. Çok geçmeden tifo oldu ve bir hastanede hayatını kaybetti.

İKİ YIL SONRA, FRIEDMANN'IN çalışmalarından habersiz, Abbé Georges Lemaître adında Belçikalı bir Cizvit de genişleyen evren fikrine sıcak bakmaya başladı. Ancak Lemaître yeni bir bileşen ekledi: radyasyon. Radyasyonun evrenin genişlemesini yavaşlattığını fark etti. Aynı zamanda genişlemenin uzayda dolaşan elektromanyetik dalgaların dalgaboyunu uzatacağını da keşfetti. Bu da uzak yıldızlardan ve galaksilerden yayılan ışığın bize doğru yol aldıkça kırmızılaşacağı anlamına geliyordu. Amerikalı astronom Edwin Hubble uzak galaksilerden gelen yıldız ışığının kırmızılaştığını gösteren veriler yayımladı. Lemaître, Hubble'ın verilerini, evrenin genişliyor olabileceği şeklinde yorumladı. Genişlemeyi zamanda geriye, milyarlarca

yıl geriye doğru izleyerek evrenin boyutunun sıfıra ulaştığını buldu: Her şey bir tekillikle başlamış olmalıydı.

Einstein yine bu sonuca direndi. O yıl Lemaître ile Brüksel'de karşılaştığında ona "Hesaplamalarınız doğru, ama fiziğe bakış açınız felaket" diyecekti.[14] Ancak bir kez daha geri adım atmak zorunda kaldı. 1929'da Hubble'ın gözlemleri ışığın kırmızılaştığını ayrıntılı bir şekilde doğruladı ve bunun sonucunda Lemaître'in öngörülerini haklı çıkardığı kabul edildi. Yine de birçok fizikçi bu düşünceye direndi. Eddington'ın da dile getireceği gibi, dünyanın başlangıcı kavramı "iticiydi."[15]

Lemaître düşüncelerinin peşinden gitmeye devam etti ve uzayzamanın tekil "başlangıcının" yerine bir kuantum evresi koymayı denedi. Aklındaki şey, kuantum teorisini kullanarak evrenin başlangıcında oluşacak bir tekilliği engellemekti; tıpkı Bohr'un elektronların yörüngelerini kuantalayarak çekirdeğe çakılmalarını engellediği gibi. 1931'de *Nature* dergisinde yayımlanan bir makalesinde Lemaître "Eğer dünya tek bir kuantum ile başladıysa, uzay ve zaman kavramları başlangıçtaki anlamlarını kaybedecektir; bunlar yalnızca orijinal kuantum, yeterli kuantum sayısına ulaşıncaya kadar bölündüğünde anlam kazanmaya başlayacaktır. Eğer bu öneri doğruysa, dünyanın başlangıcı uzay ve zamanın başlangıcından biraz önce gerçekleşmiş olacaktır."[16] Lemaître bu varsayımına "İlk Atom" adını verdi ve ileride göreceğimiz üzere 1980'lerin fikirlerine böylece öncülük etmiş oldu.

1933'te ikisinin de seminer için gittiği California'da, Einstein ile Lemaître arasında tatlı bir görüşme gerçekleşti. *New York*

14. age., s. 207.
15. Abbé G. Lemaître, "Contributions to a British Association Discussion on the Evolution of the Universe", *Nature* 128 (Ekim 24, 1931), s. 704-706.
16. Duncan Aikman, "Lemaître Follows Two Paths to Truth", *New York Times Magazine*, Şubat 19, 1933.

Times'daki[17] bir makaleye göre, Einstein Lemaître'in konuşmasını ayakta alkışladı ve "Bu hayatımda dinlediğim en güzel ve tatmin edici yaratılış açıklaması" dedi. Sonra bir araya gelip poz verdiler ve fotoğraf "Einstein ve Lemaître: Birbirlerine karşı derin hayranlık ve saygı besliyorlar" açıklamasıyla gazetedeki yerini aldı.

Eğer farklılıkların bilime nasıl hizmet ettiği konusunda bir kanıta ihtiyacınız olursa, öncelikle Rus bir havacı, sonra da Belçikalı bir rahiple Einstein arasındaki bu tuhaf karşılaşmalara göz atmanız yeterli olacaktır. Toplantılar oldukça ateşli geçmiş olmalı, işin ucunda kozmosu anlayabilmek vardı.

II. DÜNYA SAVAŞI'NDAN kısa bir süre sonra, Friedmann'ın St. Petersburg'dan öğrencisi George Gamow nükleer fiziği kozmolojiye taşıyan büyük adımlardan birini attı. Arkadaşlarının taktığı isimle "Geo" hayat dolu, renkli bir kişilikti; bol bol espri ve şaka yapar, çokça içerdi. Bir biliminsanı olarak farkı cesaretinden geliyordu: Ayrıntılara pek takılmaz, doğrudan büyük resme bakardı. Özellikle nükleer fizik uygulamaları başta olmak üzere çevresindekileri ilginç problemlerle uğraşmaya teşvik ederdi. Örneğin 1938'de "hidrojen bombasının babası" olarak bilinen Edward Teller'la birlikte "Yıldız Enerjisi Kaynaklarının Sorunları" adında bir konferans düzenlemiş, fizikçileri ve astronomları, Güneş ve diğer yıldızlarda gerçekleşen nükleer süreçleri incelemek üzere bir araya toplamıştı. Bu tarihi toplantı evrendeki yıldızların modern tanımlarının yapılmasını sağladı. Bugün bu alan modern bilimin en başarılı olduğu alanlardan biridir.

Rus Devrimi'nden sonra Gamow, uluslararası değişim programıyla ülkeyi terk eden ilk öğrenci oldu ve önce Kopenhag'a

17. Gino Segrè, *Ordinary Geniuses: Max Delbrück, George Gamow, and the Origins of Genomics and Big Bang Cosmology*, (Londra: Viking, 2011), s. 146.

giderek Bohr'la, ardından da Cambridge'te Rutherford'la çalıştı. En sonunda üzülerek de olsa Batı'ya iltica etti ve Washington D.C.'deki George Washington Üniversitesi'nde profesör oldu. Rus kökeni nedeniyle Gamow'un atom bombası üzerinde çalışmasına izin verilmedi, ancak ABD Donanması Savaş Bürosu'nda danışmanlık yaptı. Bu sırada bazı dokümanları Einstein'a, Princeton'daki evinde inceleyebilmesi için bizzat götürme görevini üstlendi. Görünüşe göre ikili sabahları bu dokümanlar üzerinde çalıştı ve akşamüstleri de kozmoloji üzerine sohbet etti.[18]

Gamow bir nükleer fizik uzmanıydı. 1928'de Curie'nin bulduğu ağır atom çekirdeklerinin nükleer bozunmasına bir açıklama getirdi. Gamow'a göre bu, atomaltı parçacıklarının çekirdeğin içinden dışına doğru kuantum tünellemesi sonucu gerçekleşiyordu. Gamow kozmoloji üzerine düşünmeye başladığında da kendine büyük bir amaç edindi: Doğadaki her kimyasal elementin, hidrojenden başlayıp tüm periyodik tablodaki elementlerin bolluğunu açıklayacaktı.

Fikri gayet basitti: Eğer başlangıçta evren sıcak idiyse, dev bir düdüklü tencere gibi hareket etmiş olmalıydı. Çok yüksek sıcaklıkta uzay en basit parçacıklardan –yani elektron, proton ve nötronlardan– oluşan bir plazmayla dolu olmalıydı. Bu sıcaklıkta o kadar hızlı uçuşuyor olmalıydı ki etrafta hiçbir şey onları birleştirememeliydi. Evren genişledikçe soğuyacak ve nötronlarla protonlar birleşerek atom çekirdeklerini oluşturacaktı.

Öğrencisi Ralph Alpher ve başka bir genç çalışma arkadaşı Robert Herman'la ayrıntılar üzerinde çalıştılar, Friedmann ve Lemaître'in denklemlerini nükleer fizik kanunlarıyla birleştirdiler ve günümüzde evrendeki kimyasal elementlerin ne kadar

18. ABD Uzay Nesneleri Birimi, http:// usspaceobjectsregistry.state.gov/registry/dsp_DetailView.cfm., 4 Temmuz 2012'de erişilmiştir.

bol bulunduğunu anlamaya çalıştılar. Yaklaşımları en hafif elementlerde –hidrojen ve onun daha ağır izotopları ile helyum ve lityum– işe yaradı ve bu elementlerin bolluğunu açıklamayı başardı. Ancak karbon, azot ve oksijen gibi daha ağır elementlerin oluşumuna bir açıklama getiremedi. Sonradan anlaşılacağı üzere bunlar yıldızlarda ve süpernovalarda oluşmuştu, bu yüzden hak ettikleri ilgiyi göremedi.

Alpher, Gamow ve Herman'ın araştırmalarının ilk bakışta göze çarpmayan, şahane bir öngörüsü vardı: Erken evrende uzayı dolduran sıcak radyasyon asla tamamen yok olamazdı. Tekillikten bir saniye sonra ilk atom çekirdekleri oluşmaya başlarken, radyasyonun sıcaklığı milyarlarca derece olmalıydı. Evren genişledikçe radyasyonun sıcaklığı düşmeli ve günümüzde de bu sıcaklık mutlak sıfırın yalnızca birkaç derece üzerinde olmalıydı.

Alpher, Gamow ve Herman günümüzdeki evrenin bu radyasyon kalıntısıyla, yani kozmik mikrodalga arka plan ışımasıyla örtülü olması gerektiğini fark ettiler. Bu ışıma toplam enerji yoğunluğu açısından evrende oluşan her bir yıldızın yaydığı tüm enerjinin toplamından çok daha fazla olmalıydı. Spektrumu da –ışımanın dalgaboyuna göre enerji miktarı– sıcak bir cisminkiyle aynı olacaktı; tıpkı Max Planck'ın 1900'de öne sürdüğü ışığın kuantalanmasında bahsettiği spektrum gibi.

* * *

BU NOKTAYA KADAR Büyük Patlama teorisiyle ilgili tartışmalar tamamen teorikti, ancak bu durum sarsıcı bir şekilde değişmek üzereydi. 1964'te New Jersey'deki Holmdel'de çalışan Arno Penzias ve Robert Wilson istemeden kozmik mikrodalga arka plan ışımasını saptadılar. Kullandıkları alet AT&T'nin New Jersey'deki araştırma laboratuvarında, aslında radyo sinyalleri-

ni uzaydaki Echo 1 adlı iri, metalik bir balondan yansıtabilmek için üretilen aşırı hassas, devasa bir radyo anteniydi. Echo 1'le yapılan deneyler, savaşta geliştirilen radar teknolojisini izleyen ve küresel iletişim teknolojileri geliştirmek için yürütülen çabaların parçasıydı.

Echo 1 deneylerini ilk küresel iletişim uydusu olan Telstar'ın fırlatılması izledi. 1962'de fırlatılan ve Star Wars'daki R2-D2'ya benzeyen 77 kilogramlık uydu modifiye edilmiş bir füzeyle uzaya gönderilmişti. Telstar'ın yayımladığı kıtalararası ilk televizyon programı milyonlarca kişi tarafından izlenmişti. Tornados adlı İngiliz grubun hit şarkısı "Telstar" bu olaydan ilham almıştı. Şarkı bir radyo cızırtısıyla, çıtırtılarla ve elektronik sinyal sesleriyle başlıyordu ve sonra yapay bir sese ve iyimser bir melodiye dönüşüyordu. Şu an bile kulağa çok fütürist geliyor. Şarkı hızla hit oldu, dünya çapında beş milyon kopya sattı ve ilk defa İngiliz menşeli bir parça ABD'de listelerin birinci sırasına yükseldi. İronik bir şekilde Telstar'ın sonunu atmosferik nükleer testler getirdi; yukarı atmosferdeki radyasyon hassas transistörlerine fazla gelmişti. ABD Uzay Cisimleri Kayıtları'na göre artık çalışmayan cansız bedeni halen Dünya çevresinde bir yörüngededir.[19]

Telstar dünyanın televizyona bakışını değiştirdi. NASA'nın 1969'da Ay'a gitme planlarına paralel olarak küresel bir ağ kuran iletişim uyduları Dünya'nın çevresinde bir yörüngeye oturtulmuştu. Bu ağ, Apollo 11'deki astronotların Ay'a ayak bastıkları haberini televizyonlardan dünyaya duyurmak üzere tam zamanında hazır hale getirildi.

Telstar'ın konuşlandırılmasıyla Echo 1'den sinyaller alması öngörülen dev radyo anteni işlevsiz kaldı. Bell Labs'e katılma-

19. Adam Frank, *About Time: Cosmology and Culture at the Twilight of the Big Bang* (New York: Free Press, 2011), s. 196-201.

dan önce her ikisi de astronomi doktorası yapan Penzias ve Wilson'a, anteni bir radyo teleskobu gibi kullanma izni verildi, onlar da bu fırsatı kaçırmadılar. Ancak ilk verilerini toplarken, gökyüzünde hangi yöne çevrilirse çevrilsin antenden gelen mikrodalga dalgaboylarında sabit bir cızırtı duydular. Çok denedilerse de sesten kurtulamadılar. Antendeki güvercin dışkılarını temizlemeyi bile denediler, ancak sesten kaçış yoktu.

En sonunda, Princeton'da Robert Dicke ile çalışan James Peebles adlı genç bir kuramcının verdiği bir ders Penzias ve Wilson'ın dikkatini çekti. Doğru dalgaboyunda kozmos kaynaklı radyasyonun, antenlerdeki cızırtıyı açıklayabileceğini öngördüler. Alpher, Gamow ve Herman'ın önceki hesaplamalarından bihaber olan Dicke ve Peebles kendi kozmik arka plan ışıması öngörülerinin, onlarınkiyle uyumlu olarak milimetrelik dalgaboyuna, yani mikrodalgaya denk düşecek birkaç Kelvin derecelik sıcaklıkta sonuç verdiğini bulmuşlardı. Penzias ve Wilson o zamanlar arka plan ışımasını araştırmayı planlayan Dicke'e telefon ettiler. Dicke telefonu kapatır kapatmaz genç meslektaşlarına "İş işten geçti," dedi. Penzias ve Wilson'ın buluşu "dünyanın her yerinden duyulan bir silah sesi" gibiydi ve neredeyse tüm fizikçileri evrenin Büyük Patlama'yla başladığına ikna etti.

1989'DA KOZMİK ARKA PLAN KÂŞİFİ (Cosmic Background Explorer - COBE) adında bir NASA uydusu bu arka plan ölçümlerine görülmemiş bir kesinlik getirdi. O dönemde Princeton'da profesördüm ve on yıldır birleşim teorilerinin kozmolojik gözlemlerle nasıl test edilebileceğini araştırıyordum. Evrenin kendisinin, akla gelen herhangi bir deneyin çok daha ötesindeki yüksek enerjili fizikle ilgili fikirlerin test edildiği bir laboratuvar olarak kullanıldığı, heyecan verici bir alandı. Ancak iki şey beni endişelendiriyordu: Öncelikle tartıştığımız teorilerin çoğu

zorlamaydı, ayrıca elimizde hangi teorinin doğru olduğunu anlayacak kadar veri yoktu.

Sonra hayatımda katıldığım en olağanüstü seminere katıldım. Princeton'daki fizik bölümünün bodrumunda düzenlenen bu seminerde, COBE uydusunun topladığı ilk veriler açıklanıyordu. Konuşmacı isim, bölümden arkadaşım David Wilkinson'dı. David, Bob Dicke'in Penzias ve Wilson tarafından kıl payı atlatılan ekibinin bir parçasıydı. O dönemde deneysel kozmolojinin önde gelen isimlerinden biriydi ve arka plan ışıması üzerinde her biri bir öncekinden daha kesin sonuçlar veren ölçümler yaptı. Bu da COBE ile yakından çalışmasını sağladı. COBE bu konuda çığır açmıştı: Bu uydudan önce kozmolojideki neredeyse hiçbir şey yarı yarıyadan daha büyük bir kesinlikle bilinemiyordu. Ancak COBE'den sonra kesin ölçümler birbirini izledi. Verilerin yüzde birkaçıyla bile çelişen birçok teori art arda geçersiz kabul ediliyordu.

COBE'nin ana deneylerinden biri, arka plan ışımasının spektrumunu ölçmek için tasarlanan Uzak Kızılötesi Mutlak Spektrofotometre (Far Infrared Absolute Spectrophotometer - FIRAS) oldu. Büyük patlama teorisine göre bu spektrum, Max Planck'ın sıcak bir cismin ışımasını tanımlamak için ışığın nicelenmesi gerektiğini ileri sürerken öngördüğü Planck spektrumu olmalıydı. Arka plan ışıması, genişleme başladıktan dört yüz bin yıl sonra, sıcaklık birkaç bin dereceye düştüğünde erken evrendeki sıcak plazma tarafından yayılıyordu. O zamanlar ışıma kırmızı bir ışık halindeydi. Bir kez salındıktan sonra ışıma, uzayda yol alırken bin kat uzadı; bugün de enerjinin çoğu birkaç milimetrelik dalgaboylarında taşınır. Işımanın günümüzdeki spektrumu, sıcak bir cismin birkaç Kelvin derecedeki spektrumuyla aynıdır. Bu ölçümleri yapabilmek için FIRAS gökyüzünü, sıcaklığı gökyüzününkiyle aynı olması için ayarlanmış, tamamen siyah bir iç oyukla karşılaştırdı.

Wilkinson ölçülen spektrumla ilgili slaytlar gösterirken "Şimdi gözlerinizi yaşartacak bir olay geliyor," demişti. Dinleyiciler nefeslerini tuttu. Veriler gerçek olamayacak kadar iyiydi. On dakikalık bir veri gösteriminden sonra, gökyüzünden gelen ölçümlerin Planck spektrumuyla birebir uyumlu olduğu görüldü. FIRAS'ın görevi boyunca ölçtüğü her ışıma frekansının yoğunluğu, Planck spektrumuna yüz binde birden daha az bir sapmayla uymuştu ve gökyüzünün sıcaklığı da 2,725 Kelvin derece ölçülmüştü. Ölçümler olabilecek en ikna edici şekilde gösterdi ki, Büyük Patlama'dan arta kalan ışımayla dolu bir evrende yaşıyoruz.

Ne düşündüğümü hatırlıyorum. "Vay be! Bütün evren bize bakıp tek bir şey söylüyor: 'Kuantum mekaniği, kuantum mekaniği, kuantum mekaniği.'"

COBE'NİN SÖYLEYECEKLERİ BİTMEMİŞTİ. Ölçümleri kuantum mekaniğinin yalnızca kozmik ışımaya değil, evrenin yapısına da hâkim olduğunu gösteriyordu.

Penzias ve Wilson'ın keşfinden sonra Peebles gibi astrofizikçiler, galaksilerin ve diğer yapıların evrenin ilk safhalarındaki ufak yoğunluk değişimleriyle nasıl ortaya çıktığını anlamaya çalışıyordu. Einstein'ın denklemleri böyle değişimlerin zamanla nasıl büyüdüğünü öngörüyordu. Yoğunluğun daha yüksek olduğu yerler daha yavaş genişliyordu ve kütleçekimleri daha fazla kütleyi onlara doğru çekiyordu. Düşük yoğunluklu yerlerse daha hızlı genişliyor ve boşalıyordu. Bu şekilde bakınca evrene şeklini veren; gezegenleri, yıldızları, galaksileri, galaksi kümelerini ve kozmostaki diğer tüm yapıları oluşturan şey kütleçekimiydi. Einstein'ın denklemlerini kullanarak bu oluşum sürecini geriye doğru takip etmemiz ve evrenin daha erken zamanlarda nasıl göründüğünü bulmamız mümkündür. Diğer bir ifadeyle bu denklemleri kullanarak kozmik evrimin kaynağına

gidebiliriz. Sonra da yoğunluk değişimlerinin, arka plan ışımasının sıcaklığında nasıl ortaya çıktığını çözebiliriz; ne de olsa hikâyesi gökyüzünde yazılı.

COBE uydusu, Diferansiyel Mikrodalga Radyometre (DMR) adı verilen bir deney daha gerçekleştirdi. Deney arka plan ışımasının sıcaklığındaki küçük farklılıkların taranması için tasarlanmıştı. Bu deneyin başaraştırmacısı Berkeley'deki California Üniversitesi'nden George Smoot'tu. Wilkinson gibi Smoot da kariyeri boyunca kozmik arka plan ışıması ölçümlerinde önde gelen isimlerden biriydi.

Smoot'la ilk kez 1991'de, İtalya'daki bir yaz okulunda tanıştım. Herkes COBE'nin DMR deneyinin gökyüzündeki sıcaklıkta herhangi bir değişim yakalayıp yakalamadığını merak ediyordu. Smoot derslerinde tekbiçimli mükemmel bir sıcaklık haritası gösterirdi. Ayrıca benimle soluk beyaz yamalara benzeyen ölçümlerin slaytlarını da paylaştı. Smoot o dönemde bu yamaların gerçek olup olmadığından emin değildi; deneyin yapay kalıntıları olabileceğine de ihtimal veriyor, teoriye pek güvenmiyordu: 1960'lardan beri kuramcılar, düzenli bir şekilde, beklenen sıcaklık değişimlerinin seviyesiyle ilgili öngörülerini küçültüyorlardı; binde birden on binde bire, yüz binde bire düşürmüşlerdi; bu da Smoot gibi deneycilerin saptamalarını zorlaştırıyordu.

Karanlık maddenin varlığına ilişkin kanıtların artması kuramcıların öngörülerini azaltmasının bir sebebiydi. Karanlık maddenin varlığı ilk kez 1930'larda, kümelerin içindeki galaksilerin çevresinde yörüngedeki başka galaksileri gözlemleyen İsviçreli astronom Fritz Zwicky tarafından ortaya atılmıştı. Galaksilerin yüksek hızı, ortada görünen yıldızların işaret ettiğinden daha fazla kütle olabileceği anlamına geliyor olabilirdi. 1970'lerde ABD'li gökbilimci Vera Rubin galaksilerin dış bölgelerinde benzer bir etkiyi gözlemledi: Yıldızlar yörüngele-

rinde o kadar hızlı hareket ediyordu ki onları tutan fazladan bir kütleçekim olmaması halinde galaksilerden çıkıp gitmeleri gerekirdi.

Karanlık madde, ışık veya sıradan maddeyle etkileşime girmeyen, bilinmeyen bir parçacık türünden oluşur ve bu parçacıkları görmenin tek yolu kütleçekimlerinde yatıyor olabilir. 1980'lerde gökbilimciler ışığın kütleçekim alanlarında bükülmesini inceleyerek karanlık maddenin varlığıyla ilgili daha fazla kanıt buldular. Suyun, içinden geçen ışığa yaptığı etkiye benzeyen bu etkiye "kütleçekimsel merceklenme" adı verilir. Su tamamen şeffaf olsa da orada olduğunu bilirsiniz; ne de olsa ışığı büker ve arkasında ne varsa görüntüsünü bozar. Eğer küvetteyken elinizi kaldırır da parmak uçlarınızdaki su damlacıklarına bakarsanız, her damlanın içinde banyonun bozulmuş bir resmini görürsünüz. Gökbilimciler de galaksi kümelerinin ardındaki uzak galaksilerin benzer şekilde bozulmuş görüntülerine rastladılar. Işığın nasıl büküldüğünü inceleyerek de karanlık maddenin kümeler içinde nasıl dağıldığını anlayabiliyordular.

Evrenin evriminde, fazladan kütleçekimi sağlayarak galaksilerin oluşmasına yardımcı olan karanlık madde oldukça önemli bir rol oynamış olmalıdır. Karanlık madde evrendeki diğer maddeyi bir arada tutarak birçok şekilde bir nevi kozmik bir belkemiği işlevi görür. Karanlık maddenin kütleçekimi, erken plazmada galaksilerin oluşması için gerekli en küçük yoğunluk değişimi seviyesini küçülttü ve yüz binde bire getirdi. Bundan daha küçük yoğunluk değişimlerinde galaksilerin nasıl oluşmuş olabileceğini anlamak çok güçtü. COBE bu kritik hassasiyet seviyesini yakaladığında, şu anki evrenimizin yapısını oluşturmuş olabilecek en küçük değişimleri de yakalamıştı.

Ne mutlu ki Smoot'un bana gösterdiği o soluk yamaların gerçek olduğu ortaya çıktı. Gökyüzündeki sıcaklık gerçekten de yüz binde bir oranında değişiklik gösterir. Bu gözlemler,

1982'de Cambridge'te katıldığım atölyede tartışılan enflasyon teorilerinin beklentilerine tamamen uyuyordu. On yıl sonra DMR'nin sonuçları açıklandığında, Stephen Hawking bunun 20. yüzyılın, hatta belki de tüm zamanların en büyük buluşu olduğunu söylemişti. Hawking'in yorumu biraz abartılı olsa da heyecanlanmak için geçerli çok neden vardı.

EVRENE YÖNELİK ÖLÇÜMLER daha isabetli oldukça ve hacmen büyüdükçe, görülebilir tüm evreni dev bir laboratuvar gibi kullanmak mümkün oldu. Büyük Patlama yapabileceğimiz en iyi yüksek enerji deneyidir. Çevremizdeki her şey gibi biz de onun birer sonucuyuz. Yani evrenin çok erken dönemlerini anlamak, en kısa mesafelerdeki ve en yüksek enerjilerdeki fiziği incelememize izin verir. Benzer bir şekilde, bugünün evrenine bakmak da en uzun mesafelerdeki ve çok düşük enerjilerdeki fiziği incelememize imkân tanır. Bu incelemeler sırasında kozmoloji 20. yüzyılın en büyük buluşlarından birini daha gerçekleştirdi. Bu keşfin ne anlama geldiği halen tam olarak anlaşılabilmiş değildir.

Einstein'ın ilk kozmolojik modelinden ve kozmolojik terimi nasıl içerdiğinden daha önce bahsetmiştim. Model başarısız olmuştu, ancak kozmolojik terim fikri kayda değerdi. Aslında bu konuda ısrar eden kişi, bunun Einstein'ın teorisine makul bir eklenti olduğunu ve evrende var olması beklenebilecek, basit ve özel bir madde gibi düşünülmesi gerektiğini savunan Lemaître'di. Daha sonra kozmolojik terimin, şu an "vakum enerjisi" adını verdiğimiz, birim uzay hacmi başına düşen enerji olduğu fark edildi. Enerjinin en basit haliydi; uzayda tamamen tekbiçimliydi ve her gözlemciye tamamen aynı şekilde görünüyordu.[20]

20. Teknik olarak bu, kozmolojik sabitin Lorentz değişmezi olan tek madde türü olduğu anlamına gelir.

Vakum enerjisi kütleçekimi içermeyen fiziksel süreçler için hiçbir değişiklik getirmez; yalnızca süreçlerde değişmeyen bir arka plan sağlar. Vakum enerjisini fark etmenin tek yolu kütleçekimidir; bunu yapmanın en iyi yolu da onun mümkün olan en büyük parçasına bakmaktır. Elimizdeki en büyük uzay parçası gözlemlenebilir evrenin kendisidir. Tüm bölgenin genişleme tarihine bakarak vakum enerjisinin kütleçekimini doğrudan ölçmeniz mümkündür.

1998'de Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden Brian Schmidt'in, Johns Hopkins'ten Adam Reiss'in ve Berkeley, California Üniversitesi'nden Saul Perlmutter'in önderlik ettiği uluslararası iki girişim olan Yüksek-Z Süpernova Arama Takımı ve Süpernova Kozmoloji Projesi, "süpernova" adı verilen yıldız patlamalarının (bu patlamalar o kadar parlak ki çok uzak galaksilerden bile gözlemlenebilir) parlaklığını ve gerileme hızını ölçtü. Ölçümlerinin sonucunda evrenin genişlemesinin hızlanmaya başladığını ve pozitif vakum enerjisine işaret ettiğini gördüler. Perlmutter, Reiss ve Schmidt bu buluşlarıyla 2011'de Nobel Ödülü'nü paylaştılar. Nobel Ödülleri'nin internet sitesindeki bir makale vakum enerjisinin itici etkisini şöyle açıklıyordu: "Havaya bir top attığınızı ve topun gözden kaybolana kadar hızlanmayı sürdürdüğünü düşünün."

Pozitif vakum enerjisinin bulunması evrenin yapısını çözme konusunda atılmış çok kritik bir adımdı. Günümüzde evrendeki toplam enerjinin %73'ünü vakum enerjisi oluşturur. %22'si karanlık maddeden, %5'i de atom ve parçacıklar gibi sıradan maddelerden oluşur. Radyasyonsa %1'lik bir kısmın çok küçük bir parçasını oluşturur. Karanlık madde, sıradan madde ve radyasyon erken evrende ufak dalgalanmalarla ortaya çıktı. Tüm ölçeklerde yüz binde birlik bir seviyedeydi; bu da galaksilerin oluşumunun tohumunu attı. Evrenin bu "uyum modeli" geçtiğimiz on yılda, neredeyse tüm gözlemlerle örtüştüğü için başarı

üstüne başarı elde etti. Bulunduğumuz yerden baktığımızda bu modelin ufkunu perdeleyen herhangi bir sis görünmüyor.

Şimdilik karanlık maddeyi ve vakum enerjisini nasıl kullanabileceğimiz hakkında bir fikrimiz yok. Ancak bir gün bize uzayda yolculuk yapmamız için ihtiyacımız olan yakıtı sağlayabileceğini düşünmek kulağa hoş geliyor. Aslında bakarsanız özel görelilik evreni keşfetmeyi göründüğünden çok daha kolay kılar. Lorentz daralması uzayda yolculuk yapanların, evreni görece kısa bir sürede geçebileceği anlamına gelir.

Bir uzay gemisinin Dünya'nın kütleçekiminden kurtulup bir *g*'de –yani Dünya'ya düşen bir cisimle aynı ivmede– yoluna devam ettiğini düşünün. Bu, uzayda yolculuk yapanların Dünya'daki yerçekimine denk, yapay bir kütleçekimi hissedecekleri anlamına geldiğinden son derece kullanışlı olacaktır. Bir yıl kadar sonra uzay gemisinin hızı ışık hızına yaklaşacak ve zaman ilerledikçe daha da yaklaşmayı sürdürecektir. Evren akıp gittikçe, Lorentz daralması nedeniyle hareket yönünde gitgide daha sıkışmış görünecektir. Uzayda seyahat edenlerin zamanıyla yalnızca 23 yıllık bir süre sonra uzayın görebildiğimiz bölümünü geçmiş olacaklardır. Tabii uzay gemisini yavaşlatıp çevreyi keşfetmeye başlayabilmek için de bir 23 yıl gerekecektir. Ve zaman genişlemesi nedeniyle de Dünya'da bu esnada milyarlarca yıl geçmiş olacaktır.

Bu arayışlar şimdilik çok uzakta görünüyor. Ancak tarih sürüp giden bir şeyse, sandığımızdan daha yakın olabilir.

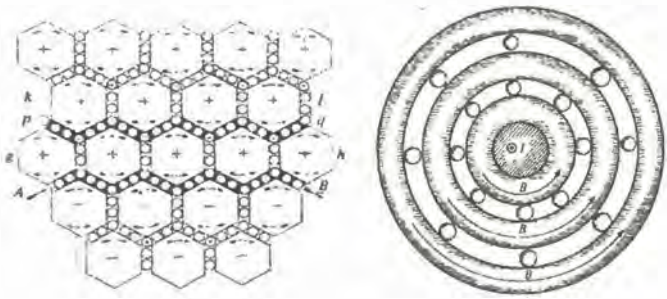
* * *



James Clerk Maxwell'in, İskoçya'nın Dumfries ve Galloway bölgesinde yer alan Glenlair'deki evi. Maxwell'in çocukluğunu geçirdiği bu ev ve çevresi, geleceğin biliminsanının dürtülerini henüz bir çocukken bile tetikliyordu. Bkz. s. 39-40.



Maxwell'in elektromanyetizma teorisiyle ortaya çıkardığı temel bir matematiksel kavram olan alan. Oklar alanın kuvvetini ve yönünü; gri çizgilerden oluşan sistem ise uzaydaki her noktanın koordinatlarını gösteriyor. Bkz. s. 45.



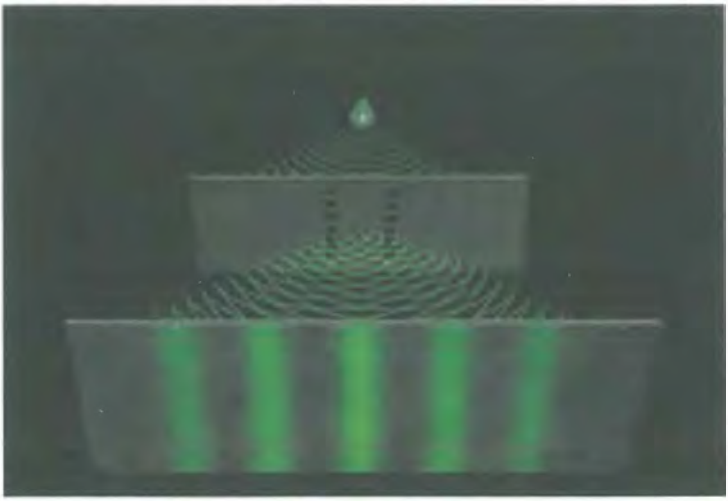
Maxwell'in manyetik alanları ve elektrik akımlarının mekanizmasını gösteren şemaları. Soldaki altıgen hücreler, bir manyetik alanı temsil eden "vorteksler"dir. Aralarındaki parçacıklar elektrik akımını taşır. Sağ tarafta ise teldeki bir akımın manyetik alanı görülür. Bkz. s. 47-48.



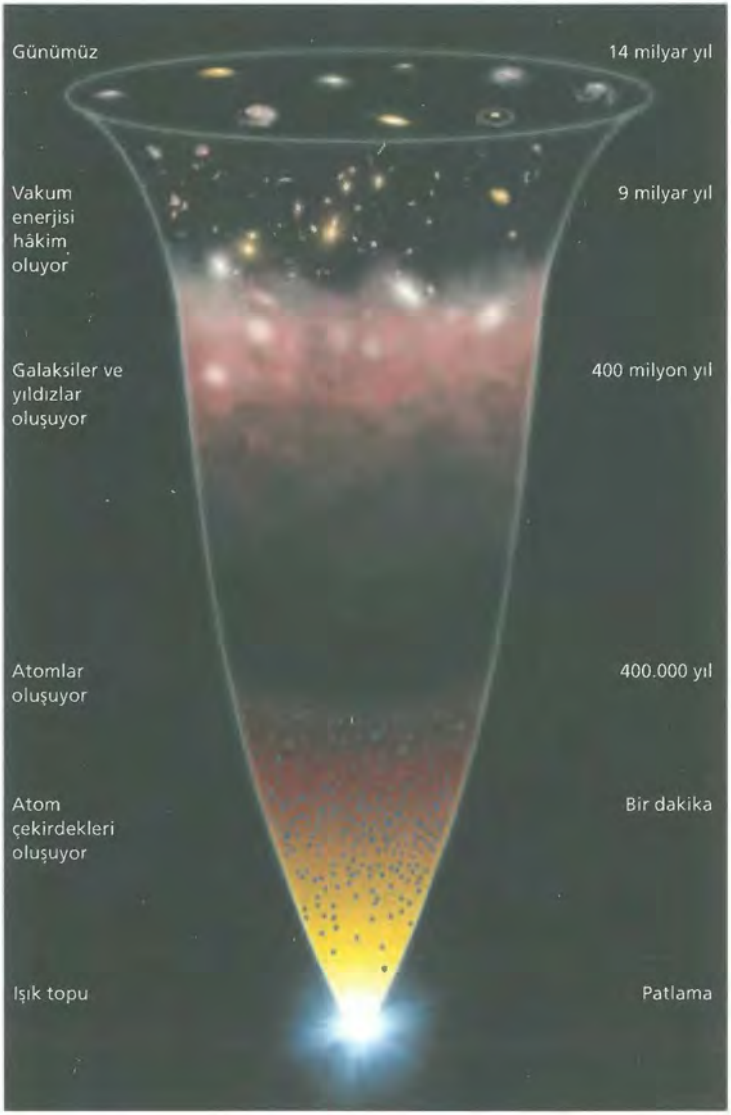
Raffaello'nun *Atina Okulu* adlı tablosu. Merkezdeki kemerin altında Platon (soldaki) ile Aristoteles (sağdaki) yer alır. Ortada, önde oturan, düşünen ve yazan Herakleitos vardır. Onun solunda ise Parmenides, Hypatia, Pythagoras ve Anaksimandros bulunur. Önde, sağda ise elinde pergeliyle Eukleides görülür. Bkz. s. 55-56.



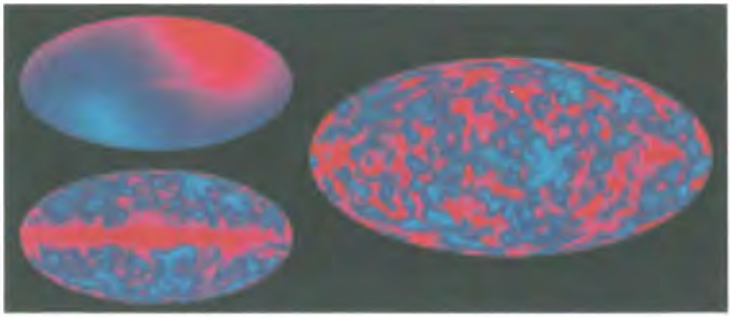
1927 yılında, klasik dünya algımızı yerle bir eden kuantum devriminin en hararetli döneminde düzenlenen Beşinci Uluslararası Solvay Konferansı. Bkz. s. 59-62.



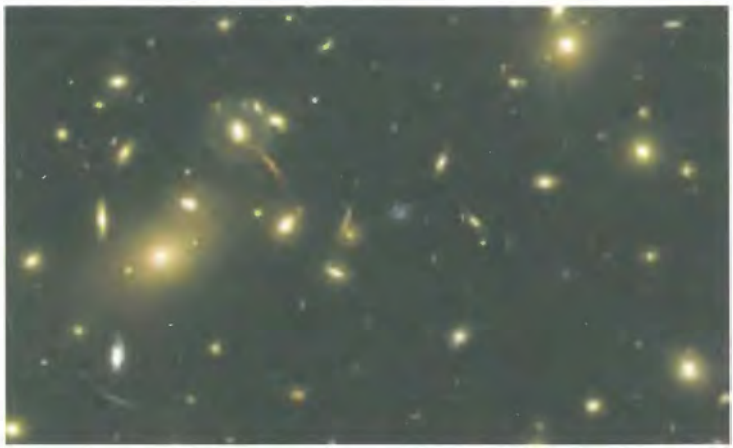
Çift yarık deneyi. Tek dalga boyunda bir ışık saçan bir lazerin (üstte) ışığı bir bölme üzerindeki iki yarıktan geçiyor (ortada). Yarıkların her birinden çıkan ışık dalgaları yayıldıkça girişim yapıyor ve perdede çizgili bir örüntü oluşturuyor (altta). Bkz. s. 78-79.



Evrenin bir bölgesinin büyük patlamadaki doğuşu. Bkz. s. 99-101.



Kozmik mikrodalga arka plan ışımasının, NASA'nın COBE uydusundaki Diferansiyel Mikrodalga Radyometre tarafından gökyüzü genelinde ölçülen ısısı. Sıcak alanlar kırmızı, soğuk alanlar ise maviyle gösteriliyor. Sol üstteki orijinal görsel, Dünya'nın hareketi nedeniyle oluşan asimetriyi gösteriyor. Görseldeki hareket etkisini çıkarınca sol alttaki, Samanyolu'nu ortadan geçen bir şerit olarak gösteren görüntü elde ediliyor. Galaksinin emisyonları da çıkarılınca, ezeli yoğunluk değişimlerini gösteren sağdaki görsel ortaya çıkıyor. Bkz. s. 124-126.



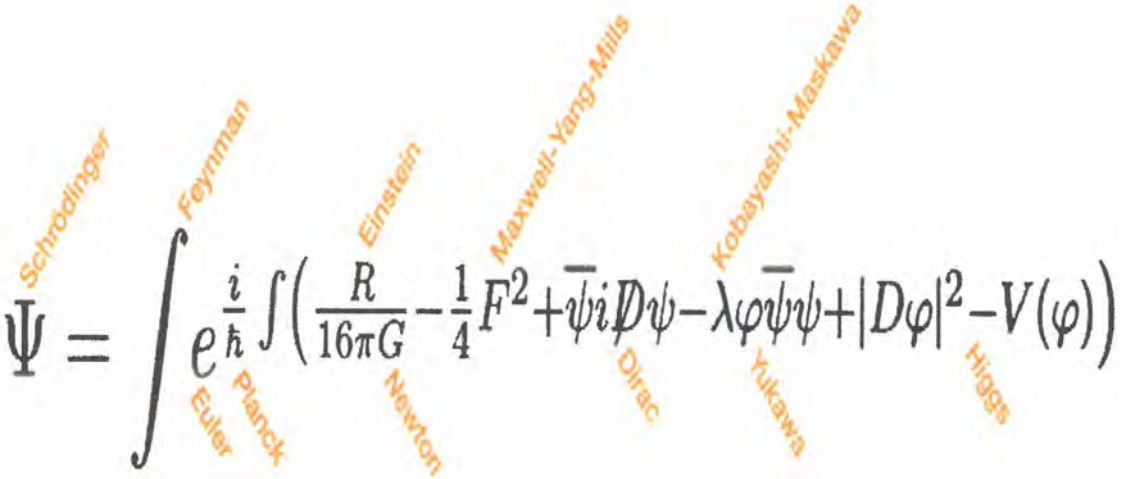
Abell 2218 olarak bilinen ve bizden iki milyar ışık yılı uzaklıktaki galaksi kümesi. Esnemiş ışık "kavisleri", kümenin ardında yer alan galaksilerin, öndeki galaksi kümesinin kütleçekim alanı tarafından bozulan görüntüleri. Bu bozulma, kütlenin küme içindeki dağılımını ölçmek için kullanılabiliyor: Görülebilen galaksilere, yıldızlara ve sıcak gaza ek olarak "karanlık maddenin" azımsanamayacak miktardaki varlığını da ortaya koyuyor. Bkz. s. 126-127.



Güney Afrika'nın Cape Town kentindeki Afrika Matematik Bilimleri Enstitüsü (AMBE).



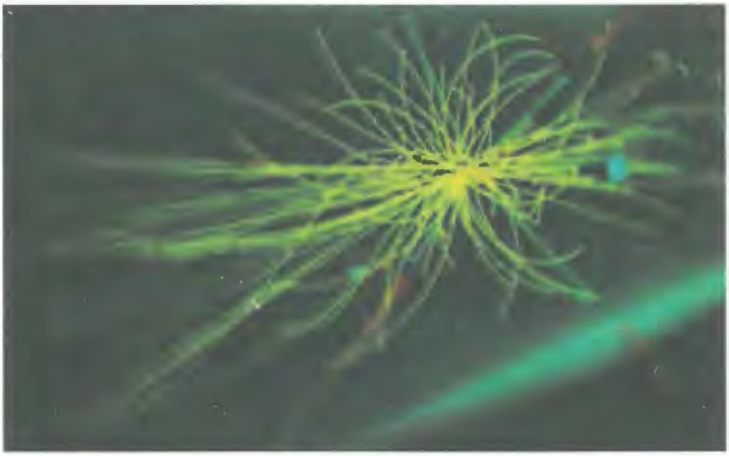
10 yıl içinde Afrika genelinde 15 AMBE merkezi açılmasını öngören *Geleceğin Einstein*'ı Girişimi'nin 2008 yılındaki açılışındaki çocuklar. Takım elbiseler içindeki iki adam NASA'nın başındaki isim olan Michael Griffin (soldaki) ve dönemin Güney Afrika Bilim ve Teknoloji Bakanı Mosibudi Mangena (sağdaki). Fotoğrafın ortasındaki başörtülü kadın ise girişime Sudan'dan katılan Esra. Önde, sağda yer alan Kamerunlu Yves. Bkz. s. 154-157.



Bilinen fizik kanunlarının tümünü özetleyen formül. Bkz. s. 159-170.



İsviçre, Cenevre'de yer alan CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın Atlas dedektörü. Bu devasa cihaz (platformdaki adamın boyutuna dikkat edin), merkezinde çarpışan iki parçacık ışımasının çevreye saçtığı parçacıkları saptayıp analiz etmekte kullanılıyor. Bkz. s. 165.



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda gerçekleşen ve Higgs bozonunun varlığını ortaya koyan tipik bir çarpışmanın tahmini görüntüsü. Bu buluş teorisyenlerin, Higgs alanının boşluğa nüfuz ettiğine dair yarım asır önceki öngörülerini doğrulamış oldu. Bkz. s. 165-166.

BAHSETTİĞİM KOZMOLOJİ TABLOSU oldukça başarılı oldu. Her yeni gözlemin kendine yer bulabildiği bu tablo, günümüzde evrendeki galaksilerin, yıldızların ve gezegenlerin oluşumuna dair birçok ayrıntılı araştırmaya temel oluşturur. Peki o zaman neden biz kuramcılar halen tatmin olmuş değiliz?

Daha önce de bahsettiğim gibi sorun şudur: Günümüzde enflasyon teorisinin işleyen modelleri 1982'de oldukları noktadan ileri gidebilmiş değil. Enflasyon modelleri enflasyondan hemen önce neler olduğunu ya da evrenin kozmik bir tekillikten nasıl doğduğunu açıklamaz; yalnızca evrenin bir şekilde doğup hemen enflasyon enerjisiyle dolduğu söylenir.

Birleşme hakkında daha fazla şey öğrendikçe, enflasyon modelleri de daha zorlama görünür. Evrenin enflasyonla başladığı savına ek olarak, modellerin parametreleri de eldeki verilere uymaları için oldukça küçük değerlere çekildi. Enflasyon modelleri açısından pek bir eksiğimiz yok, ne de olsa bu modellerden binlerce var. Sorun şu ki hepsi *ad hoc* modellerdir, üstelik içlerinden çoğunu diğerlerinden gözlem yoluyla ayırt etmenin pek yolu yoktur.

Varsayımlara göre, şişmeye başlayan ufak uzay parçası son derece yüksek yoğunluktaki enflasyon enerjisiyle doluydu. Enflasyon enerjisi, enflasyonun sonunda bir noktada çözünerek maddeye ve radyasyona dönüşecek. Ancak gerçekçi bir modelde, en sonda vakum enerjisinin çok küçük de olsa, bugün gördüklerimizi açıklayacak kalıntıları olmalıdır. Herhangi bir enflasyon modelinde akıllara şu soru gelebilir: Varsayılan enflasyon enerjisinin enflasyonun başlangıcındaki yoğunluğuyla günümüzde evrende ölçtüğümüz vakum enerjisinin yoğunluğu arasındaki oran nedir? İnanılmaz büyük, hatta genelde bir googol (kendinden sonra 100 tane sıfır olan 1) olan bir sayıya denk bu oran modelin tanımında karşımıza çıkmalıdır. Günümüzde bilinen her modelde bu sayı yalnızca tahmin edilir ya da henüz

anlamadığımız bir ilkeye uygun olara sayıları çok fazla olan modellerden alınır.

Her enflasyon modeli diğer tüm sorunlara ek olarak bir de bu ince ayarın zorluğundan mustariptir. Unutmayın ki enflasyon teorisi, Büyük Patlama'nın başlangıcındaki ışık topunun içinde bulunduğu ince ayarlı, tuhaf ve pürüzsüz koşulları açıklamak amacıyla bulunmuştu. Ancak şimdi enflasyon teorisinin ta kendisi, enflasyon enerjisinin nedensiz bir biçimde devasa bir değer aldığı, tuhaf ve yapay bir başlangıç koşuluna bağlıdır.

Enflasyon enerjisini tilt oyunundakine benzer, iyice gerilmiş bir yay gibi düşünün; topun mümkün olduğunca hızlı hareket etmesi için yayı elinizden geldiğince çok germeniz gerekir. Enflasyon için ihtiyacınız olan şey de buna benzerdir: Çok yüksek yoğunluktaki enflasyon enerjisinin, uzayın ufacık bir noktasında kuvvetli bir şekilde gerilmesi gerekir. Ancak kendi topunu kendi fırlatan bir tilt makinesine rastlama şansınız nedir? Yayın rastgele titreşimlerinin ve çevresindeki tüm hava moleküllerinin birleşip topu fırlatması imkânsız olmasa da hayli düşük bir ihtimaldir. Enflasyonu başlatmak için gerekli koşulların gerçekleşme ihtimaliyse çok daha düşüktür.

Enflasyonu başlatacak enerji miktarının çok büyük olmadığı bir gerçek; Guth da "bedava öğle yemeği" argümanında buna güvenir. Ancak enerji, böylesi bir enflasyon bölgesinin ne kadar uç noktada olduğunu ölçmek için pek de iyi bir yöntem değildir, çünkü uzay genişlerken enerji korunmaz; hele enflasyon sırasında hiç korunmaz. Enflasyonun başlangıç koşullarının ne kadar ender olduğunu ölçmenin bilinen bir yolu vardır: "Kütleçekimi entropisi". Kabaca açıklamak gerekirse, enflasyonun başlangıç koşullarına sahip olan ve genişleyen bir evren parçası bulmanın ne kadar olağandışı olduğunu anlamaya yarar. Cevapsa, enflasyonun başlangıç koşullarının gerçekleşmesi ihtimalinin 1'e karşı 10 üzeri 10 üzeri 120 olmasıdır. Bu aşırı

küçük bir olasılıktır ve enflasyon varsayımı için de ciddi bir sorun anlamına gelir.

Enflasyon için gerekli koşulları tanımlamak için yapılan en ciddi girişimin arkasında James Hartle ve Stephen Hawking yer alır. Düşüncelerini Rus kozmolog Alexander Vilenkin'inkilerin üzerine kuran ikili, enflasyon enerjisi itici olduğu için evrenlerin tekillikten kaçınabileceğini fark etti. Evrenin kavisli olduğunu ve uzayın küçük, üç boyutlu bir kürenin şeklini aldığını düşündüler ve enflasyon enerjisiyle dolduğu takdirde böyle bir evrenin statik bir koşulda, herhangi bir zamanda başlayabileceğini gösterdiler. Zamanı geriye doğru da izleseniz, ileriye doğru da izleseniz evren katlanarak büyüyecektir. Yani evrenin durağan olduğu anın çok öncesinden başlayarak zamanı izlerseniz, evrenin önce hızla küçüleceğini, sonra da bu büzülmeden genişlemeye doğru "sıçrayacağını" görürdünüz.

Bu etki tıpkı seken bir topu andırır. Topun sekme anındaki, zemine doğru ezilmiş haliyle başlayan bir film izlediğinizi düşünün. Zaman ilerledikçe top kendini zeminden yukarı doğru itecek ve tekrar küre halini alacaktır. Şimdi de yine aynı andan başlayacak şekilde filmi geriye doğru izlediğinizi düşünün. Hiçbir fark göremezsiniz. Zaman tersine çevrildiğinde fizik kanunları değişmez: İleriye giden top tıpkı geriye giden top gibi hareket edecektir. Filmi sekme anından çok önce başlayarak gösterseler, topun küre şeklinde olduğunu, sonra zeminden sekerken ezildiğini, ardından yukarı doğru sekip eski halini aldığını görürsünüz.

Vilenkin'in izinden giden Hartle ve Hawking önceki bölümde açıkladığım ve güçlü bir matematiksel hile olan hayali zamanı kullanırlar. Hawking bu yöntemi kara delikler üzerinde başarıyla kullanarak kara deliklerin düşük ısıda olduğunu ve "Hawking radyasyonu" adı verilen bir ışıma yaydığını göstermişti. Bu kez Hartle'la birlikte bu hileyi evrenin başlangıcına uygulamayı

deniyordu. Eğer zamanı geriye, topun sıçramasına doğru takip ederseniz, hayali sayı *i*'yi kullanarak zamanı uzayın başka bir boyutuna çevirebilirsiniz. Şimdiyse uzayın dört boyutunu kullandığınızda evrenin geometrisinin hiçbir tekillik olmadan kolayca "yuvarlanabildiği" anlaşılıyordu. Hartle ve Hawking bu düşünceye "sınırsızlık" önermesi adını verdi, çünkü çizdikleri tabloda evren başlangıçta, tıpkı bir kürenin yüzeyi gibi sınırları olmayan dört boyutlu kapalı bir yüzey halindeydi. Bu düşünce özünde Lemaître'in "İlk Atom" önermesini anımsatır.

1996'da Cambridge'e geçtiğimde, Hawking ve bazı doktora öğrencilerimizle birlikte Hartle-Hawking önermesinin genel enflasyon teorileri hakkındaki öngörülerini geliştirmek için çalıştık. Hayali zaman bölgesindeki evrenin, bu gibi teorilerde genellikle deforme bir dört boyutlu küre olarak tanımlanabileceğini gösterdik. Bu yapı "Hawking-Turok instantonu" olarak bilinir. Görünüşe göre bu bölgedeki tüm gözlemlenebilir nicelikleri düzenleyebilir, sonra onları "sıçrama" anına doğru, sonra da normal, genişleyen uzayzaman bölgesine doğru, ileri takip edebilirsiniz. Bu nicelikler gözlemcilerin ne göreceğini bu bölgede belirler.

Hartle-Hawking önermesinin güzel bir özelliği de fizik kanunları için keyfi bir başlangıç koşulu belirlemeye çalışmamasıdır. Bunun yerine kanunlar kendi kuantum başlangıç noktalarını belirler. Hartle-Hawking önerisine göre evren, *herhangi* bir değerdeki enflasyon enerjisi ile başlayabilir. Hartle-Hawking önerisi, bu başlangıç noktalarının her birinin olasılığını öngörür. Bu hesaplama daha önce bahsettiğim kütleçekimi entropisinin tahminiyle örtüşür: Enflasyonun gerçekçi başlangıç koşullarının oluşma olasılığı yaklaşık 10 üzeri 10 üzeri 120'de 1'dir. Şu ana kadar açık ara en olası başlangıç noktası, enflasyon enerjisinin olası en küçük değere, yani günümüzün vakum enerjisine sahip olduğu noktadır. Bu noktada enflasyon süreci,

madde veya radyasyon olmazdı. Hartle ve Hawking'in önerisi harika bir teoridir, ancak en azından en düz şekilde yorumlandığında boş bir evren öngörür.

Hartle, Hawking ve Leuven Üniversitesi'nden birlikte çalıştıkları Thomas Hertog bu öngörüden "antropik ilkeyi" kullanarak kaçınmayı önerir. Bu ilkeye göre evrenler, galaksi ve yaşam oluşturma becerilerine göre seçilir.

Çevremizdeki evrenin özelliklerinin bir bakıma biz burada olduğumuz için "seçilmiş" olması yeni bir düşünce değildir. Teorinin, evrenin spesifik gözlemlenebilir özelliklerini açıklamakta zorlanmasıyla antropik ilke daha da popülerleşti. Ancak sorun şu ki antropik argümanlar belirsizdir: Onları anlamlı kılmak için bir olası evrenler kümesi teorisine ve bizim bunlardan birinde konumlanmış olduğumuza dair kesin koşullara ihtiyaç vardır. Bu gereksinimlerden hiçbiri karşılanmaya yakın değildir. Yine de Hartle, Hawking ve Hertog'a göre *a priori* boş bir evren en büyük olasılık olsa da, antropik ilkeyle desteklenmiş Hartle-Hawking önerisinin öngörüleri bizim gözlemlediğimiz şeylerle tutarlıdır. Prensipte böyle bir argümana hiçbir itirazım yok, yeter ki ayakları yere bassın.

Oysa böyle bir kurulumda, bizimki gibi gerçekçi bir evren 10 üzeri 10 üzeri 120'de 1 (önceden bahsettiğimiz çok küçük sayı) gibi küçücük bir *a priori* olasılığa sahiptir. Antropik seçilimin diğer olası evrenlerin *tümünü* elemesi gerekir, bu da oldukça zor bir iştir. Bizim galaksimizin tek ve boş uzayla çevrili olduğu bir evren, bizi taşımaya oldukça yeterli görünür. Ve Hartle-Hawking önerisine göre gözlemlediğimiz, galaksilerle dolup taşan evrenden çok daha olası bir evrendir bu (Hartle, Hawking ve Hertog tartışmalarına böyle bir evreni katmama kararı vermiş). Hartle-Hawking önerisinde olduğu gibi *a priori* olasılıklar bizimki gibi bir evrenden yana olmadığında antropik argümanlar günü kurtarmaya yetmezmiş gibi gelir bana.

BİZİMKİ GİBİ BİR EVRENİ *A PRIORI* öngörürken antropik seçilimden medet ummayan bir teori çok daha makbul olacaktır. Antropik seçilim Hartle ve Hawking'in (bana çok da olası gelmeyen) teorisini kurtarabilse bile, antropik olmayan teori istatistiksel olarak (10 üzeri 10 üzeri 120'e karşı bir oranında) antropik teoriden daha olasıdır.

Geçtiğimiz on yıl içerisinde Princeton Üniversitesi'nden Paul Steinhardt ve diğer isimlerle birlikte, enflasyona alternatif olarak bu gibi teorileri geliştirmeyi denedim. Başlangıç noktamız Büyük Patlama tekilliğini çözmeye çalışmaktı. Ya bu tekillik zamanın başlangıcı değil de Büyük Patlama öncesi evrene açılan bir kapıysa? Bu tekillikten önce bizimki gibi bir evren varsa, bu evren başlangıçtaki ışık topunu doğrudan meydana getirmiş olabilir mi? Eğer durum buysa enflasyon dönemine gerek kalır mı?

Günümüzde evrenin çoğu, oldukça düzgün ve milimetrik ölçekte tekbiçimlidir ve bunun neden böyle olduğunu anlamakta zorluk çekmeyiz. Madde ve radyasyon uzaya yayılma eğilimindedir; vakum enerjisi ise zaten tekbiçimlidir. Kendi evrenimizin gelecekteki halini hayal edelim. Galaksiler ve tüm radyasyon genişlemeden dolayı seyrelecek; evren vakum enerjisinin hâkim olduğu soğuk, boş bir yer olacak. Şimdi bir nedenden ötürü vakum enerjisinin mutlak şekilde istikrarlı olmadığını düşünün. On milyarlarca yıl sürecek şekilde yavaşça çözünmeye başlayabilir. Evrenin bu şekilde gittikçe küçüldüğü ve en sonunda negatife geçtiği bir çöküşle ilgili matematiksel modelleri kolayca oluşturabiliriz. İtici kütleçekimi artık çekmeye, evren de çökmeye başlar.

Bu düşünce üzerinde çalıştığımızda, kararsız haldeki enerjinin basıncının büyüyeceğini, pozitif değere çıkacağını ve çabucak her şeye hâkim olacağını gördük. Bu büyük pozitif basınç çökmekte olan evreni hızla pürüzsüz ve düz bir hale getirecek; evren küçülerek sıfır boyutuna ulaştığındaysa bir tekillik orta-

ya çıkacaktır. Sonra da akla yatkın olarak evren "geri sekecek", radyasyonla dolacak ve tekrar genişlemeye başlayacaktır. Aslında bu geri sekmeden hemen sonraki koşullar, bizim şu milimetrelik ışık topumuzunkilerle, yani Büyük Patlama'yı açıklayan koşullarla aynıdır.

Şaşırtıcı olan, istikrarsız vakum enerjisinin yol açtığı çöküş sırasında yüksek basınçlı maddenin, tam da gözlemlerle uyuşacak şekilde kuantum varyasyonları oluşturmasıdır. Yani bu tabloda da enflasyon teorisinin başarılı sonuçlarını üstelik başlangıçtaki enflasyon koşullarına ihtiyaç duymadan tekrar üretebiliriz.

Bizim senaryomuz Büyük Patlama tekilliğini açıklama konusunda çok daha iddialıdır. Denemelerimizi M teorisinin üzerine kurduk; bütün fizik kanunlarını birleştirmeyi deneyen, ümit veren ancak halen geliştirilme aşamasında bir teoridir bu. M teorisi fizikteki en matematiksel teoridir. Bu teoriyi burada anlatmayı denemeyeceğim bile.

Einstein evreni tanımlamak için kavisli uzay matematiğini kullanmıştı. M teorisi evrenin *içindeki* her şeyi tanımlamak için aynı matematiği kullanır. Örneğin M teorisinin bir parçası olan sicim kuramı, daha çok boyuta sahip bir uzayda hareket eden tek boyutlu evrenler kümesini (sicimin parçalarını) tarif eder. Bazı sicimler foton, gluon veya graviton gibi güç taşıyıcı parçacıkları; bazılarıysa elektron, kuark veya nötrino gibi madde parçacıklarını tanımlar. M teorisi sicimlerin yanı sıra "zar" adı verilen iki boyutlu evrenleri (sonsuz incelikte bir tabaka gibi), "3-zar" adı verilen üç boyutlu evrenleri vs. de içerir. M teorisine göre bütün bu küçük evrelerin tümü 10 uzay boyutlu ve 1 zaman boyutlu bir evrenin içinde yer alır ve bu evren gördüğümüz her şeyi içerecek kadar zengindir.

M teorisinin en iyi güncel versiyonlarında on uzay boyutunun üçü –uzayın bilindik boyutları– oldukça geniş, geri kalan yedisi ise oldukça küçüktür. Altı tanesi, büyüklüğü ve şekli

düşük enerjilerde gördüğümüz kuvvet ve parçacıkların örüntüsünü belirleyen ufacık bir topun içinde kıvrılmış durumdadır. Aralarında en gizemlisi olan ve "M teorisi boyutu" olarak bilinen yedinci boyut ise paralel iki tane üç boyutlu dünya arasındaki ufacık bir boşluktur.

Bizim çalışmalarımıza kadar, günümüzdeki parçacık fiziğinin kanunlarını açıklamak isteyen birçok M teorisyeni bütün bu ekstra, gizli uzay boyutlarının durağan olduğunu varsaymıştı. Bizim getirdiğimiz yeni öngörü ise bu ekstra boyutların Büyük Patlama yakınlarında değişebilir olduğu ve çok boyutlu ortamın Büyük Patlama tekilliğini yeni bir ışıkta görmemizi sağlayacağı yönündeydi.

Bulduğumuz şey şuydu: M teorisine göre Büyük Patlama, M teorisi boyutunun sonundaki iki tane üç boyutlu evrenin çarpışmasından ibaretti. Bu dünyalar çarpıştığında küçülerek bir nokta halini almadı; M teorisinin bakış açısına göre bu üç boyutlu dünyalar, birbirine doğru yol alan iki paralel dev plaka gibiydi. Çalışmamız gösterdi ki M teorisinin içinde, ne Büyük Patlama tekilliği ilk başta görüldüğü kadar tekildi ne de maddenin yoğunluğu ve radyasyon gibi birçok fiziksel nicelik sonsuzdu.

Yakın zamanda, evrenin tekilliğin içinden nasıl geçtiğini açıklayan, M teorisinin detaylarını temel almayan, oldukça güçlü başka bir yol keşfettik. Bu yöntem tıpkı Hartle ve Hawking'in uzayzamanın başlangıcını açıklarken kullandığı gibi hayali zaman hilesini kullanır. Ancak bizim hayali zamanı kullanma amacımız Büyük Patlama öncesindeki çöken evrenden bugün gördüğümüz, Büyük Patlama sonrasındaki genişleyen evrene geçerken tekilliğin çevresini dolaşmaktır. Bu sürecin tutarlı ve benzersiz bir açıklamasını ve Büyük Patlama öncesi evrene açılan yeni bir pencere bulmaya çok yakınız.

Evren tekillikten bir kez geçebildiyse, bu onun defalarca geçebileceği anlamına geliyor olabilir. Bu tabloyu, sonsuz sayıda

büyük patlamalardan oluşan döngüsel bir evren senaryosuna dönüştürdük. Evren her bir patlamadan sonra genişler ve sonra da çöker; her döngüde evrenin boyutu artar ve daha fazla madde ve radyasyon üretir. Bu evren tablosunda uzay ve zaman sonsuzdur; bir başlangıç veya bir son yoktur. Buna "sonsuz evren" adını verdik.[21] Döngüsel evren modeli, kendi evrimi içerisinde durulabilir ve geniş anlamda aynı evrimi defalarca tekrar edecek hale gelebilir. Bu durumda uzayın büyük çoğunluğu bugün gördüğümüz evrenin fiziksel özelliklerine sahip olacak, antropik argümanlara gerek kalmayacak ve teorik öngörüler de iyice netlik kazanacaktır.

TEMEL FİZİKTE BİR KURALDAN BAHSEDECEKSEK, buna "suç yanınıza kâr kalmaz" diyebiliriz. 20. yüzyılda kozmoloji Büyük Patlama tekilliğini yok saymak üzerine inşa edildi. Ancak tekillik teoride önemli bir kusur ortaya koyuyordu; bu ise yalnızca keyfi varsayımlarla görmezden gelinebiliyordu. Sonuç olarak varsayımlar sağlam temellere dayanmıyordu. Tekilliği görmezden gelmeye devam etmek boşa kürek çekiyor olma riskini beraberinde getirdi. Büyük Patlama tekilliği, evrenin nereden geldiğine dair elimizdeki en büyük ipucu olabilir. Döngüsel evren modeli üzerindeki çalışmalarımız gösterdi ki enflasyon modelinin başarılı olduğu her unsur, tekilliğin içinden hiçbir enflasyona maruz kalmadan geçen bir evrende de var olabilir.

Döngüsel ve enflasyonlu evren modelleri arasındaki rekabet kozmolojinin en temel sorularından birinin altını çizer: Evrenin başlangıcı var mıdır? Bu sorunun olası iki yanıtı vardır: Evet ya da hayır. Enflasyonlu ve döngüsel senaryolar her iki olasılık için örnekler sunar: Enflasyon teorisi üstel genişleme-

21. Bkz. Paul J. Steinhardt ve Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (Londra: Weidenfeld & Nicolson, 2007).

ye yol açan devasa bir patlamayı, döngüsel evren ise yavaş bir çökme sürecini varsayar. İki modelin de matematiksel olarak zayıf noktaları vardır ve doğru mu yoksa yanlış mı olduklarını zaman gösterecektir. İşin heyecan verici yanı iki modelin gözlemsel tahminlerinin, o kadar da uzak olmayan bir tarihte test edilebilecek olmasıdır.

Ben bu kitabı yazarken Avrupa Uzay Ajansı'nın Planck uydusu uzayın derinliklerinde, kozmik arka plan ışımasını daha önce görülmemiş bir kesinlikte ölçüyor. Enflasyonun evrende yoğunluk farklılıklarına nasıl yol açabileceğini daha önce anlatmıştım. Aynı mekanizma yani enflasyonlu genişleme patlaması ufak kütleçekim dalgalarını büyüterek uzayzamanda devasa, uzun dalgaboylu dalgalanmalara çevirebilir ve bu dalgalanmalar günümüzde saptanabilir. Planck uydusunun ana hedeflerinden biri, kozmik arka plan ışımasının ısısı ve polarizasyonu üzerindeki etkileri aracılığıyla bu çok uzun dalgaboylu kütleçekim dalgalarını saptamaktır. Bu etki, en basitleri de dahil olmak üzere birçok enflasyon modelinde gözlemlenebilecek kadar büyüktür.

Stephen Hawking tüm kariyeri boyunca iddiaya girmekten keyif aldı. Dikkati bir sorun etrafında toplamak ve insanları bunun üstüne düşünmeye sevketmek için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Cambridge'te döngüsel model üzerindeki ilk konuşmamı yaptığımda, bu modelin enflasyondan gözlemlenebilecek şekilde farklı olduğunun, çünkü enflasyonun aksine uzun dalgaboylu kütleçekim dalgaları *oluşturmadığının* altını çizmiştim. Stephen hemen benimle Planck uydusunun enflasyonun kütleçekim dalgalarını göreceğine dair iddiaya girdi. Hemen kabul ettim ve nesine iddiaya girdiğimizi sordum. Henüz şartlar üzerinde anlaşamadık, ancak Planck bulgularını açıklamadan önce anlaşacağız ki bu da 2013 gibi yakın bir tarihte olabilir.* Önde

* Einstein iddiayı kazanmıştır. –yhn

gelen bir diğer enflasyon teorisyeni olan, Stanford Üniversitesi'nden Eva Silverstein ile de benzer, ancak daha temkinli bir iddiaya girdik: Eğer o kazanırsa Kanada'da olduğum için ona bir çift buz pateni alacağım; eğer ben kazanırsam da o bana bir çift paten alacak; ne de olsa kendisi Californialı.

GEÇTİĞİMİZ BİNYILA BAKINCA evren hakkında böylesi derin soruların ele alındığı ve yanıtların nihayet ufukta göründüğü bir zamanda yaşadığımız için kendimizi ayrıcalıklı hissetmeliyiz. Antik Yunan'da günümüzdeki enflasyonlu-döngüsel evren çekişmesine işaret eden bir tartışma söz konusuydu. Eleali Parmenides, sonradan Platon'un da tekrarlayacağı bir düşünceye sahipti: Ona göre düşünceler gerçekti ve algılar birer yanılsamaydı (yani sonradan David Hume'un benimseyeceği fikirlerin tam tersi). Eğer düşünce gerçeklik ise, o zaman aklımızın aldığı her şey var olmalıydı. Parmenides'e göre var olmayan bir şeyi düşünmek için, önce o şeyin ta kendisini düşünmek gerekirdi ve bu nedenle de bir şeyin yoktan var olması mantıken imkânsızdı. Böylece bütün değişimlerin bir yanılgı olduğu düşüncesine vardı: Meydana gelen her şey zaten dünyanın içinde var olmalıydı. Bu, Hartle ve Hawking'in "sınırsızlık" önerisinin az çok isabetli bir tanımıdır. Önerilerinin öngörülerini çözümlemek için "hayali zaman" içinde; uzayzamanın en başındaki, meydana gelen her şeyin evrenin içinde var olduğu kuantum bölgesinde çalışmak ve öngörüleri gerçek zamana taşıyarak bunların günümüz gözlemleri için ne anlama geldiğini anlamak gerekiyor.

Öte yandan Ephesuslu Herakleitos, kendinden önceki Anaksimandros gibi tamamen zıt bir görüşe sahipti. Mottosu "her şey akar" idi: Ona göre dünya zıt eğilimlerin sürekli çatışması içinde var olur. Her şey değişir, hiçbir şey aynı kalmaz. Herakleitos'a göre felsefenin amacı hem toplumda hem de evrende her şeyin nasıl değiştiğini anlamaktı. Zeno'yla başlamak

üzere Stoacı filozoflar *ekpyrosis* kavramını geliştirdi. "Ateşten çıkan" anlamına gelen bu kavram, evrenin nasıl devasa bir yangınla başlayıp bittiğini, arada da normal bir evrim geçirdiğini açıklar. *Tanrıların Doğası* adlı eserinde Cicero şöyle der: "En nihayetinde bütün dünya yanıp kül olacak (...) ateşten başka bir şey kalmayacak ve hem bir canlı hem de bir tanrı olan ateş sayesinde yeni bir dünyanın ortaya çıkması ve evrenin tıpkı önceden olduğu gibi bir dengeye oturması mümkün olacak."[22] Antik Hindu kozmolojisinde de benzer fikirler yer alır ve bu fikirlere evrenin ayrıntılı döngüsel tarihi eşlik eder.

Ortaçağda Hıristiyanlık yayılıp da İncil'de anlatıldığı gibi bir "başlangıç" olduğu kavramı yayılınca, döngüsel evren düşüncesi rağbet görmez oldu. Yine de döngüsel evren fikri ara sıra belirmeye devam etti: Edgar Allan Poe "Eureka" adlı bir deneme kaleme aldı ve antik *ekpyrosis* fikrine benzer bir evren öne sürdü. Alman filozof Friedrich Nietzsche de tekrar eden bir evreni savundu. Nietzsche'ye göre zamanın sonu olamazdı ve yalnızca sınırlı bir sayıda olay gerçekleşebilirdi, dolayısıyla şu an var olan her şey ebediyen tekrar tekrar meydana gelmeliydi. Nietzsche'nin "ebedi tekrar" modeli 19. yüzyılın sonlarında rağbet gördü.

Aslında bakarsanız, Georges Lemaître "kuantum başlangıç" fikri üzerinde çalışırken bile Friedmann'ın dalgalanan kozmolojik çözümlerinden övgüyle bahsetmişti. 1933'te bu döngüsel modellerin "tartışmasız şairane bir çekiciliğe sahip olduğunu ve insanın aklına efsanevi anka kuşunu getirdiğini" yazmıştı.[23]

Bugün kozmolojideki devasa ilerlemelerin eşiğinde duruyoruz. Hem teori hem de gözlemler geçmişteki Büyük Patlama'yı ele alıyor ve bu patlamanın her şeyin başlangıcı mı olduğuna,

22. Cicero, *On the Nature of the Gods*, Kitap II, Bölüm 46, s. 171.
23. G. Lemaître, "L'Univers en expansion", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* A21 (1933), s. 51.

yoksa her biri bizimkine benzer bir evren yaratan bir patlamalar dizisinin sonuncusu mu olduğunu gösterecek. Günümüzde teori ve gözlemlerin odaklandığı bir diğer mesele, evrene hükmeden, gelecekte daha da güçlenmesi düşünülen ve büyük bir soru işareti olan vakum enerjisidir. Bu enerjiyi meydana getiren nedir? Ona erişebilir miyiz? Sonsuza dek var olacak mı? Sebep olduğu katlanarak büyüme, çevremizdeki tüm yıldız ve galaksileri seyrelterek boş, soğuk bir ebediyete mi yol açacak? Yoksa bir sonraki patlamaya vakum enerjisinin kendisi mi yol açacak? Bu sorular artık bilimin ve bilimsel gözlemin alanına

4*
TEK DENKLEMDE DÜNYA

"Eğer alçakgönüllüyseniz ve kabul etmeye hazırsanız, matematik elinizden tutacaktır. Pek çok kez yolumu kaybetmiş, ilerleyemez haldeyken yalnızca durdum ve matematiğin elimden tutmasını bekledim. Beni hiç beklemediğim bir yola soktu; önümde yeni bakış açılarının belirdiği, yepyeni alanlara götüren, çalışmaların temelinin atılabildiği, böylece çevrenin gözlemlenebildiği ve gelecekteki ilerlemelerin planlanabildiği bir yoldu bu."

Paul Dirac, 1975[1]

DÜNYADAKİ EN GÜÇLÜ RADYO teleskopu kullanan astronomlar, gökyüzündeki en parlak yıldızlardan biri olan ve yirmi beş ışık yılı uzaklıkta bulunan Vega'dan gelen şifreli bir mesaj saptarlar. Bu mesaj dünya dışı yaşamla tanışmak üzere beş kişiyi uzaya ışınlayacak bir makinenin yapım talimatlarını içermektedir. Hummalı bir uluslararası arayıştan sonra dünya liderleri beş temsilci seçerler. Bunların arasında, bilinen fiziği bütünüyle tek bir tabloda birleştiren süperbirleşim teorisini keşfederek yakın zamanda Nobel Ödülü'nü kazanan Nijeryalı muhteşem genç fizikçi Dr. Abonnema Eda da vardır.

1. Paul Dirac: Graham Farmelo, *Paul Dirac* içinde (New York: Basic Books, 2010), s. 435.

Bu, Carl Sagan'ın 1985'te yazdığı, daha sonra Jodie Foster'ın oynadığı bir filme uyarlanan *Mesaj* adlı romanın öyküsüdür. Amerikalı ünlü astronom Sagan, *Cosmos* adlı televizyon dizisi sayesinde bilimi geniş kitlelere yayan isimlerden biri oldu. Yarattığı roman kahramanı Eda ile Carl Sagan iki noktaya dikkat çekiyordu: Evrenin temel kanunlarını keşfetmek kültürleri aşan, küresel bir araştırmanın konusudur. Farklı ülkelerdeki birçok insan dünyanın nasıl işlediğiyle ilgili aynı soruların yanıtlarını merak eder. Ayrıca dehanın milliyeti yoktur.

GEÇTİĞİMİZ ON YILDA İKİLİ bir yaşam sürdüm. Bir yandan evrenin başlangıcının ve uzak geleceğinin resmini çizmeye çalışıyordum. Diğer yandan da özellikle gelişmekte olan ülkelerde gençlerin bilim dünyasına katılmalarının yolunun nasıl açılabileceğiyle ilgileniyordum.

Bu merakımın temeli kökenlerimin Afrika'ya dayanıyor olmasında yatıyor. Daha önce de anlattığım gibi, anne ve babamın Apartheid rejimine karşı çıktıkları için hapse atıldığı Güney Afrika'da dünyaya geldim. Onlar salıverildikten sonra, mülteci olarak önce Doğu Afrika'ya, ardından da İngiltere'ye gittik. On yedi yaşımdayken Güney Afrika'nın içindeki ufacık ülke Lesotho'daki bir misyoner okulunda ders vermek için bir yıllığına Afrika'ya geri döndüm. Lesotho dünyadaki en yoksul ülkelerden biridir; ülkedeki mevcut iş gücünün %80'i göçmen işçi olarak çoğu da sınırın ötesindeki madenlerde çalışır. Çalıştığım Makhakhe köyünde birçok harika insanı, potansiyeli yüksek ancak fırsatı olmayan çocukları tanıma fırsatım oldu. Ne kadar zeki ve yetenekli olursa olsunlar hiçbir zaman benim sahip olduğum olanaklara sahip olamayacaklardı. Madende memur olmak en büyük kariyer hayalleriydi.

Misyoner okulundaki öğrenciler oldukça hevesli, parlak çocuklardı. Ama aldıkları eğitim çoğunlukla ezbere dayalıydı:

Çarpım tablosunu ezberlemek, kara tahtaya yazılanları deftere kopyalamak ve zamanı gelince onları sınav kağıtlarında tekrar etmek... Kendi başlarına nasıl düşünecekleri veya nasıl akıl yürütecekleri konusunda fazla deneyimleri yoktu. Okul diploma alınması için gidilmesi gereken kısır bir kurumdu. Öğretmenler de böyle öğrenmişti ve sıkı disiplin ile düşük beklentilerden oluşan bir döngüye hizmet eder olmuşlardı.

Çocukları mümkün olduğunca dışarı çıkararak sınıfta işlediğimiz her şeyin gerçek dünyadaki karşılıklarını görmelerini istiyordum. Bir gün okul binasının yüksekliğini tahmin etmelerini istedim. Beklediğim şey duvara bir cetvel dayamaları, sonra da geri çekilip parmaklarıyla ölçüm yapıp duvarın yüksekliğini tahmin etmeleriydi. Ancak köyün en yoksul ailelerinden birinin oğlu olan ufak tefek bir çocuk eline bir tebeşir almış, yere bir şeyler çiziyordu. Biraz sinirlenip "Ne yapıyorsun? Okulun yüksekliğini tahmin etmen gerekiyor," dedim. "Bir tuğlanın boyunu ölçtüm. Sonra kaç tuğla olduğunu saydım ve şimdi de çarpıyorum," dedi. İtiraf etmeliyim ki bu benim aklıma gelmemişti!

Heyecanlı ve ilgili insanlar beni çok sık şaşırtır. Bir gün okulda futbol maçı izlerken izindeki bir madencinin yanına oturdum. Bana dönüp "Okuldayken yalnızca tek bir şeyi sevmiştim: Shakespeare," dedi. Ve sonra ezberinden birkaç satır okudu. Benzer birçok anım bana bu kıtanın ilerlemek için ihtiyaç duyduğu entelektüel gelişimin muazzam potansiyelini anlamamı sağladı.

Kilise karşı çıktığı için evrim müfredatta yer almıyordu, ancak biz yine de derslerde birçok kez tatmin edici bir şekilde evrimi tartıştık. Afrikalı çocukların çoğunun, *Homo sapiens*'in 200 bin yıl kadar önce Afrika'da ortaya çıktığını ve 50 bin ila 70 bin yıl önce Afrika'dan tüm dünyaya yayıldığını gösteren modern bilimsel çalışmalardan haberi yoktu. İnsanlığın, matematiğin, müziğin ve sanatın Afrika'da ortaya çıkmasından il-

ham alabileceklerini düşünüyordum. Genç Afrikalılar ise ileri atılan her adımın başka bir yerde gerçekleşmesi nedeniyle kendilerini yalnızca birer izleyici olarak görmeye alışmışlardı.

Apartheid'in 1994'te sona ermesinden sonra ailem Güney Afrika'ya dönebildi. Her ikisi de seçimlerde Nelson ve Winnie Mandela'yla birlikte Afrika Ulusal Kongresi'nin yeni parlamentosunun birer üyesi olmaya hak kazandı. Bana "Geri dönüp bir şekilde yardımcı olamaz mısın?" diyorlardı hep. O zamanlar kendi bilimsel kariyerime gömülmüştüm. Sonunda 2001'de Cambridge'teki pozisyonumdan ayrıldım ve ailemin yaşadığı yere yakın olan Cape Town Üniversitesi'ni ziyaret ettim. Zamanımın çoğunu döngüsel evren senaryosu benzeri yeni kozmolojik teoriler üzerinde harcıyordum. Ancak zaman ayırıp meslektaşlarımla da buluşup Afrika'nın bilimsel gelişimini nasıl hızlandırabileceğimizi konuşuyorduk.

Bu sohbetlerde Afrika'nın matematikteki yetersizliğinin önemli bir sorun olduğu ortaya çıktı. Ciddi bir mühendis, bilgisayar mühendisi ve istatistikçi açığı vardı; bu da endüstride yenilikler yapılmasını, daha doğrusu hükümetlerin sağlık, eğitim, sanayi, ulaşım ve doğal kaynaklar gibi konularda ayağı yere basan kararlar almasını zorlaştırıyordu. Afrika'daki ülkeler dış dünyaya çok bağımlıydı; hammadde ve işlenmemiş mallar ihraç ediyor ve imal edilmiş mallarla paketlenmiş gıda ithal ediyordu. Birçok Afrikalının hayatını değiştiren cep telefonlarının hiçbiri Afrika'da üretilmiyor. Eğer Afrika kendi kendine yeter bir hale gelecekse, dünyanın geri kalanına yetişmesini sağlayacak teknolojileri uyarlayacak veya icat edecek becerikli biliminsanı ve işgücü topluluğuna ihtiyacı olduğu açıktı.

Böylece kıtaya hizmet edebilecek, Afrika Matematik Bilimleri Enstitüsü (AMBE) adlı bir kurum oluşturma kararı aldık. Fikir oldukça basitti: Tüm Afrika'daki en parlak öğrencileri dünyanın en iyi öğretim üyeleriyle bir araya getirecektik, böy-

lece Afrika'nın önde gelen mezunları, matematiksel modelleme, veri analizi ve bilgisayar teknikleri öğrenecek, kendilerine güvenen düşünürlere ve sorun çözücülere dönüşecekti. Epidemiyoloji, kaynak ve iklim modellemeleri ve iletişim gibi Afrika'yı yakından ilgilendiren birçok alanda mümkün olduğunca çok kaynak sunacaktık, ancak aynı zamanda temel fizik ve matematik gibi temel konuları da işin içine katacaktık.

Her şeyden öte, mükemmellik ve Afrika'nın gelişimine adanmışlık ilkesiyle bir merkez oluşturmak istedik. Kurumun amacı, kapılarını açarak öğrencileri ilgi alanlarını keşfedip geliştirmek konusunda yüreklendirmek olacaktı. AMBE onlara, Afrika'nın gelişimine yardımcı olacak biliminsanları, teknoloji uzmanları, eğitimciler, danışmanlar ve mucitler olma yolunda yardımcı olacaktı.

Ailemin desteği ile kardeşlerim ve ben aile mirasımızın bir parçasıyla artık kullanılmayan, harabe halideki bir oteli satın aldık. Cape Town'un deniz kıyısındaki bir kenar mahallesinde, 1920'lerin *art deco* tarzında yapılmış, 80 odalı şık bir oteldi bu. Sonra Cambridge'teki meslektaşlarımın yardımıyla İngiltere'deki Cambridge ve Oxford üniversiteleri, Fransa'daki Orsay Üniversitesi'yle ve Cape Town'daki üç üniversiteyle ortaklık başlattık. Güney Afrikalı nükleer fizik profesörü Fritz Hahne enstitünün ilk direktörü olarak bize katıldı. Akademik meslektaşlarımın pek çoğunu üçer hafta ders vermeye ikna ettim ve akademik bağlantılarıma e-postalar göndererek ve Afrika'daki üniversitelere posterler asarak programımızı tüm kıtada duyurduk. On farklı ülkeden 28 öğrencinin katılımıyla 2003'te AMBE'yi açtık.

AMBE işe koyulduğunda bir deneydi. İnanç ve bağlılığımızla yola çıkmış olsak da enstitünün nasıl işe yarayacağı veya işe yarayıp yaramayacağı hakkında gerçekçi bir fikrimiz yoktu. Projeyi hayata geçiren kişilerin çoğu akademisyendi ve sıfırdan

bir kurum yaratma konusunda tecrübeleri yok denecek kadar azdı. Projeye katılan herkes için bu harika bir deneyim oldu. Fark ettik ki Afrika kadar çeşitlilik gösteren bir kıtanın tümünden öğrencileri alıp da dünyanın en iyi profesörleriyle aynı odaya koyarsanız ortaya kıvılcımlar saçılır.

Güney Afrika çoğunlukla beyazlardan oluşan büyük bir bilim topluluğuna sahiptir. Yerli akademisyenlerin çoğu bize "Bunu gerçekten yapmak istediğinize emin misiniz? Zamanınızın çoğunu temel eğitime harcamış olacaksınız. Öğrenciler temel hiçbir şeyi bilmeden gelmiş olacaklar," dedi. AMBE ne kadar da çabuk haksız çıkardı onları! Öğrenciler sahip olmadıkları temel bilgileri kuvvetli motivasyonlarıyla telafi etiiler. Birçok öğrenci yoksulluk, savaş veya aile fertlerini kaybetmek gibi olağanüstü zorluklarla baş etmek zorunda kalmıştı. Bu deneyimler onların hayatın ve AMBE'nin onlara sağladığı fırsatın değerini bilmelerini de sağladı. Hayatımda gördüğüm en sıkı çalışan öğrenciler onlardı ve dünya önlerinde durmuş kapılarını açıyor gibi hissediyorlardı.

Kamerun'un kalbinden, dokuz çocuklu çiftçi bir aileden gelen Yves'i ele alalım mesela. Ailenin içlerinden yalnızca birini üniversiteye göndermeye gücü yetmişti. Şanslı olan Yves'di; eline geçen fırsatın hakkını vermeye ve neler yapabileceğini kanıtlamaya hevesliydi. AMBE'den mezun olduktan sonra matematik doktorası yaptı. Bir süre sonra da yıllık Güney Afrika Matematik Cemiyeti Konferansı'nda en iyi doktora öğrencisi sunumu ödülünü aldı. Afrika'nın bir köyündeki yoksul bir aileden gelen birinin genç bir biliminsanına dönüşebilmesi ne büyük bir başarı ve ne kadar güçlü bir örnektir.

AMBE yalnızca 9 yılda 31 farklı Afrika ülkesinden neredeyse 450 öğrenci mezun etti. Bunların %30'u kadındı. Pek çoğunun geçmişi atlatılması zor olaylarla doluydu ve neredeyse tümü araştırmalarda, akademide, şirketlerde, endüstride ve

hükümette başarılı oldu. Onların başarı hikâyeleri önyargıları yıkma konusunda güçlü bir mesaj taşıyor ve sayısız gence ilham veriyor. Bir kıtanın geleceğine uygun maliyetli bir yatırım yapmanın daha iyi bir yolu başka ne olabilir?

Cape Town'da AMBE'yi kurduğumuz günden beri hayalimiz, tüm kıta boyunca üst düzey bilimsel eğitim sağlayacak bir merkezler ağı kurmaktı. Amacımız özellikle 15 tane AMBE merkezi açmaktı. Her biri bilim ve eğitim alanında pırlanta gibi geçlerin arzularında ve karşılarına çıkan fırsatlarda değişim yaratacak kıvılcımı ateşleyecekti.

2008'de "dünyayı değiştirecek bir dilekte" bulunmak üzere, Silikon Vadisi'ndeki değerli insanların bazılarıyla birlikte Kaliforniya'daki yıllık TED Konferansları'na katıldım. Benim dileğim "Afrika'daki bilimsel yeteneğin önündeki engelleri kaldırıp onu serbest bırakmak ve desteklemek, böylece ömrümüz sona ermeden Afrikalı bir Einstein'ı görmekti." Einstein'ın ismini böyle bir durumda kullanmak teorik bir fizikçinin kolayca yapabileceği bir şey değildi ve itiraf etmek gerekirse ben de biraz gergindim. Söylemeden önce beni çekinmeden eleştiren bazı meslektaşlarımın ağzını aramıştım. Ne mutlu ki bu konuda coşkudan başka bir duygu taşımıyorlardı. Bilim daha fazla Einstein'a –ve Afrika'nın katılımına– ihtiyaç duyuyor.

Sloganımızda Einstein'ın ismini kullanma fikri başka bir AMBE öğrencisinin aklına gelmişti. Batı Sudan'daki Darfur'dan gelen Esra'nın ailesi, on binlerce insanın hayatına mal olan ve milyonlarca insanı da göçe zorlayan soykırımdan çok çekmişti. Esra, AMBE'ye katılmadan önce Hartum Üniversitesi'nde fizik okuyordu. Ailesinin ve topluluğunun bariz sorunlarına rağmen bir şekilde neşeli kalmayı başarıyordu.

Bir akşam AMBE'de kozmoloji dersi veriyordum. Her zamanki gibi hararetli bir tartışma vardı. Bir noktada Einstein'ın

evren hakkındaki denklemini gösterdim; sonra da "Umarım bir gün aranızdan bir Einstein çıkar," dedim. Sonraki gün, olası bir bağışçı bizi ziyaret etti ve aralarında Esra'nın da olduğu birkaç öğrencimizden konuşma yapmalarını istedik. Esra kısa, dokunaklı konuşmasını şu sözlerle tamamladı: "Bir sonraki Einstein'ın Afrikalı olmasını istiyoruz." Birkaç hafta sonra TED tarafından aranıp bir dileğim olup olmadığı sorulduğunda ne yanıt vereceğimi kesinlikle biliyordum.

Modern toplum, bilim ve bilimsel düşünme yöntemleri üzerine kuruludur. Bunlar bizim en kıymetli varlıklarımız ve paylaşabileceğimiz en değerli şeylerdir. Öncelik mutlaka Afrikalı biliminsanlarının, matematikçilerin, mühendislerin, doktorların, teknoloji uzmanlarının, öğretmenlerin ve diğer yetenekli kişilerin yetiştirilmesine verilmelidir. Bu da üstten bakan bir tavırla değil, karşılıklı saygı ve gelişim ruhu içinde yapılmalıdır. Afrika'nın dünyadaki keşfedilmemiş en büyük bilimsel yetenek havuzu olduğunu görmemiz gerekir.

Genç Afrikalıları düşünsel başarıları hedeflemeleri konusunda yüreklendirirken, onlara ileri teknik becerilerin peşinden koşmaları için ihtiyaç duydukları cesaret ve motivasyonu da vermiş oluruz. Aralarından yalnızca biliminsanları değil, hükümetlerde yer alacak veya yeni şirketler kuracak olanlar; Afrikalı Gates'ler,[2] Brin'ler ve Page'ler[3] de çıkacak.

AMBE artık yıllık neredeyse 500 başvuru alıyor; mezunlarımız da biyolojik bilimlerden doğal kaynaklar ve maddeler bilimine, mühendisliğe, bilişim teknolojilerine ve matematiksel finansa kadar, aralarında matematiğin ve fiziğin de olduğu bir-

2. H. Weyl, "Emmy Noether", *Scripta Mathematica* 3 (1935), s. 201-220, Peter Roquette'in "Emmy Noether and Hermann Weyl" (2008) adlı, 10 Eylül 2006'da Almanya'nın Bielefeld kentindeki Hermann Weyl Konferansı'ndaki konuşmasının genişletilmiş metninden alıntı (bkz. http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~ci3/ weyl+noether.pdf, 22.).

3. Albert Einstein, "The Late Emmy Noether", *The New York Times* editörüne mektup, 4 Mayıs 1935'te yayımlanmıştır.

çok bilim alanında fark yaratmaya başladı. Arkalarında binlerce kişinin takip edeceği bir iz bırakıyorlar.

20. YÜZYIL BOYUNCA süperbirleşim teorisinin izini süren fizikçiler, bilinen tüm fiziği özetleyen, tek satırlık bir formül yarattılar. Başka bir ifadeyle dünyayı tek bir denkleme döktüler. Denklemin çoğu eskilere bir saygı duruşu olarak Yunanca yazıldı. Denklemin kalbinde Pythagorasçıların, onlardan da önce Sümerler ve Mısırlıların kullandığı matematik yatıyor.

Bu sihirli formülün en küçük atomaltı ölçekten tüm gözlemlenebilir evrene uzanan kapsamının ve kesinliğinin bilimin diğer hiçbir alanında eşi benzeri yok. Dünyanın her köşesinden birçok insanın görüş ve çalışmalarının birleştirilmesiyle çözülen bu formül, dünyanın anlaşılabilir, basit ve güçlü ilkeler üzerine kurulu olduğunu söyler bize. Ayrıca açıklayıcı bilginin yaratıcısı olan bizlerin bu rolünü de hatırlatır. Bizi günümüzde bulunduğumuz noktaya getiren ve geleceğimizi belirleyecek olan şey de bu yeteneğimizdir.

Evrendeki her atom, her molekül veya her ışık kuantumu bu sihirli formüle göre davranır. Fizik kanunlarının akıl almaz derecede güvenilir olması bilgisayarları, akıllı telefonları, interneti ve modern teknolojinin diğer bütün öğelerini yaratmamızı olanaklı kıldı. Ancak evren bir makine veya dijital bir bilgisayar değildir; tam olarak ne anlama geldiğini ve çıkarımlarını hâlâ keşfetmekte olduğumuz kuantum kanunları üzerine kuruludur. Bu kanunlara göre biz etkisiz birer izleyici değiliz. Tam tersine, ne göreceğimiz, neyi gözlemleyeceğimize dair kararımıza göre değişiriz. Kuantum fiziği, klasik fiziğin aksine işin içine özgür iradeyi dahil eder, ancak bunu henüz açıklayamıyoruz.

Denkleme en soldan, Schrödinger'in dalga fonksiyonu olan Ψ ile, yani *psi* olarak telaffuz edilen Yunan harfiyle başlayalım.

Dünyanın olası her hali bir sayıyla temsil edilir, bu sayı da Ψ kullanılarak elde edilir. Ancak sıradan bir sayı değildir bu; İkinci Bölüm'de bahsettiğimiz, -1'in karekökü olan gizemli *i* sayısını içerir. Bu gibi sayılara "karmaşık sayılar" adı verilir. Bunlar sayı saymak veya bir şeyler ölçmek için kullanmadığımız, alışılmadık sayılardır, ancak matematikte son derece önemlidir ve kuantum teorisinin iç işleyişinin merkezinde yer alır.

Bir karmaşık sayının bir bölümünü bir sıradan sayı, bir bölümünü de ne kadar *i*'ye sahip olduğunu belirten bir hayali sayı oluşturur. Pythagoras teorisi dik açılı bir üçgenin uzun kenarının karesinin, diğer iki kenarın karelerinin toplamına eşit olduğunu söyler. Benzer şekilde bir karmaşık sayının uzunluğunun karesi de sıradan ve hayali bölümlerinin karelerinin toplamına eşittir. Ψ'nin verdiği karmaşık sayının olasılığı da böyle hesaplanır. Bildiğimiz en eski matematik teoreminin kuantum fiziğinin temelinde yer alması da en erken matematikçilere bir saygı duruşu niteliğindedir.

Bir topun konumu veya bir elektronun spini gibi bir sistemin bir özelliğini ölçmeye kalktığımızda muhtemel sonuçlardan oluşan bir küme söz konusudur. Kuantum teorisi, Ψ dalga fonksiyonunu, her sonucun olasılığına Pythagoras teoremini kullanarak nasıl çevirebileceğimizi söyler. Kuantum teorisinin öngördüğü tek şey de budur. Büyük nesnelerin davranışını öngörmeye çalıştığımızda, olasılıklar genellikle büyük ölçüde tek bir sonuca işaret eder. Örneğin bir topu bıraktığınızda, kuantum teorisi neredeyse kesin olacak şekilde onun düşeceğini öngörür. Ancak ufacık bir atomaltı parçacığını bırakırsanız, konumu kısa süre içinde belirsizleşecektir. Kuantum teorisine göre, büyük parçacık kümeleri birlikteyken büyük ölçüde öngörülebilir şekilde hareket eder.

Denklemin sağında ince, uzun birer *S*'yi andıran iki tane tuhaf sembol yer alır. Bunlara integral sembolü adı verilir ve

her şeyi bir arada tutar. Büyük olan, dünyanın belirli bir duruma gelmesine etki edebilecek tüm olası geçmişlerin katkısını toplamanızı söyler. Örneğin, ufak parçacığımızın bir konuma gitmesine izin verirsek ve bir süre geçtikten sonra başka bir konuma ulaşma olasılığını bilmek istersek, iki konum arasında seyahat edebileceği tüm olası rotaları hesaba katmamız gerekir. İkinci noktaya doğru sabit bir hızda ve düz bir çizgide hareket edebilir veya Ay'ın etrafını dolaştıktan sonra da ikinci noktaya ulaşabilir. Bu olası yolların her biri nihai dalga fonksiyonuna, yani Ψ'ye katkıda bulunur. Başka bir ifadeyle dünyanın her bir olası geleceğe giden her bir olası yolu taramak gibi inanılmaz bir yeteneği vardır ve bunların her biri Ψ'ye katkıda bulunur. Kuantum fiziğinde "geçmişlerin toplamı" olarak bilinen bu formülleştirmeyi ABD'li fizikçi Richard Feynman buldu ve bilinen fiziğin tamamı için geçerli formülümüz de bu dilde yazıldı.

Peki her bir geçmişin katkısı nedir? Bu, büyük integral işaretinin, yani ∫'nin sağında yer alan terimlerin tümü tarafından belirlenir. Öncelikle 18. yüzyılda İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından bulunan *e* adlı sayıyı görürüz; *e*'nin değeri 2,71828... *e*'nin üssünü almak üstel büyümeyi simgeler; bu durum kültürdeki bakterilerin çoğalmasından bileşik faizdeki paranın hesaplanmasına veya Moore kanununa göre bilgisayarların gücünün hesaplanmasına kadar gerçek hayattaki birçok durum için kullanılır. Bu yolla vakum enerjisinin evrende yol açtığı büyüme bile açıklanır.

Ancak *e*'nin bu formüldeki işlevi çok daha zekicedir. Euler bazen "matematikteki en dikkate değer formül" olarak da anılan formülünü, cebir ve analizi geometriye bağlayarak buldu: Eğer *e*'nin hayali bir sayı –yani *i* çarpı sıradan bir sayı– derecesinden üssünü alırsanız, sıradan ve hayali bölümlerinin karelerinin toplamı bir olan karmaşık bir sayı elde edersiniz. Bu olgu kuantum teorisinde bütün olası sonuçların olasılıklarının

toplamının bir etmesini sağlar. Böylelikle kuantum teorisi cebri, analizi ve geometriyi olasılığa bağlar ve matematiğin tüm önemli alanlarını en temel doğa tanımımızla birleştirmiş olur.

Fiziğin tüm formülleri dahilinde, *e*'nin "eylem" adı verilen bir kombinasyonunda, bilinen fizik kurallarının tamamını içeren bir üssü alınır. Eylem küçük integral sembolüyle, yani ∫ ile başlayan bir niceliktir. Bu sembol, sağındaki altı terimin tümünü, Schrödinger'in dalga fonksiyonu Ψ'yi bulmak istediğiniz ana kadarki tüm uzay ve tüm zaman üzerinden toplamanız gerektiği anlamına gelir. Eylem de bir sıradan sayıdır, ancak dünyanın herhangi bir olası geçmişiyle bağlantılı bir sıradan sayıdır.

İkinci Bölüm'de gördüğümüz üzere, fizik kanunlarının bir eylem olarak formülü, 19. yüzyılın başlarında İrlandalı matematiksel fizikçi William Rowan Hamilton tarafından geliştirildi. Klasik fizik kanunları (eylem ile temsil edildikleri şekilde), hayali sayı i, Planck sabiti h ve Euler'in e sayısı hep birlikte kuantum dünyasını; ince uzun S'lerimiz ise kuantum dünyasının kâşif, bütüncül karakterini temsil eder. Keşke formülümüzün içine bakabilsek ve kuantumun tuhaf dünyasını, her birine bir olasılığın bağlı olduğu bir dizi sonuca indirgemek zorunda kalmadan, doğrudan deneyimleyebilsek; içeride yepyeni bir evren görebilirdik.

ŞİMDİ DE BİLİNEN tüm fizik kurallarını temsil eden altı terime göz atalım: Bunlar sırasıyla kütleçekimi kanunu, parçacık fiziğinin üç kuvveti, madde parçacıklarının tümü, madde parçacıkları için kütle terimi ve son olarak da Higgs alanı için iki terim.

İlk terimde, kütleçekimi Einstein'ın kütleçekimi kanununda da temel miktar olan uzayzamanın bükülmesiyle yani R ile gösterilir. Bir de Newton'un evrensel kütleçekimi sabiti olan G vardır. Temel fizikte Newton'ın orijinal hareket ve kütleçekimi kanunlarından geriye kalan tek şey budur.

İkinci terimde *F*, James Clark Maxwell'in elektrik ve manyetik alanları tanımlamak için kullandığına benzer alanları gösterir. Bu kısa ve öz notasyonda *F*, atom çekirdeklerini bir arada tutan güçlü nükleer kuvveti ve yıldızlardaki kimyasal elementlerin oluşumunu ve radyoaktivitesini belirleyen zayıf nükleer kuvveti de gösterir. Her ikisi de Maxwell'in teorisinin genellemesi kullanılarak tanımlanır. Bu genelleme 1950'lerde Çinli fizikçi Chen-Ning Yang ve ABD'li fizikçi Robert Mills tarafından geliştirildi. 1960'larda ABD'li fizikçiler Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg ile Pakistanlı fizikçi Abdus Salam zayıf nükleer kuvvet ile elektromanyetizmayı birleştirerek "elektrozayıf" teoriyi ortaya attılar. 1970'lerin başında Hollandalı fizikçi Gerard't Hooft ve doktora danışmanı Martinus Veltman, Yang-Mills kuantum teorisinin matematiksel tutarlılığını göstererek bu modellere büyük güç kazandırdılar. Bundan kısa bir süre sonra da ABD'li fizikçiler David J. Gross, H. David Politzer ve Frank Wilczek güçlü nükleer kuvvetin de Yang-Mills teorisinin farklı bir versiyonuyla tanımlanabileceğini gösterdiler.

Üçüncü terim ise 1928'de İngiliz fizikçi Paul Dirac tarafından keşfedildi. Göreliliği kuantum mekaniğiyle nasıl birleştirebileceği üzerine kafa yoran Dirac elektron gibi temel parçacıkları tanımlayan bir denklem keşfetti. Denklemin antimadde parçacıklarının varlığını öngördüğü de ortaya çıktı. Dirac denkleminin, tıpkı elektron gibi belirli bir kütleye ve elektriksel yüke sahip her bir parçacık için, tamamen aynı kütleye ancak zıt elektriksel yüke sahip başka bir parçacık daha öngördüğünü fark etti. Bu şaşırtıcı öngörü 1931'de ortaya atılmıştı; ertesi yıl da ABD'li fizikçi Carl D. Anderson denklemin öngördüğü özelliklere sahip pozitronu, yani elektronun antimadde eşini tespit etti.

Dirac'ın denklemi elektron, muon, taon, bunların nötrinoları ve altı farklı kuark çeşidi de dahil bilinen tüm madde parça-

cıklarını tanımlar. Bunların her birine tekabül eden birer antimadde parçacığı vardır. Bu parçacıklar ve antiparçacıklar ψ ile, yani Yunan harfi *psi*'nin küçük haliyle gösterilen Dirac alanının kuantumlarıdır. Eylemdeki Dirac terimi, bütün bu parçacıkların, güçlü ve elektrozayıf kuvvetler ve kütleçekimi aracılığıyla nasıl etkileşime geçtiğini de gösterir.

Dördüncü terim, Japon fizikçi Hideki Yukawa tarafından ortaya atıldı ve 1973'te Makoto Kobayashi ve Toshihide Maskawa tarafından ayrıntılı bir şekilde geliştirildi. Az sonra göreceğimiz gibi bu terim Dirac alanı ψ'yi Higgs alanı φ'ye bağlar. Yukawa-Kobayashi-Maskawa terimi bütün madde parçacıklarının kütlelerini nasıl elde ettiklerini tanımlar, ayrıca antimadde parçacıklarının, madde parçacığı denklerinin neden kusursuz birer kopyası olmadığını da güzelce açıklar.

Son olarak, Higgs alanı φ'yi, yani Yunan alfabesinde *fi* olarak telaffuz edilen küçük harfi tanımlayan iki terim bulunur. Higgs alanı elektrozayıf teoride önemli ve merkezi bir yer kaplar.

Parçacık teorisindeki kilit önemdeki fikirlerden biri de Maxwell-Yang-Mills teorisi veya Dirac'ın teorisiyle tanımlanan kuvvet taşıyıcı alanların veya madde parçacıklarının birkaç kopya halinde var olduğuna dayanır. 1960'ların başında, söz konusu kopyalar arasında farklılıklar yaratan ve onların farklı kütle ve yüklere sahip olmasına yol açan teorik bir mekanizma keşfedildi. İşte bu ünlü Higgs mekanizmasıydı. Bu mekanizma elektromanyetik alanların süperiletkenlerden dışarı atıldığı süperiletkenlik teorisinden ilham almıştı. ABD'li ünlü yoğun madde fizikçisi Philip Anderson bu mekanizmanın uzay boşluğunda işleyebileceğini öne sürdü. Daha sonra aralarında Belçikalı fizikçiler Robert Brout ve François Englert'in ve İngiliz fizikçi Peter Higgs'in de bulunduğu birkaç parçacık teorisyeni, bu fikri Einstein'ın görelilik teorisiyle birleştirdi. Bu fikir

daha sonra, doktora danışmanlarımdan biri olması ayrıcalığına eriştiğim İngiliz fizikçi Tom Kibble ve onunla birlikte çalışan ABD'li fizikçiler Gerald Guralink ve Carl Hagen tarafından daha da geliştirildi.

Glashow, Salam ve Weinberg'in teorisinin merkezinde Higgs mekanizması yer alır ve bu teoride elektrozayıf Higgs alanı φ, Maxwell'in elektromanyetik kuvvetini zayıf nükleer kuvvetten ayırır ve madde parçacıklarının temel kütlelerini ve yüklerini sabitler.

Son terim olan Higgs potansiyel enerjisi, yani $V(\varphi)$, uzaydaki her yerde, Higgs alanı φ'nin boşlukta belirli bir sabit değer almasını sağlar. Kütle ile kuvvet alanlarının kuantumları ve madde parçacıkları arasında bağlantıyı kuran şey bu değerdir. Higgs alanı aynı zamanda enerji kuantumu taşıyan dalgalar şeklinde (Maxwell'in teorisindeki elektromanyetik dalgalara benzer bir şekilde) de hareket edebilir. Bu kuantumlara "Higgs bozonu" adı verilir. Fotonların aksine bunlar geçici ve kısa ömürlüdür; çabucak bozunarak madde ve antimadde parçacıklarına dönüşür. Varlıkları, yakın bir tarihte Cenevre'deki CERN laboratuvarındaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda keşfedildi ve yarım yüzyıl önceki öngörülerin isabetliliği kanıtlanmış oldu.

Son olarak boşluktaki Higgs potansiyel enerjisi V'nin değeri, kozmologların yakın zamanda ölçmeyi başardığı uzay boşluğunun enerjisinin, yani vakum enerjisinin sabitlenmesinde de rol oynar.

Birlikte ele alındığında bu terimler "Parçacık Fiziğinin Standart Modeli" olarak bilinen şeyi tanımlar. Foton ve Higgs bozonu gibi kuvvet alanlarının kuantumlarına "kuvvet taşıyıcı parçacıklar" adı verilir. Farklı tüm spin halleri de dahil olmak üzere toplamda 30 farklı kuvvet taşıyıcı parçacık bulunur; bunlar fotonları (elektromanyetik alanın kuantumları), W ve Z bozonla-

rını (zayıf nükleer kuvvet alanının kuantumları), gluonları (güçlü kuvvetlerin kuantumları), gravitonları (kütleçekim alanının kuantumları) ve Higgs bozonunu (Higgs alanının kuantumları) içerir. Madde parçacıklarının tümü Dirac alanlarınca tanımlanır. Bütün spin ve antiparçacık halleri de hesaba katıldığında toplamda 90 farklı madde parçacığı bulunur. Yani bir bakıma Dirac'ın denklemi bilinen fiziğin dörtte üçünü tanımlar.

Yüksek lisansıma başladığımda, fizikle ilgili bildiğimiz her şeyi özetleyen bu tek satırlık formülü son derece heyecan verici bulmuştum. Prensipte evrende var olan her bir fiziksel sürece hükmeden kanunların tümünü temel bir seviyede anlamak için yapmanız gereken tek şey bu dilin ustası olmak ve nasıl hesap yapılacağını öğrenmektir.

* * *

FİZİĞİN BU KAYDA DEĞER BASİTLİKTEKİ TEK formülde nasıl birleştirildiğini merak edebilirsiniz. Bu formülün oluşmasına giden yoldaki en önemli fikirlerden biri de "simetri"dir. Fiziksel bir sistemin, içinde değişmediği dönüşüme sistemin "simetrisi" adı verilir. Örneğin bir saati nereye götürürseniz götürün aynı hızda çalışır, çünkü saatin mekanizmasına hükmeden kanunlar saatin nerede olduğuna göre değişiklik göstermez. Bu kanunların, saatin *uzaydaki* hareketinde bir simetriye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Aynı şekilde saati döndürürseniz de çalışması etkilenmeyecektir. Kanunların dönme hareketi açısından da bir simetriye sahip olduğu söylenebilir. Ve saat bugün, yarın ve dün veya şu andan bir saat sonra da aynı şekilde çalışıyorsa ona hükmeden kanunların *zamandaki* değişimlerde de bir simetriye sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Bu simetri fikirlerinin fizikte kendine yer bulması, 1915'te matematiksel fizikteki en önemli sonuçlardan birini keşfeden,

Emmy Noether adındaki olağanüstü bir kadına kadar uzanır. Noether zamandaki değişimlerden etkilenmeyen bir eylem tarafından tanımlanan herhangi bir sistemin, tıpkı çoğu fiziksel sistemde olduğu gibi otomatik olarak korunan bir enerjiye sahip olduğunu matematiksel olarak kanıtladı. Aynı şekilde birçok sistemde, sistemin uzayda nerede konumlandığı, sistemin evrimi açısından bir değişiklik yaratmaz. Noether'in gösterdiği şey böyle bir durumda korunan üç nicelik olduğuydu; bunlar da momentumun üç bileşeniydi ve sistemi değiştirmeden hareket ettirebileceğiniz üç yöne tekabül ediyordu: doğu-batı, kuzey-güney, aşağı-yukarı.

Bu nicelikler –enerji ve momentum– Newton'dan bu yana bilinir ve birçok pratik sorunu çözmekte oldukça kullanışlıdır. Örneğin enerji pek çok şekil alabilir: Kaynayan bir tencerede depolanmış ısı enerjisi, fırlatılmış bir topun kinetik enerjisi, bir duvarın tepesinde aşağı düşmeyi bekleyen bir topun potansiyel enerjisi, güneş ışığının taşıdığı radyasyon enerjisi, petrol veya doğalgazda depolanmış kimyasal enerji veya gerilmiş bir yaydaki elastik enerji. Ancak sistem dış dünyadan izole edildiği ve uzayzaman değişmediği sürece –ki Dünya'da yapılan herhangi bir gerçek deney için harika bir yaklaşımdır– toplam enerji miktarı aynı kalır.

Çarpışmaların sonuçlarını tanımlamak gibi durumlarda bir hayli kullanışlı bir diğer nicelik ise bir sistemin toplam momentumudur. Benzer şekilde, elektrik yükünü hareket ettirseniz de toplam miktarını hiçbir zaman değiştiremeyeceğinizi söyleyen Benjamin Franklin'in elektrik yükünün korunumu kanunu da Noether'in teoreminin bir başka sonucudur.

Emmy Noether'den önce hiç kimse bu niceliklerin *herhangi birinin* neden korunduğunu anlamamıştı. Noether'in fark ettiği şey basitti ancak bir o kadar da derindi: Korunum yasaları uzay, zaman ve fizik kanunlarındaki diğer basit bileşenlerin

matematiksel sonuçlarıydı. Noether'in düşüncesi güçlü, zayıf ve elektrozayıf kuvvetlerin teorilerinin geliştirilmesinde önemli bir nokta teşkil ediyordu. Örneğin elektrozayıf teoride bir elektronun bir nötrinoya dönüşebildiği (veya bunun tam tersinin gerçekleşebildiği) soyut bir simetri bulunur. Higgs alanı parçacıklar arasında bir ayrım yaparak simetriyi bozar.

Noether sıradışı bir kişilikti. Almanya'da doğmuş ve hem bir Yahudi hem de bir kadın olarak ayrımcılığa maruz kalmıştı. Babası kendi kendini yetiştirmiş bir matematikçiydi. Babasının ders verdiği Erlangen Üniversitesi'nin kapıları normalde kadınlara kapalıydı. Ancak Emmy'nin derslere katılmasına ve en sonunda da mezun olmasına izin verilmişti. Yazmakta zorlandığı (ve daha sonra alışılmış alçakgönüllülüğü ile "çöp" olarak nitelendirdiği) doktora tezinden sonra üniversitenin Matematik Enstitüsü'nde hiçbir ücret almadan dersler verdi.

Göttingen'de dönemin en ünlü matematikçilerinden bazılarının (David Hilbert, Felix Klein, Hermann Minkowski ve Hermann Weyl gibi isimlerin) verdiği seminerlere katıldı ve sahip olduğu büyük potansiyel fark edildi. Göttingen Üniversitesi'nin kadınlara yönelik kısıtlamaları kaldırılır kaldırılmaz Hilbert ve Klein, Noether'i burada ders vermesi için işe aldılar. Görevine, diğer profesörlerin büyük itirazlarına karşın –ve yine hiçbir ücret almadan– başladı ve kısa bir süre sonra, 1915'te ünlü teoremini keşfetti.

Noether'in teoremi yalnızca fiziğin enerji, momentum ve elektrik yükü gibi korunan temel niceliklerini açıklamakla kalmaz, bunun ötesine de geçer. Einstein'ın genel görelilik denklemlerinin, uzayın genişleyip enerjinin artık korunmadığı durumlarda bile nasıl tutarlı olduğunu gösterir. Örneğin bir önceki bölümde gördüğümüz gibi, vakum enerjisinin evrenin üstel büyümesini nasıl yönlendirdiğini, herhangi bir fizik kanununu çiğnemeden nasıl daha fazla enerji yaratabildiğini açıklar.

Noether korunan nicelikler ve kütleçekimi gibi daha genel durumlara dair açıklamalarını, klasik fizik bağlamında ve onun Hamilton'ın eylem ilkesinin dilindeki formülasyonu çerçevesinde yapmıştı. Feynman'ın geçmişler toplamı fikrinin de içerdiği kuantum etkilerinin, korunum kanunlarını tıpkı Noether'ın öngördüğü şekilde bozabileceğinin fark edilmesi için yarım yüzyıl geçmesi gerekti. Bu keşfi İrlandalı fizikçi John Bell ve ABD'li fizikçiler Steven Adler ile Roman Jackiw yaptılar.

Yine de doğada görülen kuvvetlerin ve parçacıkların örüntüsünün, Noether'in korunum kanunlarının varlığını sağlayan (ve teknik olarak "anomali iptali" olarak bilinen) çok hassas bir dengede olduğu anlaşıldı. Bu temel fiziğin muazzam birliğinin bir başka belirtisidir: Bütün, parçalar sayesinde işler. Örneğin elektronu, muonu, tanonu ve nötrinolarını fizikten çıkarıp yalnızca kuarkları bırakırsanız, Noether'in simetrileri ve korunan nicelikleri mahvolur ve teori matematiksel açıdan tutarsız hale gelir. Bu fikir, yani tutarlı bir birleşim teorisinde Noether'in kanunlarının korunması gereği, birleşim teorilerinin gelişiminde yol gösterici bir ilke haline geldi. 20. yüzyılın sonlarındaki sicim teorisi de bunlardan biridir.

Noether kendisini öğrencilerine adadı; Almanya tarihinin son derece sıkıntılı bir döneminde toplamda 16 doktora öğrencisinin danışmanlığını yürüttü. 1933'te Hitler iktidara gelip de Yahudiler birer hedefe dönüştüğünde Noether, tıpkı meslektaşı Max Born gibi Göttingen'den uzaklaştırıldı. Daha sonraları, aynı yerde çalışan büyük matematikçi Hermann Weyl "Emmy Noether; onun cesareti, açıklığı, kendi kaderini boşvermişliği, uzlaşmacı ruhu, bizi saran bütün bu nefretin ve kabalığın, umutsuzluğun ve üzüntünün içinde ahlaki bir sığınaktı,"[4] diye yazacaktı.

4. Helge Kragh, "Paul Dirac: The Purest Soul in an Atomic Age", *From Newton to Hawking: A History of Cambridge University's Lucasian Professors of Mathematics* içinde, Kevin C. Knox ve Richard Noakes (ed.) (Cambridge: Cambridge University Press, 2003), s. 387.

Noether çareyi ABD'ye kaçmakta buldu ve burada, özellikle Yahudi kadınlar için güvenli bir liman olarak bilinen ve kadınlar için kurulmuş Bryn Mawr College'da ders vermeye başladı. Ne yazık ki 53 yaşında yumurtalık kisti komplikasyonları nedeniyle hayatını kaybetti.

New York Times'a yazdığı bir mektupta Albert Einstein şunları söylemişti: "Hayattaki en becerikli matematikçilere bakarsak, kadınların yüksek eğitimi başladığından beri Fräulein Noether en kayda değer yaratıcı matematiksel dehadır. Birçok yetenekli matematikçinin yüz yıllardır kafa yorduğu cebir alanında, günümüzün genç matematikçi neslinin gelişmesinde büyük önem taşıyan yöntemler keşfetti."[5] Matematikteki keşifleri fizikte de birçok yol açan ve halen büyük etki yaratan Emmy Noether kusursuz bir kişilikti.

MÜTEVAZI BİR GEÇMİŞTEN GELEN bir başka deha da Paul Dirac'tı. Keşifleri fiziğin temelini oluşturdu. Kuantum teorisinin şu anki formülasyonunu da büyük ölçüde teorinin ustalarından Dirac'a borçluyuz. En büyük buluşunun ne olduğu sorulduğunda, "braket" notasyonu olduğunu düşündüğünü söylemişti. Bu bir sistemin tüm olası hallerini temsil etmesi için kuantum teorisine takdim ettiği bir matematiksel araçtı. Başlangıç haline "ket", bitiş haline ise "bra" adı veriliyordu. Bilinen tüm parçacıkların dörtte üçü için geçerli olan denklemi keşfeden, antimaddeyi öngören ve başka birçok çığır açan buluşa imza atan birinin, tüm bunları basit bir notasyonun ardına koyması komik geliyor insana. Dirac'ın diğer hikâyeleri de düşünüldüğünde insan kendi kendine şunu söylüyor: "Ciddi olamaz!" Ancak işin aslı farklı.

Yakın tarihli bir biyografisinde Dirac'tan "tuhaf bir insan"

5. John Wheeler, Sir Michael Berry'nin Dirac için yazdığı ölüm ilanından alıntı, çevrimiçi olarak http://www.phy.bris.ac.uk/people/ berry_mv/the_papers/Berry130.pdf adresinden erişilebilir.

olarak bahsedilir. İngiltere'nin Bristol kentinde, mütevazı bir ailede dünyaya geldi. İsviçreli babası Charles Dirac Fransızca öğretmeniydi ve çok disiplinliydi. Paul babası tarafından çok sevilse de mutsuz, tek başına bir çocukluk geçirdi. Dirac şanslıydı ve İngiltere'nin en iyi ücretsiz fen ve matematik okuluna, Bristol'deki Merchant Venturers' Technical College'a girdi. Babası da burada ders veriyordu.

Okulda Paul'un matematik konusunda istisnai derecede yetenekli olduğu ortaya çıktı ve mühendislik okumak için Cambridge'e gitti. Dereceyle mezun olmasına rağmen savaş sonrası İngiltere'sinin ekonomik ortamında iş bulamadı. Mühendislik kaybetti, fizik kazandı: Dirac Bristol Üniversitesi'ne geri dönerek matematik okudu ve ikinci lisansını tamamladı. Daha sonra 1923'te, 21 yaşında Cambridge'teki St. John's College'a döndü ve genel görelilik ve kuantum teorisi üzerine doktora yapmaya başladı.

İlerleyen yıllarda utangaç, sessizliğiyle ünlü ve kimilerine göre görünmez bu genç adam akıllara durgunluk veren birkaç buluşa imza attı. Çalışmaları derin bir karmaşıklığı zarif bir basitlikle ve netlikle birleştiriyordu. Doktorası için, kuantum teorisini en zarif halinde ortaya koymayı sağlayan ve günümüzde hâlâ kullanılan bir genel dönüşüm teorisi geliştirdi. 26 yaşında elektronu tanımlamak için göreliliği ve kuantum teorisini birleştirdiği Dirac denklemini keşfetti. Denklem elektronun spinini açıklıyordu ve elektronun antiparçacığı olan pozitronu öngörüyordu. Pozitronlar günümüzde her gün tıbbi PET (pozitron emisyon tomografisi) taramalarında, vücuda giren biyolojik moleküllerin konumunu takip etmek için kullanılır.

Biri Dirac'a "Dirac denklemini nasıl buldunuz?" diye sorduğunda şu cevabı verdiği söylenir: "Çok güzel buldum." Kasten düz anlamlı konuşmaktan ve olabildiğince az kelime kullanmaktan zevk aldığı anlaşılıyordu. Fiziği matematiksel temeller

üzerine kurma konusundaki ısrarı muhteşemdi. Son derece başarılı olan kuantum elektrodinamiği teorisinin temellerini atmış olsa da bununla yetinmedi. Teoride, boşluktaki kuantum değişimlerinin yol açtığı sonsuzluklar vardı. Aralarında Richard Feynman, Julian Schwinger ve Sin-Itiro Tomonaga'nın da olduğu diğer fizikçiler, "renormalizasyon" olarak bilinen bir hesap tekniği ile sonsuzlukları kontrol etme yöntemi bulmuşlardı. Ortaya koydukları isabetli öngörülere rağmen Dirac birçok temel matematiksel güçlüğün hasıraltı edildiği gerekçesiyle hiçbir zaman buna güvenmedi. Teorinin son derece başarılı öngörülerinin "şans eseri" olabileceğini söyleyecek kadar ileri gitti.

Dirac aynı zamanda bilinen tüm fiziğe dair formülümüzün şeklini öngörmede de ufuk açıcı bir rol üstlendi. Hamilton'un güçlü eylem formülasyonuyla klasik fizik ve yeni kuantum teorisi arasındaki bağlantıyı gören Dirac oldu. Klasik bir teoriden kuantum versiyonuna nasıl geçileceğini ve kuantum fiziğinin dünyaya dair klasik algıyı nasıl genişlettiğini Dirac fark etti. Kuantum teorisi hakkında 1930'larda yazdığı ve bu derin anlayışı üzerine kurduğu ünlü ders kitabında, Schrödinger'in dalga fonksiyonu, Hamilton'un eylemi ve Planck'ın eylem kuantumu arasındaki ilişkiye dikkat çekti. 1946'ya kadar kimse bu yol gösterici uyarıya kulak asmadı, ta ki Dirac'tan ilham alan Feynman bu ilişkiyi daha da netleştirene kadar.

Dirac hayatı boyunca şaşırtıcı ve farklı konuları araştırmayı sürdürdü. Manyetik monopollerin varlığını ortaya attı ve kütleçekimini kuantalamaya yönelik ilk ciddi denemeyi gerçekleştirdi. Kuantum teorisinin kurucularından biri olsa da, Einstein'ın fiziğe yönelik geometrik bakış açısını da seviyordu. Dirac'ın, Einstein'ın daha ziyade felsefi çalışmalarından ilhamla çizdiği doğrultularda özgürce dolaşan, parlak bir teknisyen olduğu söylenebilir.

Mayıs 1963'te *Scientific American*'da yazdığı "Fizikçinin Doğa Algısının Evrimi" adlı makalede Dirac "Kuantum teorisi bize, işin içine gözlem sürecini katmamızı öğretti ve gözlemler de genellikle evrenin dört boyutlu halinden üç boyutlu bölümler çıkarmamızı gerektirir," demişti. Demek istediği şey, kuantum teorisinin öngörülerini hesaplayıp yorumlayacaksak, zaman ile uzayı birbirinden ayırmamız gerektiğiydi. Dirac, Einstein'ın çizdiği uzayzaman tablosunun ve bir gözlemci tarafından uzaya ve zamana ayrıştırılmasının esas olduğunu ve değişmesinin zor olduğunu düşünüyordu. Ancak kuantum teorisinin ve Heisenberg'in belirsizlik bağıntılarının mevcut hallerinde var olamayacağından şüpheleniyordu. "Tabii ki klasik fizik teorisinin belirlenimciliğine dönüş olmayacak. Evrim geriye gitmez," diyordu. "Bizi klasik fikirlerden daha da uzaklaştıracak, hiç beklenmedik, şu ana dair bir tahminde bile bulunamayacağımız yeni bir gelişme olması gerekiyor."

Başka bir dünyadan gelmiş izlenimi veren Dirac birçok fizikçiyi kendine hayran bıraktı. Niels Bohr "Tüm fizikçiler arasında en saf ruha sahip Dirac'tır," ve "Dirac'ın bedeninde işe yaramayan tek bir kemik bile yoktur"[6] dedi. ABD'li ünlü fizikçi John Wheeler da "Dirac gölge etmez," diye yazdı.

Dirac'la iki kez karşılaştım; ikisi de yüksek lisans öğrencilerinin katıldığı birer yaz okulundaydı. İlki İtalya'da, bir elektronun taşıdığı elektriksel yükün tam değerini nasıl öngörebileceğimizi anlamadan fiziğin neden hiçbir ilerleme gösteremeyeceği hakkında verdiği bir saatlik bir dersteydi. Okulda "Fiziğin Muhteşem Günleri" adlı bir etkinlik vardı. Fiziğin eski günlerinden birçok büyük fizikçi etkinliğe davetliydi. Öğrencilere cesaret ve ilham vermek adına ellerinden geleni yaptılar.

6. P. A. M. Dirac, "The Evolution of the Physicist's Picture of Nature", *Scientific American* 208, no. 5 (Mayıs 1963): s. 45-53.

Oysa Dirac, ki aralarında en göze çarpan isim oydu, sadece ayağa kalkıp şunu söylemekle yetindi: "Gerçekten de 1920'ler fiziğin muhteşem yıllarıydı ve bir daha geri gelmeyecek." Tüm söylediği buydu ve ondan duymak istediğimiz şey kesinlikle bu değildi!

Onunla karşılaştığım Edinburgh'daki ikinci yaz okulunda bir başka konuşmacı heyecanlı bir şekilde süpersimetriyi –kuvvet ve madde parçacıkları arasında öne sürülen bir simetriyi– açıklıyordu. Destek ararcasına Dirac'a bakıp onun ünlü şiarını, yani matematiksel güzelliğin fizikteki yol gösterici ilkeler arasında en önemlisi olduğunu söyledi. Ancak Dirac onun planlarını bozdu ve şöyle dedi: "İnsanlar bu sözlerimin ikinci bölümünden, yani güzel bir fikir beş sene içinde deneyle kanıtlanmıyorsa o fikri terk etmek gerektiğini de söylediğimden hiç bahsetmiyor." Bana göre, en azından bir parça da olsa bize sataşmak için böyle yapmıştı. *Scientific American* dergisindeki makalesinde böyle bir öğüt bulunmuyordu. Schrödinger'in dalga denklemi keşfi hakkında yazarken, onu deneysel sonuçlardan ziyade teorik argümanlar heyecanlandırmıştı; "Bu hikâyenin bir anafikri olduğunu, onun da denklemin güzellik içermesinin, deneylere uymasından daha önemli olduğunu düşünüyorum," diyordu Dirac.

Dirac makalesini, matematikteki ilgi çekici keşiflerin, yeni fizik ilkeleri bulmamızın yollarından biri olduğunu savunarak bitiriyordu: "Doğanın temel özelliklerinden biri de temel fiziğin muhteşem güzellik ve güçteki matematiksel teorilerle tanımlanıyor ve anlaşılması için de üst düzey matematik gerektiriyor olmasıdır. Doğanın neden bu hatlar etrafında kurulu olduğunu merak ediyor olabilirsiniz. Şu anki bilgimizin, doğanın bu şekilde kurulmuş olduğunu gösterdiği söylenebilir. Bunu kabullenmekten başka ne gelir elimizden? Belki de Tanrı'nın son derece kıdemli bir matematikçi olduğu ve evreni inşa ederken son de-

rece gelişmiş bir matematik kullandığı söylenebilir. Matematiğe yönelik aciz çabalarımız evrenin yalnızca ufak bir kısmını anlamamızı sağlar ve matematikte daha ileri gittikçe evreni daha iyi anlamayı da umut edebiliriz."

Dirac'ın bahsettiği Tanrı'nın, Einstein'ın veya Antik Yunanların da kabul edebileceği bir Tanrı olduğunu düşünüyorum: Tanrı doğadan ve evrenden başkası değil ve eserleri de mantığın, düzenin ve güzelliğin somut birer hali. Dirac'ın Tanrı'ya "son derece kıdemli bir matematikçi" demesinden daha büyük bir övgü olamaz. Bu hususta bile Dirac'ın hafife alıcı bir tavrı olduğunu unutmamak gerekir.

Belki de utangaç ve suskun doğasından ve tekniğe odaklanmasından ötürü Dirac 20. yüzyılın diğer ikonik fizikçileri kadar ünlü değildir. Ancak Dirac'ın kendine has mantıksal, matematiksel zihni, kuantum teorisinin temel ilkelerini herkesten daha net bir şekilde ifade etmesini sağladı. 1930'lardan sonra zamanının çok ötesinde bir dizi araştırmaya başladı. Her şeyden öte, basitlikten taviz vermeyen tavrı ve mutlak düşünsel dürüstlüğü, kurulmasında büyük çaba sarf ettiği formülü geliştirmeye yönelik çabalara ilham vermeye devam ediyor.

* * *

BÜTÜN GÜZELLİĞİNE KARŞIN sihirli formülümüzün doğanın nihai tanımı olmadığını biliyoruz. Varlığından emin olduğumuz ancak sihirli formülümüzün hesaba katmadığı noktalar var: karanlık madde ve nötrinoların minik kütleleri. Ancak formüle bu eksiklikleri düzelterek ortadan kaldıracak düzenlemeler eklemek zor değildir. Tek ihtiyacımız olan hangisini dahil edeceğimizi anlamamızı sağlayacak daha fazla deneysel kanıttır.

Formülün bu konudaki son söz olmadığına inanmamızı sağlayan ikinci neden ise estetik bir nedendir: Şu anki haliyle

yalnızca yüzeysel olarak "birleştirilmiş" durumdadır. Bu yoğun formülde deneysel ölçümlere uyum dahilinde değişebilen 19'dan fazla parametre bulunur.

Ayrıca formülün derin bir mantıksal kusuru vardır. 1950'lerden itibaren kuantum elektrodinamiği veya elektrozayıf teori gibi teorilerde, vakum dalgalanmalarının çok kısa mesafelerde madde parçacıklarının etkin yüklerini, bu tür teorileri tutarsız kılacak şekilde değiştirebileceği fark edildi. Teknik olarak bu soruna, Rus fizikçi Lev D. Landau'ya ithafen "Landau hayaleti" adı verildi.

1970'lerde ortaya atılan "büyük birleşim" teorileri ile sorunun etrafından dolanıldı. Fikir temelinde, Glashow, Salam ve Weinberg'in elektrozayıf kuvvetini, Gross, Politzer ve Wilczek'in güçlü nükleer kuvvetiyle bir araya getirerek tek, büyük bir birleştirilmiş kuvvet yaratmaktı. Aynı zamanda, bilinen tüm madde parçacıkları da birleştirilerek tek, büyük bir birleştirilmiş parçacık oluşturulacaktı. Güçlü ve elektrozayıf kuvvetleri birbirinden ayıracak ve farklı madde parçacıklarını birbirinden ayırt edecek yeni Higgs alanları olacaktı. Bu teoriler Landau'nun sorununu çözdü ve bir süreliğine kütleçekimi hariç bilinen tüm kuvvetlerin matematiksel olarak tutarlı bir tanımı gibi göründü.

Güçlü kuvvetin ve iki elektrozayıf kuvvetin çok kısa mesafelere göre değerlerinin bulunmasına yarayan hesaplamalar da cesaret vericiydi. Bu üçlü bir protonun yani hidrojenin atom çekirdeğinin boyutunun yaklaşık on bin trilyonda biri gibi çok küçük bir ölçekte birleşiyor gibi görünüyordu. Estetik ve mantıksal nedenlerden ötürü bir süreliğine büyük birleşim fikri son derece çekici göründü. Ancak şeytan ayrıntılarda gizlidir. Çok fazla sayıda olası Büyük Birleşim Teorisi olduğu ortaya çıktı; her biri de farklı alanlara ve simetrilere sahipti. Gözlemlenmiş verilerle uyuşması gereken çok fazla ayarlanabilir parametre vardı. Daha

isabetli ölçümler yaptıkça çok küçük ölçeklerdeki birleşime yönelik ipuçları yok oldu: Birleşim yalnızca daha fazla alan eklenmesiyle mümkün olabilecekti. Büyük birleşim teorileri fiziği basitleştirip güzelleştireceğine, daha karmaşık ve keyfi kılmıştı.

Büyük birleşimi sorgulamak için geçerli bir neden daha var: En çarpıcı öngörüleri doğrulanmış değildir. Eğer en temel düzeyde tek bir tür parçacık varsa ve parçacıklar arasında gördüğümüz tüm farklılıklar vakumdaki Higgs alanlarından kaynaklanıyorsa o zaman ortada, herhangi bir parçacık türünün, büyük birleşik bir Higgs alanından kuantum tünellemesi yaparak herhangi başka bir parçacık türüne dönüşmesini sağlayacak fiziksel süreçler olmalıdır. Bu süreçlerin en çarpıcılarından biri de, atom çekirdeğinin temel bileşenlerinden protonun çürüyerek daha hafif parçacıklara dönüşmesine yol açan proton bozunmasıdır. Eğer öngörüler doğruysa, son derece yavaş bir şekilde de olsa tüm atomlar yok olacaktır. Uzun yıllar boyunca araştırmacılar son derece duyarlı ışık algılayıcılarıyla gözlemledikleri, saf suyla dolu geniş havuzlarda bu sürecin işaretlerini aradılar, ancak şu ana kadar başarıya ulaşamadılar.

Yine de büyük birleşim hakkındaki en büyük şüphe, kütleçekim kuvvetini yok saymasından ileri gelir. Büyük birleşim ölçeğinin çok da altında olmayan, yaklaşık bin kat kadar daha küçük bir ölçeğe indiğimizde Planck ölçeğine ulaşırız. Proton boyutunun on milyon trilyonda biri kadar olan bu ölçekte, vakum dalgalanmaları Einstein'ın kütleçekimi teorisini altüst eder. Daha kısa dalga boylarına indiğimizde kuantum dalgalanmaları gitgide daha vahşi bir hal alır ve uzayzamanı öyle bir şekilde büküp yamultur ki hiçbir şeyi hesaplayamayız. Ne kadar güzel olursa olsun, Einstein'ın formülde yer alan teorisinin yalnızca bir dublör olduğuna inanırız. Uzayzamanın çok kısa mesafelerde nasıl işlediğini anlayabilmek için yeni matematiksel prensiplere ihtiyacımız var.

Formülün en sağındaki Higgs potansiyel enerjisi, yani V de bir bilmecedir. Evrende bir şekilde, V'nin katkısıyla vakum dalgalanmalarının katkısı arasında inanılmaz derecede hassas bir denge vardır, bu da çok küçük bir pozitif vakum enerjisine yol açar. Bu dengenin nasıl oluştuğunu anlayamıyoruz. V'yi virgülden sonra 120 hanelik bir ondalık sayıya uyarladığımızda formül gözlemlerimizle uyumlu hale gelir. Bu işe yarasa da neden böyle olduğu hakkında henüz bir fikrimiz yok.

Özetlemek gerekirse, fiziğin tamamı tek bir formülde birleştirebilir ve bu da bir noktada temel ilkelerin ne kadar güçlü ve bağlantılı olduğunu gösterir. Formül birçok şeyi şaşmaz bir kesinlikle açıklamakla birlikte parçacık ve kuvvetlerin keyfi görünen bir şekilde formüle yerleştirilmesine ve çok kısa mesafelerde kuantum dalgalanmaları nedeniyle çökmesine ek olarak iki büyük sıkıntısı vardır: Şu ana kadar evrenin tekil başlangıcını ve tuhaf, amaçsız geleceğini açıklayabilmiş değildir.

Pratikte fizikçiler formülün tamamını nadiren kullanır. Fiziğin çoğu yaklaşımlara, yani formülün hangi bölümlerinin görmezden gelineceğine ve elde tutulan bölümlerinin nasıl sadeleştirilebileceğine dayanır. Yine de bu formülü temel alan birçok öngörü hesaplandı ve –bazen son derece kesin bir şekilde– doğrulandı. Örneğin elektronlar spine sahip ve bu da onların bazı açılardan minik bir çubuk mıknatıs gibi hareket etmesine yol açar. Formülün ilgili kısımları, bu minik mıknatıs çubuğunun kuvvetini trilyonda birlik bir kesinlikle hesaplamanızı sağlar. Üstelik hesaplamalar da deneye uygun düşer.

Karmaşık moleküllerin yapıları, cam veya alüminyumun özellikleri veya suyun akışı gibi daha karmaşık noktalar için ise tüm öngörüleri hesaplamamız mümkün değildir, çünkü formülün doğru cevaplara sahip olduğunu bilsek de hesaplamalarda işin içinden çıkamayız. Gelecekte, bir sonraki bölümde bahsedeceğim üzere kuantum bilgisayarlarının gelişimi, hesap

yapma becerimizi tamamen değiştirebilir ve bu sihirli formülü doğrudan günümüz hesaplama bilgisinin çok ötesindeki öngörülere çevirebilir.

EVRENİN TANIMLANAMAZ BAŞLANGICI ve kafa karıştırıcı geleceği gibi temel sorunlar nasıl çözülecek? Bilinen tüm fiziğin formülünün yerini alabilecek en popüler aday, sicim teorisi adıyla bilinen, tamamen apayrı bir çerçevedir. Sicim teorisi 1968'de, Cenevre'deki Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) çalışan Gabriele Veneziano adlı İtalyan bir postdoktora araştırmacısı tarafından az çok bir rastlantı sonucu bulundu. Veneziano bir birleşim teorisi üzerinde değil, nükleer çarpışmalar hakkındaki deneysel veriler üzerinde çalışıyordu. Tesadüfen 18. yüzyıldaki İsviçreli matematikçi Leonhard Euler'in –matematikteki buluşlarıyla bilinen tüm fiziğin formülünün merkezinde yer alan Euler'in ta kendisi– bulduğu oldukça ilginç bir matematik formülüne rastladı.

Veneziano Euler'in "Euler'in beta fonksiyonu" adlı başka bir formülünü kullanarak nükleer parçacıkların çarpışmalarını tamamen yepyeni bir yöntemle tanımlayabileceğini fark etti. Veneziano'nun hesaplamaları o dönemde büyük heyecan yarattı. Parçacıkları ufak birer sicim parçası gibi tanımladığı anlaşılınca bu heyecan daha da arttı; ne de olsa kuantum alanlarından tamamen farklı bir tablo çiziyordu. Güçlü ve zayıf nükleer kuvvetlerin alan teorileri ve nükleer parçacıkların vakum dalgalanmaları tarafından bir arada tutulan karmaşık alan yığışmaları olduğu anlayışı, nükleer fizik tanımı olarak pek işlemeyen bu fikrin yerini aldı. Ancak sicim teorisinin ardındaki matematiğin son derece zengin ve ilginç olduğu ortaya çıktı ve teori 1970'lerin başlarında hızla gelişti.

Sicim imgesi kusursuz elastikliğin bir tezahürü olarak kullanılır. İki ucu olan bir parça olarak veya kapalı bir halka şek-

linde var olabilir. Dalgalar sicim boyunca ışık hızında hareket eder. Ve sicim parçaları sayısız şekilde titreşip dönebilir. Sicim teorisinin en çekici özelliklerinden biri de tek bir varlığın –yani sicimin– sonsuz çeşitlilikte nesneyi tanımlıyor olmasıdır. Yani sicim teorisi büyük ölçüde bir birleşim teorisidir.

1974'te Fransız fizikçi Joël Scherk ve ABD'li fizikçi John Schwarz halka şeklinde ve tepetaklak dönen bir sicimin, Einstein'in kütleçekim teorisinin temel kuantumu olan graviton gibi hareket ettiğini fark etti. Böyle olunca sicim teorisinin otomatik olarak bir kuantum kütleçekimi teorisi doğurduğu anlaşıldı. Hiç umulmadık bir keşifti bu. Daha da şaşırtıcı olansa, sicim teorisinin kuantum kütleçekimine yönelik geleneksel yaklaşımların başına dert açan sonsuzluklardan muaf olmasıydı. 1980'lerin ortalarında bir Büyük Birleşim Teorisi'ne yönelik inançlar azalırken, sicim teorisi her şeyin teorisi olmaya aday bir fikir olarak parladı.

Üçüncü Bölüm'de gördüğümüz üzere sicim teorisinin özelliklerinden biri, uzayda yeni boyutlara ihtiyaç duymasıdır. En basit sicim teorisi alışık olduğumuz üç boyuta –uzunluk, genişlik ve derinlik– ek olarak altı uzay boyutuna daha ihtiyaç duyar. Yine daha önce bahsettiğimiz M teorisi ise bu altı yeni boyuta ek olarak bir boyuta daha, yani toplamda yedi yeni boyuta ihtiyaç duyar. Sicim teorisinin ortaya attığı fazladan altı boyut bükülüp, günümüzün evreninde fark dahi edilemeyecek kadar küçük bir topun içine sokulabilir. M teorisinin yedinci boyutu ise daha da ilginçtir; iki adet üç boyutlu evrenin arasındaki boşluk olarak tezahür eden bir boyuttur. Bu tablo önceki bölümde anlattığım döngüsel evren modelinin temelini oluşturur.

Sicim teorisinin kuvvetlerin birleştirilmesi sorununu çözeceğine dair büyük umut vermiş olsa da, bu umutlar da solmaya yüz tutmuş durumdadır. Temel sorun, büyük birleşim teorilerinde olduğu gibi, sicim teorisinin de fazla keyfi olmasıdır.

Örneğin altı veya yedi boyutu bükmenin neredeyse sonsuz sayıda yolu vardır. Her bir yöntem bizi farklı parçacık ve kuvvet örüntüsüne sahip birer üç boyutlu evrene götürür. Bu modellerin birçoğu umut vaat etmeyecek kadar gerçekdışıdır. Yine de birçok araştırmacı olası sicim teorisi evrenlerinden oluşan "manzarayı" tarayarak doğru olanı bulabileceğine inanır. Hatta bazıları bu evren çeşitliliğinin her birinin gerçek evrenin bir köşesinde gerçekleştiğini, ancak yalnızca birinin bize görünür olduğuna inanır. "Enflasyonlu çokluevren" adı verilen bu tablo bilim tarihindeki en ölçüsüz önergelerden biri olmalıdır.

Bana sorarsanız bu sicim teorisi evrenlerinden hiçbiri biraz bile gerçekçi değildir, çünkü sicim teorisi şu ana kadar, bir önceki bölümde bahsettiğim sorunu, yani başlangıçtaki tekilliği tanımlayabilmiş değildir. Şu ana kadar anlayabildiğimiz kadarıyla sicim teorisi birtakım boş evren modellerinden oluşur. Ancak bu boş modellerin, tıpkı bizimki gibi madde ve radyasyondan oluşan, genişleyen evrenleri tanımlayıp tanımlayamayacağını sorgulamak için son derece geçerli nedenler bulunur.

Şahsen ben olası evrenlerden oluşan bir "çokluevren" hakkında tahminler yürütmek yerine, var olduğundan emin olduğumuz tek evrene odaklanmayı tercih ediyorum. Belki böylece tekillik ve uzak gelecek gibi temel bilinmezlerini açıklığa kavuşturacak ilkeleri anlamlandırabiliriz. Sicim teorisi, kuantum kütleçekimi hakkında zaten tamamen yeni fikirler sunmuş, son derece güçlü bir teorik araçtır. Ancak evrenimizi ikna edici bir şekilde tanımlaması için katetmesi gereken uzun bir yol vardır.

SİCİM TEORİSİNİN KENDİNİ içinde bulduğu durum, birçok açıdan temel fiziğin 20. yüzyılda nasıl geliştiğinin bir yansımasıdır aslında. Yüzyılın başlarında kuantum fiziği, uzayzaman ve genel görelilik gibi fikirler ortaya çıktı. Bu konular üzerindeki tartışmalar felsefi açıdan oldukça zengindi; yayınlar ve konferanslar

günümüze kıyasla sayıca daha azdı ancak çok daha özgündü. 1920'lerin sonlarında, kuantum teorisinin ve kuantum alanlar teorisinin yerleşmesiyle dikkatler daha teknik sorulara yöneldi. Fizikçiler uygulamalar üzerinde yoğunlaştı ve teknisyen rolünü üstlendiler. Fiziğin erişimini son derece küçük ve büyük mesafelere genişlettiler; üstelik bunu da çığır açıcı herhangi bir düşünce geliştirmek zorunda kalmadan yaptılar.

Yeni teknolojiler için fizik oldukça verimli bir kaynak oldu. Nükleer enerjiden radara ve lazere, transistörlere, LED'lere, birleşik devrelere ve diğer cihazlara, tıptaki X ışınlarına, pozitron emisyon tomografisi (PET) ve nükleer manyetik rezonans (NMR) taramalarına, hatta süperiletken trenlere kadar birçok teknolojinin önünü açtı. Çok yüksek enerjileri inceleyen parçacık hızlandırıcıları, kuarklar, güçlü ve elektrozayıf kuvvet ve yakın bir geçmişte de Higgs bozonu gibi olağanüstü keşifler yaptı. Kozmoloji gerçek anlamda gözleme dayalı bir bilim dalı haline geldi ve uydular muhteşem bir kesinlikte tüm evrenin haritasını çıkardı. Fizik nihai bir cevaba, her şeyin teorisine doğru ilerlediği izlenimini edindi.

1980'lerden bu yana, konuyla ilgili heyecan dalgaları belirdikleri kadar çabuk kayboldu. Yayınlar ve atıfların sayısı hızla arttı ve konferanslar çoğaldı, yine de özgün, yeni fikirlerin sayısı azaldı ve aralarındaki süre arttı. Dikkatlerin büyük birleşime ve sicim teorisine çevrilmesi ve bunun yarattığı baskı, tamamlanmamış teorik çerçeveleri zorlayarak gerçekçi bir model oluşturulmasını sağladı, ancak bunlar halen tatmin edicilikten uzak.

Bence fizikteki gelişim, tıpkı Planck'ın ve Einstein'ın 20. yüzyılın başında klasik fizikte bulduklarına benzeyen morötesi bir felakettir. Bunlar mekanik düşünme yöntemlerinin sonuçlarıdır. Fiziğin ister yapay matematiksel yapılar ister veriye uygun düşen *ad hoc* yapılar olsun, zoraki modellerden uzaklaşıp yeni birleştirici ilkeler aramasının zamanının geldiğini düşünüyorum.

Elimizdeki sihrin ve onun tüm sınırlarının değerini daha iyi anlamalıyız; onu ve ötesini görmenin yeni yollarını bulmalıyız.

Formülümüzdeki her bir terim, hayal gücünün attığı dev birer adımdır. Einstein'ın kütleçekimini tanımlamasından Dirac'ın elektronu ve diğer parçacıkları tanımlamasına, Feynman'ın kuantum mekaniğini tüm olası geçmişlerin toplamı olarak formüle etmesine kadar böyledir bu. Benzer sıçrayışların yaşanması için gerekli olasılıkları yaratmalıyız. Derin soruların peşinden koşmaya izin verildiği ve bunun teşvik edildiği, Einstein veya Bohr'un felsefi zenginlik ve derinliğinin, Heisenberg veya Dirac'ın teknik dehasıyla birleştiği bir kültür oluşturmalıyız.

Daha önce de altını çizdiğim gibi, fiziğe yapılan en büyük katkılardan bazıları son derece mütevazı geçmişi olan, şansı az çok yaver gidip kendini bu temel sorunlar üzerinde çalışırken bulan insanlar tarafından yapıldı. Ortak noktaları mantıklı düşüncelerin peşinden gitmekteki kararlılıkları, diğer herkesin gözden kaçırdığı bağlantıları görmeleri, keşfedilmemiş topraklara yelken açmaları ve yepyeni fikirlerle adeta oynamaları oldu. Ve bu kararlılıkları dünyayı, gündelik deneyimimizin, içinde bulunduğumuz şartların ve geçmişimizin çok çok ötesine giden, hepimizin paylaşabileceği yeni anlamlandırma şekilleri doğurdu.

* * *

OKULDA ÇOCUKLARA Newton fiziğini, cebri, geometriyi ve daha fazlasını öğretiyoruz. Ancak bildiğim kadarıyla kimse onlara fiziğin evrenin şablonunu çıkardığından bahsetmiyor. Formülün tamamen anlaşılması ve takdir edilmesi uzun yıllar sürse de, evrene hükmeden temel kanunları birleştirmekte ne kadar yol katettiğimizin anlaşılmasının ilham verici olacağına inanıyorum.

Uyumlu ve bütünsel doğası içinde bu formülün son derece kayda değer bir sembol olduğunu düşünüyorum. Günümüzde toplumumuz sıklıkla bencil bir tutum içinde ve sabit hedeflere sahip. Bir yandan insanlar ve topluluklar kısa vadeli çıkarlarının peşinden koşuyor, diğer yandan da tüm sorunlarımızı sözüm ona çözecek peşin hükümlü sistemlerden medet umuyor. Ancak geçmişteki reçetelerin neredeyse hiçbiri işe yaramadı, ayrıca uygulamaları da insanlıkdışı sonuçlar doğurabilir. İnsan taleplerinin devasa boyutlara ulaştığı ve kaynakların gittikçe azaldığı bir çağa giriyoruz ve daha akıllıca davranma yollarını öğrenmemiz gerekiyor.

Bu formül daha çok işe yarayacak ilkeler önerir. Toplum için doğru yolun hangisi olduğunu bulmak için belki de tüm olası yolları gözden geçirmek gerekir. Tıpkı kuantum teorisinin bütün seçenekleri gözden geçirmesi ve "kâr" temelli bir seçim yapması gibi, biz de toplumumuzu daha yaratıcı ve daha duyarlı bir şekilde, bütünün farkındalığını temel alarak yönetmeliyiz. Dünya ayarlarını bir kez mükemmel bir şekilde yaptıktan sonra bırakıp gidebileceğimiz bir makine değildir. Aynı şekilde, bencil veya dogmatik hedeflerimiz de ilerlemenin itici gücü olamaz. Bunun yerine tüm seçeneklere bilgi ışığında bakmalı ve en iyisini seçebilecek kadar ileri görüşlü olmalıyız.

Kendimizi dilimizle, ulusumuzla, dinimizle, cinsiyetimizle, siyasi görüşümüzle veya kültürümüzle tanımlamak çok kolaydır. Kesinlikle farklılığımızı kutlamalı ve ondan güç almalıyız. Ancak iletişim araçlarımız çeşitlendikçe bu farklılıklar karışıklığa, yanlış anlamalara ve gerilime de yol açabilir. Daha çok ortak nokta bulmalıyız, hepimizin paylaştığı evrene temel bakışımız da buna güzel bir örnek oluşturur; bütün farklılıklarımızı aşmakla kalmaz, sahip olduğumuz dünyaya yönelik en güvenilir kültürlerüstü bakış açısını sunar. Yalnızca tek bir tane Dirac, Einstein veya Maxwell denklemi vardır ve bunların her biri o

kadar basit, isabetli ve güçlüdür ki nereden geliyor olursak olalım her birimiz bunu son derece etkileyici bulabiliriz. Formülün hataları bile hepimizin hemfikir olacağı bir zemin oluşturur.

Ve bana göre gelecekteki büyük bilimsel atılımların temelini de bu oluşturur. Geçmişte en büyük katkıları yapan isimlere bakarsanız, birçoğunun kendi toplumlarında ciddi anlamda bilime adım atan ilk kişiler olduklarını görürsünüz. Çoğu ayrımcılıkla veya önyargılarla mücadele etmek zorunda kalmıştır. Ancak bu engelleri aşarken kanıtlamak istedikleri bir şeyleri vardı; bu da onların geleneksel düşünce yöntemlerini sorgulamaya itti. İkinci Bölüm'de gördüğümüz üzere 20. yüzyılın önde gelen biliminsanlarının çoğu Yahudi'ydi, oysa 19. yüzyılın ortalarına kadar, Avrupa'nın birçok üniversitesi bilimde ve teknik konularda Yahudilere kapılarını kapatmıştı. Nihayet kabul edildiklerinde, kendilerinden şüphe edenlere gerekli cevabı vermek için yanıp tutuşuyorlardı; Yahudilerin de diğer herkes gibi her şeyi yapabileceğini göstermek istiyorlardı. Einstein, Bohr, Norn ve Noether 20. yüzyılın başlarında yeni yeteneklerden oluşan ve fiziği tamamen değiştiren bir akımın parçasıydılar.

Hem dünyanın dört bir yanındaki insanları hem de bilinen tüm fiziği birleştirme meselesine geri dönelim. Süperbirleşim teorisi arayışı son derece iddialı bir hedefdir. *A priori* olarak son derece umutsuz görünür: Bizi çevreleyen evrenin yanında ufacık kalmış, zayıf canlılarız. Elimizde araç olarak sadece zihnimiz ve zekâmız var. Ancak bunlar bizim ilerleme kaydetmemiz için yeterli oldu. İçinde bulunduğumuz dünyayı, yani çoğu gelişmekte olan ekonomilerde ve toplumlarda bulunan 7 milyar zihni düşünürsek, keşfedilmeyi bekleyen yeteneklerden oluşan bir altın madeninde olduğumuz çok açık. Nereden geliyor olursa olsunlar yetenekli gençleri bilime ulaştıracak ve katkı yapmalarını sağlayacak yollar bulmamız gerekir. Bu olanakları sağlarsak,

dünyayı değiştirecek keşiflere imza atacak, motivasyonu son derece yüksek ve özgün fikirli gençlerle karşılaşabiliriz.

Kimiz biz en nihayetinde? Bildiğimiz kadarıyla evrende oldukça az rastlanan bir şeyi, madde ve enerjinin bilinçli canlılara dönüşmesini temsil ediyoruz. Kökenlerimiz hakkında çok şey öğrendik. Evrenin sıcak bir plazmayla dolu tekillikten nasıl türediğini, kimyasal elementlerin Büyük Patlama'da, yıldızlarda ve süpernovalarda nasıl ortaya çıktığını, kütleçekiminin ve karanlık maddenin molekül ve atomları bir araya getirerek galaksileri, yıldızları ve gezegenleri nasıl oluşturduğunu, Dünya'nın nasıl soğuduğunu, göllerin ve denizlerin yoğunlaşmasını nasıl olanaklı kıldığını ve yaşamın filizlendiği bir karışımı nasıl yarattığını biliyoruz. Yaşamın nasıl başladığını tam olarak bilmiyoruz, ancak kendi kendini düzenleyen ve üreten organizmalar bir kez oluşunca, yaşamın DNA-protein mekanizmasının, üremenin, rekabetin ve doğal seçilimin gittikçe daha karmaşık canlılar yarattığını biliyoruz. Biz insanlar evrimin yeni bir aşamasının eşiğinde duruyoruz; bu, teknolojinin de biyoloji kadar büyük rol oynayacağı bir aşamadır.

Hâlâ çözülmeyi bekleyen birçok sır var. Evren Büyük Patlama'dan neden ağır elementleri doğuran ve karmaşık kimyaya izin veren birtakım fizik kanunlarıyla doğdu? Bu kanunlar gezegenlerin neden yıldızlar çevresinde, suya, organik moleküllere, bir atmosfere ve yaşamın ihtiyaç duyduğu diğer bileşenlere sahip bir şekilde oluşmasını sağladı? Neden tek hücreli ilkel organizmaların evrimi için gelişmiş DNA-protein mekanizması, bizim gibi daha karmaşık yaratıkların ortaya çıkmasını sağlayacak yetiye sahipti? Bilinç nasıl ve neden ortaya çıktı?

Evrenin geçmişindeki her aşamada, o aşamaya ulaşılması için gerekli olandan çok daha büyük bir potansiyeli oldu hep. Günümüzde bu potansiyel her zamankinden daha da fazla. Evreni anlayışımız, yüz yıl önce kimsenin tahmin edemeyece-

ği kadar hızlı gelişti. Bu durum geçmiş evrimsel avantajların açıklayabileceğinin çok ötesindedir. Yaratacağımız yeni teknolojilerin neye benzeyeceğini bilemeyiz, ancak eğer geçmişe bakarsak bunların muhteşem olacağını söyleyebiliriz. Ticari uzay taşımacılığı bir gerçeklik olmak üzere. Dünyayı kavrayışımızı tamamıyla değiştirebilecek kuantum bilgisayarıyla tanışıyoruz. Bütün bunlar birer tesadüf mü? Yoksa geleceğe uzanan kapıyı açmak üzere miyiz? Evrenin bilinç kazanmasının araçları biz olabilir miyiz?

5*
TÜM ZAMANLARIN EN BÜYÜK FIRSATI

Başlangıcı varsa eğer eşyanın,
O zaman yok da olacaktır,
İşte böyledir eşyanın tabiatı;
Biri diğerinin cezasını infaz eder
–Hüküm giymiştir suçtan–
Emir gelir Zaman'ın fermanından
Anaksimandros[1]

ANAKSİMANDROS BU SÖZLERİ bugünü düşünüp yazmış gibidir: Dünyamız hızla değişir, geleceğimiz ise belirsizdir.

Dünyamızın nüfusu 7 milyarı aştı ve artmaya da devam ediyor. Enerji, su, verimli toprak ve mineraller gibi kaynakları yiyip bitiriyoruz. Çevreyi sömürüyor ve her gün bir türü yok ediyoruz. Tamamen kendi yarattığımız ekonomik ve siyasi krizlerin pençesindeyiz. Bazen hayatlarımızı ve toplumlarımızı üzerine kurduğumuz teknolojik gelişmeler bizi bir felakete sürüklüyor gibi görünüyor. Zamanın daraldığı hissi gittikçe kuvvetleniyor.

Bireysel becerilerimizin sayısı her zamankinden daha fazladır. Çoğumuz arkadaşımız, ailemiz ve ortağımızla dakikasın-

1. Simplicius'tan alıntı; Anaksimandros'un çalışmalarından geriye kalan tek parça: bkz. http://www.iep.utm.edu/anaximan/#H4.

da iletişim kurabiliyoruz. Bu becerimiz Arap Baharı gibi yeni demokratik hareketlere güç verdi. Ayrıca hep birlikte Vikipedi gibi büyük bilgi birikimleri oluşturabiliyoruz. Bu da dünya çapında bilimsel işbirliklerini tetikliyor ve dünyanın herhangi bir yerinde yaşayan insanlara kaliteli eğitim malzemesine erişim sunuyor.

Ancak tüm artılarına rağmen internet bizi insanlığımızdan da uzaklaştırıyor. Bilgisayarlarımıza ve akıllı telefonlarımıza gittikçe daha yapışık bir halde yaşıyoruz, toplumsal ve profesyonel yaşantımızı e-postaların, sosyal medyanın, blogların ve tweet'lerin etrafında kuruyoruz. Aşırı dijital bilgiye maruz kalmak bizi makinelere, işkoliklere ve pasif tüketicilere çeviriyor. O sert, somut varlığı üzerimizde baskı yaratıyor ve insan doğamız ile bize dayatılan iletişim şekilleri arasında bir uyuşmazlığa neden oluyor. Analog doğamız dijital bir akışa sığdırılıyor. Bu yüzden komedyen Louis C.K.'in de dediği gibi, "Günümüzde her şey muhteşem ve kimse mutlu değil."[2]

Büyük ekonomik değişimler de yaşanıyor. Batı hükümetlerinin ekonomilerine destek olmak adına müdahalelerde bulunduğu, en büyük piyasa temelli ekonomik gelişimi Çin'in denetiminde olduğu dünyada geçmiş siyasi paradigmalar önemini yitiriyor. Petrolün yerini bilgi aldı ve Batı'daki birçok gelişmiş ülkede üretim endüstrileri, yerlerini Google, Amazon ve Facebook gibi veri temelli şirketlere bırakıyor. Batılı toplumlarda alışılmış işçi-işveren ayrımının yerine, ekonomik açıdan faal bir elit ile marjinalleştirilmiş çevre arasındakine benzer yeni çatlaklar oluşuyor.

Kısa vadeli düşünme, salgın bir hastalık gibidir, ancak dünyanın ne kadar hızlı değiştiğini düşününce aslında bir yandan

2. Louis C. K., katıldığı *Late Night with Conan O'Brien* adlı televizyon programında. İlk olarak NBC'de 24 Temmuz 2009'da yayınlanmıştır.

da doğal bir sonuçtur bu. Sanki bir sisin içinde hızla ilerleyen bir arabada gibiyiz, kendimizi çukurlardan, engellerden veya karşıdan gelen araçlardan sakınmaya çalışıyoruz. Endişe içinde bir sonraki tehlikenin ne olacağını bekliyoruz, ki bunu öngörecek gücümüz de yok. Siyasetçiler bir sonraki seçimden sonrasını düşünmüyor, tıpkı bir sonraki fondan ötesini düşünmeyen biliminsanları gibi.

Bu bölümde dünyamızın geleceğinden bahsetmek istiyorum. Önümüzdeki yüzyılda hayatlarımız ve çocuklarımızın hayatları büyük bir değişim geçirecek. Değişimin ne yönde olacağı kararlarımıza ve keşiflerimize göre şekillenecek. Ne herhangi bir öngörüde bulunacağım ne de hayatta kalmamız için bir plan öne süreceğim. Bunlar birçok insanın becerilerine ve adanmışlığına ihtiyaç duyan pragmatik görevler.

Bunun yerine endişelerimizden ve günümüzün acil sorunlarından biraz uzaklaşıp, daha temel ve daha uzun vadeli bir şeyi, insanlık olarak kimliğimizi ele alacağım. Evrendeki yerimize dair fikirlerimiz nasıl gelişebilir ve doğamız nasıl değişebilir? Gelecekten bahsetmek bile bizi geriyor. "Gelecek hakkında hiç düşünmüyorum; nasılsa hemen geliyor" demişti Einstein. Kim olduğumuzu ve neler başarabileceğimizi tam olarak bilmiyoruz. Yüksek bir yamacın kıyısında duran bir dalışçı gibi hissediyorum kendimi. Uçurumdan aşağı bakıyorum ve sisin ötesini görmeye çalışıyorum. Beni bekleyen şey o güzel, serin okyanus mu, yoksa sarp kayalıklar mı? Bilmiyorum. Ancak atlayışımı her halükârda gerçekleştireceğim.

Birazdan açıklayacağım gibi bilimsel ilerlemelerin, ne yaptığını bilen canlılar olan bizleri fiziksel gerçekliğe taşıyabileceğinin farkındayız. Düşüncelerimiz doğaya, bilim topluma, aklımız duygularımıza yakınlaşacak, hatta biz de evrene daha yakın olacağız. Evreni daha net görmekle kalmayıp, onu daha derinden anlayacağız. Ve zamanı gelince bu bilgi bizim kim ol-

duğumuzu değiştirecek. Bu muhteşem olasılığın, geleceğimize ilham verici bir görüyle yaklaşmamıza imkan vereceğini umuyorum.

EVREN HAKKINDA DÜŞÜNMEK diğer meselelerle yüzleşmekten kaçınmak ya da bir lüks gibi gelebilir. Açlık, karbon emisyonları veya devletlerin borçları gibi sorunların çözümüne ne gibi bir katkısı olabilir? Ancak evren, Anaksimandros ve Pythagoras'tan Galileo ve Newton'a tarih boyunca bitmez tükenmez bir merak kaynağı oldu ve bize içinde bulunduğumuz durumun ötesinde ne yattığını görmeye çalışmamız konusunda ilham verdi. Bu temel dürtü günümüzde de sürüyor ve bizi, dünyanın en güçlü mikroskobu olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı veya gelmiş geçmiş en güçlü teleskop olan Planck uydusu gibi araçlar inşa etmeye itiyor. Doğadaki tüm kuvvetlerin ve parçacıkların işleyen bir matematiksel modelini geliştirdik ve atom çekirdeğinden çok daha küçük bir ölçekten, gözlemlenebilir tüm evrene kadar birçok farklı ölçekte geçerli olduğunu büyük bir kesinlikle gözlemledik. Evrenin evriminin ana hatlarını anlıyoruz; ilk mikrosaniyelerinden, gördüğümüz yüz milyarlarca galaksiye ev sahipliği yaptığı günümüze yolculuğunu biliyoruz. Madde parçacıklarının ve kuvvetlerin kendine has karakterlerine kavuştuğu mekanizmanın tezahürü olan Higgs parçacığını keşfettik, bu da fiziğin en büyük başarılarından biridir.

Böylesi temel keşiflerin etkilerinin hissedilmesi uzun zaman alabilir. Ancak buluşlar ne kadar temele yakınsa etkileri de o kadar büyük olur. Kuantum fiziği 1920'lerde formüle edildi, ancak gerçekliğimize yönelik etkilerinin takdir görmeye başlaması 1960'ları buldu. Dünyayı, halleri anında değişen, şaşmaz kesinlikteki şeylerle dolu bir yer gibi düşünüp tartışıyoruz. Bu, klasik evrenin Newton, Maxwell ve Einstein tarafından çizilmiş, belirlenmiş fizik kanunlarına göre evrilen bir resmidir.

Kuantum teorisi bu tabloyla tutarsız olan birtakım öngörülerde bulunuyor, deneyler de bu öngörüleri doğruluyor. Kuantum teorisine göre dünya sürekli olası klasik durumları araştırıyor ve bize, olası tüm seçeneklerin herhangi biri olarak görünüyor. Kuantum gerçekliğinin altında yatan kavramsal mekanizma, -1'in karekökü gibi sezgilerimize yabancı, tuhaf matematiksel kavramlar içeriyor. Ve bu temel keşiflerin teknolojik etkileri ancak şimdi ortaya çıkıyor.

Aynı zamanda, bilgimizin sınırlarını genişletecek yeni alanlar arayan temel araştırmalar da devam ediyor. Evrene dair çizilen modern tablo ne kadar başarılı ve kapsamlı olursa olsun, bu tanımımız en kritik olayda –Büyük Patlama tekilliğinde– çöküyor. Çevremizde gördüğümüz şeylerin hepsi de bu tekillikten doğuyor. Elimizdeki tablo evrenin tuhaf geleceğine yönelik pek bir şey sunmaz. Uzay boşluğunun enerjisi, yani kendisi de kuantum etkileri tarafından kontrol edilen vakum enerjisi, evrendeki en yaygın enerji biçimi olarak öne çıkar. Önümüzdeki on milyarlarca yılda bu enerjinin sahip olduğu itici kütleçekimi evrenin genişlemesini hızlandıracak ve şu an görmekte olduğumuz tüm galaksileri görüş alanımızın dışına itecek. Tıpkı Anaksimandros'un dediği gibi dünyamız geçici ve onu meydana getiren fiziksel kuvvetler şimdi de onu yavaş yavaş yok ediyor.

20. yüzyılın teorileri bu soruları, yani evrenin başlangıcını ve kaderini cevaplamakta zorlanıyor. Bilinen tüm kuvvet ve parçacıkları içerebileceğine işaret eden matematiksel özelliklere sahip sicim teorisi, "her şeyin teorisi" olmaya aday fikirler içinde öne çıkıyor. Ancak sicim teorisi beraberinde uzayın yeni, ufacık, görünmeyecek kadar küçük boyutlarını da beraberinde getiriyor; görmemiz gereken kuvvet ve parçacık örüntülerini de bu boyutların biçimi belirliyor. Ne yazık ki bu teori söz konusu fazladan boyutların biçimi konusunda belirli herhangi bir öngörüde bulunmuyor ve şu anki bilgilerimize göre sayısız olası

yapı mevcuttur. Bildiğimiz boyutlarıyla evren ve sahip olduğu parçacıklar ve kuvvetler, bu yapılardan her birinde oldukça farklı görünüyor. Bu nedenle sicim teorisi tek bir evren yerine bir "çoklu evren" fikrini ortaya atıyor. Her şeyin teorisi olmak yerine hiçbir şeyin teorisi gibi görünüyor.

Sicim teorisinin vakum enerjisi hakkında bir öngörüde bulunamaması, vakum enerjisinin çok küçük bir pozitif değer aldığına yönelik gözlemlerle birleştiğinde birçok biliminsanını, birçoğumuza bilimsellik dışı gibi gelen bir anlayışı kucaklamaya itti: Bu fikir evrenlerden tümünün mümkün olduğu, ancak yalnızca kendimizi içinde bulduğumuz evrenin bizim varoluşumuza izin verdiği yönündeydi ve ne yazık ki eldeki düşünceyi mantığa uygun kılma çabasından ibaretti. Neredeyse sonsuz sayıda gözlemlenemez evren icat etmek ve anlayamadığımız veya ölçemediğimiz birtakım nedenlerden ötürü, içlerinde yalnızca bizim evrenimizin var olmasına "karar verildiği" anlamına geliyordu. İncelikten ve ikna edicilikten bu kadar uzak bir açıklama hayal etmek oldukça zordur.

Aynı şekilde, öne sürdükleri olası evrenlerin her biri böyle başlamış olsa bile, sicim teorisyenlerinin çoğu Büyük Patlama tekilliğiyle yüzleşmekten kaçınır. Tipik olarak evrenin, tekillikten hemen sonra olası biçimler bolluğunun içinden doğduğu tahmininde bulunur ve bundan sonraki evrimi hakkında tartışmaya devam ederler. Dolayısıyla en fazla kabul gören bakış açılarına göre, evrenin başlangıcı ve sonunda fiziğin aşamayacağı duvarlar vardır.

Evrenin başlangıcı ve sonu birer bilmecedir ve bence günümüzün paradigmalarının ötesine gidip yepyeni bir seviyeye ulaşmamıza yardımcı olacak kritik birer ipucu taşır. Üçüncü Bölüm'de gördüğümüz gibi evreni kavramsal açıdan kuantum alanına taşıyacak yöntemlere sahibiz. Bu yöntemler şimdi, Büyük Patlama'nın ötesine geçip bir önceki evrene göz atabile-

ceğimiz veya uçsuz bucaksız geleceğimize bakıp bir sonraki Büyük Patlama'yı görebileceğimiz bambaşka bir tablo ortaya çıkarır. Eğer bu öneriler doğruysa, işaret ettikleri şey zamanın başlangıcı veya sonu olmadığı, yani evrenin hem geçmişe hem de geleceğe doğru ebedi olduğu yönündedir.

TOPLUMUMUZUN İÇİNDE BULUNDUĞU durum kritik bir noktaya ulaştı. Bilgiye erişim o kadar kolaylaştı ki artık işleyebileceğimizden daha fazla bilgiye maruz kalma tehlikesi altındayız. Bilgisayarlarımızın ve ağlarımızın katlanarak büyümesi bize muazzam fırsatlar sunarken insani becerilerimizin hızını aşarak bizi birbirimize yabancılaştırıyor. Elektrik sinyalleri ve radyo dalgalarının taşıdığı bir bilgi çığının altında kalıyoruz; bu dijital bilgi de neredeyse bedelsiz bir şekilde paylaşılıp dağıtılabiliyor. Teknoloji değerli ve değersiz içerik arasında bir ayrım yapmıyor. Elimizin altındaki ücretsiz dijital bilginin bolluğu ve kolay erişilebilirliği baş döndürücü olmakla birlikte karmaşık, öngörülemez, tutkulu insanlar olmaktan uzaklaştırıyor bizi.

Daha önce de belirttiğim gibi fiziğin 19. yüzyılın sonunda karşılaştığı "morötesi facia" hem günümüz hem de bu daha geniş çaplı krizimiz için bir metafordur. Maxwell'in elektromanyetik radyasyon ve ışık teorisi bir zaferdi; matematiğin gerçekliği tasvir etmekteki en güzel ve güçlü haliydi. Ancak dalgaların sıfırdan sonsuza kadar her dalgaboyuna sahip olabileceğini ima ediyordu. Isının ve elektromanyetik enerjinin nesneler arasında sürekli değiştokuş halinde olduğu herhangi bir gerçekçi durumda, Maxwell'in teorisinin bu özelliği bir felakete yol açar. Herhangi bir sıcak nesne veya bir atomun çevresinde yörüngede olan herhangi bir elektron, sınırsız değerde elektromanyetik dalgalar saçabilir ve istikrarsızlığa yol açarak dünyanın felaketi olabilir.

Planck bu sorunu ele almak zorunda kaldığında Newton, Maxwell ve Einstein'ın benimsediği klasik dünya görüşünden bir adım geri çekildi. En sonunda geometrik bir arenaya yani uzayzamana sahip kesin bir gerçekliğin parçacık ve dalga biçimindeki varlıklarla dolu olduğu fikrinden vazgeçmek gerekti. Hem nesneleri oldukları gibi tanımlama kavramınıdanhem de bilebileceğimiz her şeyi ölçme ve öngörme fikrinden uzaklaştık. Bu fikirlerin yerini her şeyi kapsayan daha soyut bir teori aldı. Bu teori gerçekliği "bilme" veya "gözümüzde canlandırma" yetimizi kısıtladı, ancak doğayı anlamanın veya tanımlamanın yepyeni yollarını açtı.

Bizim de benzer şekilde "dijital çağımızın" bunaltıcılığı karşısında bir adım geri çekilmemiz gerektiğini düşünüyorum. Birçok insan internetin bilgi okyanusunda "sörf yapma" isteğine çoktandır sahip ve bu davranış herhangi bir şeyi veya daha derin anlama ihtiyacının yerini alıyor. Uzmanlaşma kavramı, bu kadar çok bilgi içerisinde yüzen bir dünyada pek bir anlam ifade etmese de derinliği olan düşüncelere her zamankinden daha fazla ihtiyacımız var. Fırsatları elememizi, seçmemizi ve tanımlamamızı sağlayacak farkındalık ve muhakeme yeteneklerimizi geliştirmemiz gerekiyor. İşbirliği dediğimiz şey dünyanın her yerinden insanların birlikte çalıştığı, fikir alışverişi yaptığı, kitaplar yazdığı, hatta matematiksel kanıtlar inşa ettiği bir oyuna dönüşecek.

Bu ışıkta bakıldığında okullarımızda ve üniversitelerimizdeki eğitim son derece demode kalıyor. Gençlerin bilgileri ezberlemesinin hiçbir anlamı yok; bunlar zaten internette her zaman elimizin altında. Neyi öğreneceklerine karar verme, kendi düşüncelerini geliştirme ve bunları başkalarıyla paylaşma gibi becerilere ve meselenin bütününü görebilmeye, bu bilgi okyanusunda aradıkları şeyi bulabilmeye, işbirliği yapmaya ve yepyeni ufuklara yelken açmaya ihtiyaçları var.

Bana kalırsa Antik Yunan filozoflarının agoralarının veya 18. yüzyılın sonundaki İskoç eğitim sisteminin modern biçimlerini yaratmamız gerekiyor. Buralarda bilginin ilkeleri ve temelleri sorgulanıyordu; yaratıcılık, özgünlük ve gerçeklik önündeki mütevazılık da bir öğrencide ilk aranan özelliklerdi.

Fiziğin dünyamıza yön veren keşifleri günümüzde hak ettiği takdiri görmüyor. Newton'ın mekanik dünyası, bizi öğrenmenin mekanik yollarına ve modern sanayi çağına götürdü. Dijital devrimin dünyamızı nasıl değiştirdiğinin farkındayız: Bilgisayarlar okulları ve işyerlerini ele geçirdi ve işçilerin, madencilerin ve çiftçilerin yerini aldı. Çalışma, öğrenme ve yaşama koşullarımız değişti. Bu yeni teknolojiler nereden geldi? Bütün bunların kaynağı yine anlama, keşfetme ve yaratma becerilerimizde, yani İçimizdeki Evren'de yatıyor.

FİZİĞİN BİLGİ ÇAĞINA önayak olmasının hikâyesi 20. yüzyılın dönümünde, elektriğin modern toplumların can damarı olduğu dönemde başladı. Akımı ampullerde, radyolarda, telgraflarda ve telefonlarda kullanmak üzere dağıtabilmek ve bunu hızlı, güvenli ve öngörülebilir biçimde yapabilmek için hızla büyüyen bir talep vardı. Joseph John (J. J.) Thomson'ın 1897'da elektronu bulması elektriğin doğasını açıklığa kavuşturmuş ve vakum tüplerinin geliştirilmesini sağlamıştı.

20. yüzyılın çoğunluğunda vakum tüp amplifikatörleri radyoların, telefon ekipmanlarının ve diğer birçok elektrikli aletin ayrılmaz parçasıydı. İçinde, ısındığında çok sayıda elektron yayan ince bir metal tel bulunan mühürlenmiş bir cam tüpten meydana geliyordu. Negatif yüklü elektronlar, tüpün diğer ucundaki pozitif yüklü metal plakaya doğru akıyor ve elektrik akımını taşıyordu. "Diyot" adı verilen bu basit düzenleme, akımın yalnızca bir yönde akmasını sağlıyordu. Daha karmaşık düzenlemelerde katot ve anot arasına bir veya daha fazla elekt-

rik ızgarası yerleştiriliyordu. Izgaralardaki voltajı değiştirerek elektronların akışı kontrol edilebiliyordu. Her şey dikkatli bir biçimde düzenlenmişse, ızgaraların voltajındaki ufak değişimler akımda büyük değişikliklere neden oluyordu. Buna amplifikatör deniyordu; bir musluk kullanarak suyun akışını kontrol etmeye benziyordu. Musluğu yavaşça çevirmek suyun akışında büyük değişikliklere neden olabiliyordu.

Vakum tüpleri her yerde kullanılıyordu: radyolarda, telefonlarda, telgraflarda, televizyonlarda ve ilk bilgisayarlarda. Ancak birçok açıdan sınırlıydı. Büyüktü ve ısıtılması gerekiyordu. Çok elektrik harcıyor ve çok ısınıyordu. Camdan yapıldıkları için ağır ve kırılgandı; üretimi de maliyetliydi. Aynı zamanda çalışırken gürültü çıkarıyor; bunu kullanan her aygıt bir uğultu yayıyordu.

Birinci Bölüm'de İskoç Aydınlanması'nı incelemiş ve İskoçya'da eğitimin, edebiyatın ve bilimin filizlenmesine önayak olduğunu anlatmıştım. James Clark Maxwell bu dönemin bir ürünüydü; tıpkı ünlü mühendisler James Watt, William Murdoch ve Thomas Telford veya matematiksel fizikçiler Peter Guthrie Tait ve William Thomson (Lord Kelvin) ya da yazar Sir Walter Scott gibi. Bir diğer isim de Kanada'ya göç edip telefonu icat etmeden ve küresel iletişimin temelini atmadan önce Maxwell ile birlikte Edinburgh Üniversitesi'ne katılan Aexander Graham Bell'di.

Bilimsel araştırmaların önemine inanan Bell, şirketi önem kazanmaya başladığında bir araştırma laboratuvarı kurdu. Bell Labs (Bell Laboratuvarları) adını alan bu oluşum gelişerek ABD'li ünlü telekomünikasyon şirketi AT&T'nin araştırma-geliştirme birimine dönüştü ve bünyesindeki biliminsanları tam yedi Nobel Ödülü'ne layık görüldü.[3]

3. John Gertner, *The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation* (New York: Penguin 2012).

Bell Labs'teki biliminsanları son derece özgürdüler; hiçbir ders verme yükümlülükleri yoktu ve istisnai özellikteki bilimsel fikirlerin peşinden gidebiliyorlardı. Ekibe Mervin Kelly adlı bir vizyoner önderlik ediyordu. Onun ellerinde Bell Labs "yaratıcı teknoloji enstitüsü" halini aldı. Fizikçileri, mühendisleri, kimyacıları ve matematikçileri bir araya getiren oluşum, biliminsanlarının "bazen somut amaçları olmayan araştırmaları uzun yıllar boyunca"[4] gerçekleştirmelerine olanak veriyordu. Temel bilişim ve iletişim teorilerinden cep telefonlarına ve Büyük Patlama ışımasının ilk kez saptanmasına kadar birçok keşfe imza attılar; lazerleri, bilgisayarları, güneş panellerini, CCD'leri ve ilk kuantum malzemelerini bulanlar onlardı.

Kuantum teorisinin başarılarından biri de neden bazı maddelerin elektriği iletirken diğerlerinin iletmediğini açıklayabilmesiydi. Katı bir madde birbirine eklenmiş atomlardan oluşur. Her atom da pozitif yüklü bir çekirdeğin etrafındaki bir yörüngede dönen, negatif yüklü bir elektron bulutundan oluşur. En dıştaki elektronlar çekirdekten en uzak ve ona en az sıkı şekilde bağlı olanlardır; metaller gibi iletken maddelerde serbestçe gezinebilir. Bir odadaki hava moleküllerine benzer bir biçimde, bu özgür elektronlar bir metal parçasının içinde sürekli hareket halindedir. Metalin uçlarına bir pil bağlarsanız, özgür elektronlar metal boyunca yalnızca bir yönde sürüklenir ve elektrik akımını oluşturur. Yalıtkan maddelerde ise özgür elektron yoktur ve elektrik akımı da oluşamaz.

II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra Kelly, katı hal fiziği üzerine bir araştırma grubu kurdu. Grubun önderi William Shockley'di. Amaçları, elektriği kötü ileten maddeler olan yarı iletkenleri kullanarak vakum tüplerine ucuz bir alternatif geliştirmekti. Yarı iletkenler zaten kullanılmaktaydı; örneğin "kedi

4. age., s. 149-152.

bıyığı" adı verilen ince bir metal iğnenin, yarı iletken bir kristal (genelde kurşun sülfür veya galena) parçasıyla temas halinde tutulduğu "nokta temaslı" diyotlar vardı. Temas, yüzeydeki bazı noktalarda tıpkı bir diyot gibi davranır ve akımın yalnızca tek bir yönde akmasını sağlar. Erken "kristal" radyo setleri bu diyotları kullanarak "genlik modülasyonlu" AM radyo sinyallerini doğru akıma çevirerek bir kulaklığa yönlendiriyordu. 1930'larda Bell'deki biliminsanları, kristal diyotları çok yüksek frekanslı telefon iletişimlerinde kullanarak keşifler yaptı.

Savaş boyunca germanyum ve silikon gibi yarı iletkenleri saflaştırmak için çok çaba harcandı. Katışkı adı verilen bu maddeler giderilirse elektrik gürültüsünün azaltılabileceği düşünülüyordu.[5] Ancak bir noktada, kristal diyot etkisinin en iyi hissedildiği o sihirli noktaların bu katışkılar olduğu anlaşıldı. Bu kritik önemde bir bulguydu: Elektrik akımını ayrıntılı bir şekilde kontrol etmenin anahtarı katışkıları kontrol etmekti.

Savaştan hemen sonra Shockley yarı iletken bir transistör yapmak istedi ancak başarılı olamadı. Kelly, Shockley'den Katı Hal Fiziği grubunun başına geçmesini istediğinde Shockley, teorisyen John Bardeen'i ve deneyci Walter Brattain'i yanına aldı. İkili daha sonra kristaldeki akıma yük kazandıracak "katkılı", oldukça düşük yoğunluklu katışkılarla yüklenmiş bir germanyum parçasında iki altın temas noktasını kullanarak "nokta teması" fikrini geliştirmeyi denedi.

Yüzey etkileri kafalarını karıştırmıştı. Önce, söz konusu elektrikli aletler olduğunda pek akla yatkın olmayan bir yol denediler ve transistörü suya yerleştirerek bu sorunu çözdüler. İki yıllık çalışmaları, 1947 yılının Kasım-Aralık dönemindeki "mucize ayda" meyve verdi. Altın folyodan bir şeridi plastik bir

5. Bkz. Shockley, Brattain ve Bardeen'in 1956 Nobel Ödülü konuşmaları, çevrimiçi olarak şu adresten erişilebilir: http://www. nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/.

üçgenin etrafına sardılar ve üçgenin köşelerinden birinden şeridi kestiler. Daha sonra altınla kaplı ucu, akımın yarı iletkenin içinden geçmesi için germanyuma soktular. İki altın temastan birine uygulanan voltajın, diğer temastan germanyuma doğru akan akımı, suyun akışını kontrol eden bir musluk misali yükselttiğini gördüler.[6]

Transistörü icat ederek modern elektronik çağın kapısını aralayan Bardeen, Brattain ve Shockley bu buluşlarıyla 1956 Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldüler. Daha sonraları "nokta temaslı" transistörlerin yerini "bağlantılı" transistörler aldı ve zamanla bunlar da silikondan yapılmaya başlandı. Bir süre sonra ekip dağıldı. Bardeen Illinois Üniversitesi'ne geçti ve burada ikinci bir Nobel Ödülü kazandı. Shockley Kaliforniya'ya taşındı ve Shockley Semiconductor adlı şirketi kurdu. Yanında çalışmaya başlayan sekiz kişi zaman içinde Shockley ile fikir ayrılığına düşünce oradan ayrılıp Fairchild ve Intel'i kurdular ve böylece Silikon Vadisi'nin kurulmasına önayak oldular.

Transistörler elektrik akımını karmaşık, isabetli ve güvenilir bir biçimde kontrol edebiliyordu. Üretimi ucuzdu ve gittikçe daha küçük boyutlarda üretilmeleri mümkün oldu. Günümüzde daha hızlı ve güçlü bir bilgisayar yapmak, neredeyse tamamen tek bir mikroişlemciye ne kadar transistör sığdırabileceğinizle ilgili bir hale geldi.

Geçtiğimiz kırk yılda, bir santimetrekarelik alana sığabilecek transistör sayısı her iki yılda bir ikiye katlandı. Moore kanunu olarak bilinen bu etki, bilişim ve iletişim endüstrilerinin hızlı büyümesinin temelini oluşturur. Artık sıradan bir akıllı telefonun veya bilgisayarın ana işlemcisinde milyarlarca transistör bulunur. Fakat atomun boyutundan ve Heisenberg'in belir-

6. Michael Riordan ve Lillian Hoddeson, *Crystal Fire: The Invention of the Transistor and the Birth of the Information Age* (New York: W. W. Norton, 1997), s. 115-141.

sizlik ilkesinden kaynaklanan temel sınırlamalar da mevcuttur. Moore kanunuyla bir arada düşünüldüğünde, transistörler on ila yirmi yıl içerisinde nihai sınırlarına ulaşacak.

Modern bilgisayarlarda, bilgi 0 ve 1'lerden meydana gelen dizgilerden oluşur. Bunlar elektrik yüklerinin veya akımlarının ya da maddenin manyetize edilmiş hallerinde saklanır ve bilgisayar programının talimatları doğrultusunda elektrik sinyalleri aracılığıyla işlenir. Bir saniye içerisinde milyarlarca hafıza elementinde milyarlarca işlem yapılır. 0'ların ve 1'lerin öngörülemez değil de isabetli biçimde saklanması ve değiştirilebilmesi bilgisayar işlemleri için hayati önem taşıyor.

Sorun şu ki bir bilgisayarın hafızasının hareketli kısımlarını –özellikle elektronları– sabit tutmak kolay bir iş değildir. Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre eğer bir elektronun konumunu belirlersek hızı belirsizleşir ve nereye yöneleceğini bilemez oluruz. Eğer hızını ve dolayısıyla taşıdığı elektrik akımını belirlersek bu kez de konumu belirsizleşir ve nerede olduğunu bilemeyiz. Söz konusu çok sayıda elektronsa bu sorun önemini yitirir, çünkü bir aygıtı çalıştırmak için ortalama bir akım veya yük yeterli olur. Birçok elektron için bunlar son derece isabetli bir biçimde öngörülebilir. Ancak süreçte yalnızca birkaç elektronun mevcut olacağı kadar küçük devreler söz konusu olduğunda, kestirilemez kuantum doğaları, bilgisayar işlemlerindeki hataların, yani "gürültünün" temel nedeni haline gelir. Günümüzün bilgisayarları bir bit veriyi yaklaşık bir milyon atomda ve elektronda saklar. IBM Laboratuvarları'ndaki biliminsanları ise 12 atomluk bit kaydı almayı başardılar ve buna da "atomik ölçekli bellek" adını verdiler. [7]

7. Sebastian Loth, *vd.*, "Bistability in Atomic-Scale Antiferromagnets", Science 335, no. 6065 (Ocak 2012), s. 196, özeti için bkz. http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_ computing/article/atomic_scale_memory.html.

KUANTUM BELİRSİZLİĞİNİ YARI İLETKENLERDEKİ katışkıların modern versiyonu gibi düşünebiliriz. Başlangıçta bu katışkılar bir sorun gibi algılanmıştı ve giderilmeleri için büyük miktarlarda para harcanmıştı. Ancak zamanla bu katışkıların değiştirilip kullanışlı hale getirilebileceği fark edildi ve düşük maliyetli, güvenilir transistörler böylece geliştirilebildi. "Kuantum belirsizliği" de şimdi aynı yoldan geçiyor. Klasik bilgisayarlar açısından bakılınca, kuantum belirsizliği giderilemeyen bir gürültü kaynağından başka bir şey olmasa da onunla kuantum belirsizliğiyle mücadele etmek yerine onu nasıl kullanabileceğimizi anlayabildiğimizde yepyeni ufuklar açıyor önümüze.

1984'te Santa Barbara'daki California Üniversitesi'nde postdoktora araştırmacısıydım. Richard Feynman'ın üniversiteye geleceği ve kuantum bilgisayarları hakkında bir konuşma yapacağı duyurulmuştu. Feynman kahramanlarımızdan biriydi ve bu onu bizzat göreceğim anlamına geliyordu. Feynman'ın konuşması bilgisayar biliminin sınırları olup olmadığı sorusuna odaklanmıştı. Bazı biliminsanları bir bilgisayarın her işleminin kaçınılmaz olarak bir miktar enerji tükettiğini ve bunun da bir bilgisayarın gücünü ve boyutunu bir noktada sınırlayacağını savunuyordu. Bu iddia Feynman'ı cezbetmişti ve söz konusu sınırlandırmaları aşan bir tasarım ortaya attı.

Savunduğu birkaç nokta vardı. Hafızasına kaydedilen hiçbir şeyi silmeyen (veya bunların üzerine bir şey kaydetmeyen) "geri alınabilir" bir bilgisayar fikrinden bahsetti. Anlaşılan o ki enerji sınırlandırmasını aşmaya yetiyordu bu düşünce. Diğer bir fikri de bilgisayar işlemlerinin gerçekten kuantum yöntemleri kullanarak nasıl yapılabileceği üzerineydi. Kollarını sallayışını (dinleyicileri nasıl etkileyeceğini bilirdi) ve kuantum süreçlerinin nasıl ileri geri çalışarak size tam da ihtiyacınız olan şeyi verdiğini anlatışını daha dün gibi hatırlıyorum.

Feynman'ın konuşması tamamen teorikti. Böyle bir cihazı oluşturmaktan hiç bahsetmedi. Aynı şekilde bir kuantum bilgisayarının yapabildiği ancak normal bir bilgisayarın yapamadığı şeylere dair somut örnekler de vermedi. Teori hakkındaki konuşması oldukça basitti ve içerdiği şeylerin birçoğu günümüzün herhangi bir ders kitabında bulabileceğiniz şeylerdi. Aslına bakarsınız anlattığı şeylerin onlarca yıl önce konuşulmaması için hiçbir neden yoktu. Bu, kuantum teorisinin tipik bir özelliğidir aslında: Sezgilerimize o kadar ters gelen bir yapısı vardır ki, yeni ve beklenmedik sonuçları bugün bile ortaya çıkabilir. Feynman bir kuantum bilgisayarının ne işe yarayacağı konusunda somut hiçbir örnek vermese de, sadece bu olasılığı zikrederek bile birçok insanı düşüncelere itti. Gittikçe daha çok insan bu konu üzerinde çalışmaya başladı.

1994'de hiç umulmadık bir şey oldu. Bell Labs'te çalışan ABD'li matematikçi Peter Shor bir kuantum bilgisayarının, çok büyük sayıların asıl çarpanlarını, klasik bilgisayarlarda kullanılan yöntemlerden çok daha hızlı bir şekilde hesaplayabileceğini matematiksel olarak kanıtladı. Sonuçlar herkesi şok etti; ne de olsa verilerin şifrelenmesinin (hükümetlerin, bankaların ve internetin güvenlik sistemleri açısından çok önemli bir faktördü bu) güvenli olması, büyük ölçüde büyük sayıların asal çarpanlarını bulmanın çok zor olmasını temel alıyordu. Örneğin rastgele 400 haneli bir sayı yazarsanız (ki bu 5 dakikanızı alabilir), bilinen en güçlü klasik bilgisayarın en iyi algoritmasının, bu sayının asal çarpanlarını bulabilmesi, evrenin yaşından daha uzun sürecektir. Shor'un çalışmaları ise kuantum bilgisayarlarının aynı işlemi göz açıp kapayıncaya kadar yapabileceğini gösterdi.

Bir kuantum bilgisayarını klasik bilgisayardan çok daha güçlü kılan şey nedir? Klasik bilgisayar dediğimiz şey, bilgileri otomatik olarak işleyen bir makine. Bilgi bilgisayarın belleğinde saklanır ve "program" dediğimiz, yine bilgisayarın bel-

leğinde yer alan, önceden belirlenmiş talimatlara göre okunur ve değiştirilir. Klasik bilgisayarlar ve kuantum bilgisayarları arasındaki temel ayrım, bilginin saklanış şeklinde yatar. Klasik bilgisayarda bilgi "bit" adı verilen ve 0 veya 1'den başka bir değer alamayan dizgilerde saklanır. Dizgi uzadıkça bit düzenlemelerinin sayıları üstel olarak büyür, yani tek bir bit için iki düzenleme, iki bit için dört, üç bit için sekiz, üç yüz bit için neredeyse bir googol (kendinden sonra yüz tane sıfır olan bir) kadar düzenleme biçimi bulunur. Alfabenin bir harfini kodlamak için beş bit, bunun gibi bir kitaptaki tüm bilgiyi kodlamak içinse iki yüz milyon bit gerekir. Bugün sıradan bir dizüstü bilgisiyarın belleği gigabaytlarla ölçülür. Her bir baytın 8 bit olduğu düşünüldüğünde yaklaşık on milyar bit eder bu ve her gigabayt da beş bin kitabı saklayabilir.

Kuantum bilgisayarları ise tamamen farklı bir yapıda çalışır. Bellekleri kuantum bitin kısaltması olan "kübit"lerden oluşur. Kübitler de 0 veya 1 olarak okunabilmeleri açısından klasik bitlere benzer. Ancak benzerlikleri burada biter. Kuantum teorisine göre kübit, normalde *süperpozisyon* halinde bulunur, yani aynı anda hem 0 hem de 1 olur. Bu durumdaki 0 veya 1 miktarı, kübit okunduğu zaman 0 veya 1 elde etmenin olasılığını gösterir.

Bir kübitin durumunun sürekliliğe sahip bir nicelik (belli bir durumdaki 0 veya 1 oranı) tarafından belirleniyor olması, bir klasik bitin saklayabileceğinden sonsuz kez daha fazla bilgi saklayabileceğine işaret eder.[8] Bu durum birden fazla kübit söz konusuyken ve bunlar *dolanık* durumdayken daha da ilginçleşir. Klasik bilgisayarların aksine kübitlerin tek başına okunamayacağı anlamına gelir: Birinden aldığınız değer, diğerinden

8. Aslında bir kübitin kuantum durumu, iki boyutlu bir alandaki yerini belirleyen iki gerçek sayı tarafından belirlenir.

alacağınız değeri etkiler. Örneğin eğer iki kübit dolanık durumdaysa, birini ölçtüğünüzde aldığınız değer, diğerinin vereceği değeri belirler. Dolanık kübitlerden oluşan bir küme, parçalarının toplamından çok daha büyük bir anlam ifade eder.

Shor bu özellikleri kullanarak asal çarpanları hızla belirlemeyi başardı. Bir sayının asal çarpanlarını klasik yöntemle bulmaya kalkarsanız,[9] kaba kuvvet yöntemi olarak adlandırılan yolla, sayınızı bölebileceğiniz kadar fazla kez ikiye, sonra da üçe, beşe vs. bölmenizi söyler. Daha fazla bölemeyecek aşamaya gelene kadar bölmeye devam etmeniz gerekir. Shor ise bir kuantum bilgisayarının tüm bu işlemleri aynı anda yapabildiğini fark etti. Bilgisayardaki kübitlerin kuantum durumu, birçok farklı klasik durumu eşzamanlı olarak şifrelediği için, tüm bu işlemler "paralelde" yapılabilir ve böylece işlemin hızı olağanüstü bir biçimde artırılabilirdi.

Shor'un keşfi tüm dünyayı bir kuantum bilgisayarı inşa etme yarışına soktu. Atomik ve nükleer spinlerden ışığın polarizasyon durumlarına, süperiletken halkaların akım taşıyıcı durumlarına kadar kübitin birçok farklı halini içeren çok çeşitli kuantum teknolojileri kullanıldı. Geçtiğimiz yıllarda bu yarış bir heyecan fırtınasına dönüştü. Bu kitap yazılırken, IBM'deki araştırmacılar "ölçeklenebilir" bir kuantum bilgisayar teknolojisi geliştirmeye çok yakın olduklarını söylüyorlardı.

Bilgi işleme becerilerimizi iyileştirmemiz ne anlama gelir? Günümüzdeki halimizi, parmak ucumuzdaki uçsuz bucaksız kitaplıkları –geleceğin daha da büyük kitaplıklarını– modern bilim çağındaki biliminsanlarınınkiyle kıyaslayınca ortaya hayret verici bir sonuç çıkar. Isaac Newton'ın, Cambridge'teki Trinity College'daki Wren Kütüphanesi'nde görülebilen kişisel

9. Eukleides'e dayanan, aritmetiğin temel teoremi adlı bir teori, böyle bir çarpanlara ayırma şeklinin benzersiz olduğunu gösterir.

kitaplığında birkaç yüz kitap bulunur. Modern fiziği ve matematiksel bilimi kurması için bu kadarı yeterli olmuştu. Biraz ötedeki üniversite kütüphanesinde Charles Darwin'in kişisel kitaplığı da görülebilir. Bütün kitapları on metrelik bir rafa sığıyor. Benzer şekilde bu da, bilim tarihinin en sıradışı düşünürlerinden biri için oldukça küçük bir koleksiyon.

Günümüzde, akıllı telefonlarımız sayesinde elimizin altındaki bilgi kaynağı herhangi bir kütüphanedekinden çok daha geniştir. Ve Moore yasasına göre birkaç onyıl içinde yazılmış her bir kitap dizüstü bilgisayarınıza sığabiliyor olacak. Bir kuantum dizüstü bilgisayarı, adeta Jorge Luis Borges'in Babil Kütüphanesi'ni –olası her harf ve kelime dizisini, dolayısıyla yazılabilecek tüm kitapları barındıran fantastik kütüphaneyi– andıracak. Bir kuantum kütüphanesiyle de bir metnin tüm ilgi çekici bölümlerini, kimsenin bunları derlemesine ihtiyaç duymadan arayabileceğiz.

Kuantum bilgisayarlarının ve kuantum iletişiminin bazı faydalarını kafamızda canlandırmak kolaydır. Günümüzde banka hesaplarını, bilgisayar şifrelerini ve kredi kartı bilgilerini koruyan kodlar, büyük sayıların asal çarpanlarını bir klasik bilgisayar kullanarak bulmanın oldukça zor olduğu kabulüne dayanır. Ancak Peter Shor'un gösterdiği gibi kuantum bilgisayarları bu çarpanları çabucak bulabilir, bu da günümüzün güvenlik protokollerini geçersiz kılar. Ayrıca kuantum verileri klasik verilere kıyasla saldırılara karşı doğası gereği daha dayanıklıdır; ne de olsa temel fizik kurallarınca korunur. Klasik verileri okumak bu verilere hiçbir etki etmez, oysa kuantum fiziğine göre, bir kuantum sistemini incelemek neredeyse her zaman onun kuantum durumunu değiştirir. Bu etki sayesinde kuantum verilerinin gizlice gözlendiğini veya hack'lendiğini saptamak kolay olur. Böylece kuantum verileri, casusluğa karşı klasik verilerin olabileceğinden çok daha güvenlidir.

Kuantum bilgisayarları paralelde veri işleme kapasitemizi de değiştirebilir; bu da toplumsal yararı olacak sistemleri doğurabilir. Günümüzde çok tartışılan bir öneri, her eve oldukça duyarlı biyokimyasal kuantum algılayıcıları yerleştirilmesini tartışmaya açtı. Buna göre, her birimizin ayrıntılı tıbbi durumu sürekli gözlemlenebilir olacak; veriler, onları işleyip herhangi bir risk ihtimalini bilgisayar bankalarına iletebilecektir. Herhangi bir tedavinin veya perhiz değişiminin ya da başka herhangi bir müdahalenin sonuçları sabit bir yerde toplanabilecektir. Böylesi bir veri tabanına ve veri işleme gücüne erişmek tıbbı baştan yaratabilir. Her birimiz daha önce görülmemiş ölçekte ve isabetlilikteki tıp deneylerinin parçası olabiliriz.

Ancak kuantum bilgisayarlarının açık ara en büyük etkisi yine bizim üzerimizde olacak gibi görünüyor.

KANADALI İLETİŞİM GURUSU Marshall McLuhan iletişim teknolojilerimizin bizi değiştirdiği fikrine vurgu yapmıştı. McLuhan'ın 1964 tarihli *Understanding Media: The Extensions of Man* adlı eseri, pop müzik ve televizyondan büyük şirketlere kadar basın yayın öğelerinin her türlü kullanım şekline dikkat çekmişti. McLuhan'ın yazıları analitikten ziyade edebiydi, ancak temel öngörüsü şuydu: Tüm basın yayın biçimlerinin reklamlar oyunlar, **arabalar,** daktilolar (unutmayın, o zamanlar bilgisayar yoktu!), kitaplar, telefonlar, gazeteler gibi içerikleri, fiziksel biçimlerinden ve davranışlarımız üzerindeki doğrudan etkisinden daha az önemlidir. Bu düşüncesini ünlü "Araç, mesajın ta kendisidir" deyişiyle özetlemişti. Günümüzde, çevrenizde gözleri akıllı telefonlarına sabitlenmiş, mesajlaşan veya e-posta gönderen, aletlerinin pençesine düşmüş, etraflarının farkında olmayan insanları gördüğünüzde ne demek istediğini anlayabilirsiniz.

McLuhan'ın demek istediği şey medyanın binyıllardır üzerimizde böylesi bir etkisi olduğuydu. Kısa bir süre düşünürseniz,

düşüncelerimizi yazıya –Avrupa dilleri söz konusu olduğunda 26 harflik bir alfabeyle yazılmış kelimelere– indirgemenin ve dolayısıyla onları sınırlamanın, topluma hükmedecek kadar büyük güce sahip bir alete dönüşmesi hem hayret verici hem de oldukça komik. Yazı kendimizi deneyimlediğimiz dünyadan çıkarıp fikirlerimize odaklanmak, şekil vermek ve onları duyurmak için bir araçtır. Kendimizi metinlere –yazıtlardan ders kitaplarına, ansiklopedilere, romanlara, siyasi ilanlara, yasalara ve anlaşmalara– adamamızın ve yaşamlarımızı kontrol etmelerine izin vermemizin kimliğimiz üzerinde devasa bir etkisi vardır. McLuhan'a göre matbaa bakış açımızı tamamen değiştirdi, görsel duyumu ön plana çıkardı; böylece bilgiyi bölümlere ayırıp uzmanlaşmamızı ve bireycilikten bürokrasiye, milliyetçi savaşlardan mide ülserine ve pornografiye kadar birçok şeyin gelişiminde rol oynadı.

McLuhan her bir kitle iletişim aracına –bu ister basın, ister fotoğraf, radyo ya da televizyon olsun– benzer şekilde yaklaşıyordu: Kendi sinir sistemimizin, doğamızı ve bunun sonucunda da toplumumuzu çarpıcı bir biçimde değiştiren uzantılarıydı her biri. "Elimize geçen her tür teknolojiyi kullanarak kendimizi şiddetle değiştirmekten hiç vazgeçmedik," diyordu *The Future of Man in the Electric Age* adlı eserinde. "Hayatlarımızı aralıksız olarak sekteye uğrattık."[10]

McLuhan elektronik medyanın bilgisayarlarla birleşeceğini ve bilgiyi düşük bir maliyetle ve anlık olarak, birçok farklı biçimde dünya geneline yayacağını isabetli bir şekilde öngörmüştü. İnternetin ortaya çıkmasından 30 sene önce, "Bir sonraki araç her ne olursa olsun –bilincimizin bir uzantısı da olabilir– televizyonu ortam olarak değil, içerik olarak barındıracak ve onu

10. Marshall McLuhan, *Understanding Me: Lectures and Interviews, Stephanie McLuhan ve David Staines* (ed.) (Toronto: McClelland & Stewart, 2005), s. 56.

bir sanat biçimine sokacaktır. Bilgisayarın araştırma ve iletişim aracı olarak kullanılması bir bilgiye ulaşmayı kolaylaştırabilir, kitle kitaplıklarını geçersiz kılabilir, bireyin ansiklopedik işlevini geri getirebilir ve kişiselleştirilmiş, izole edilebilir veriye hızlıca erişimi sağlayan bir özel hatta dönüşebilir."[11] Dahası, McLuhan iyimser bir öngörüde bulunarak, matbu kelimelerin körelttiği duyularımızın tekrar serbest kalabileceğini, birleşmiş, kusursuz bir deneyim ağı sayesinde tüm duyularımız arasında, okuma yazma bilmediğimiz çağlarda mevcut olan "kabile dengesinin" tekrar sağlanabileceğini söylemişti. Elektronik iletişim bizi birbirimize bağladıkça dünya "küresel bir köy" halini alıyor; bu da McLuhan'ın dilinden düşürmediği söylemlerden biriydi.

Düşünsel açıdan McLuhan kendinden önce gelen gizemli, vizyoner bir kişiliğe, Teilhard de Chardin'e çok şey borçludur. Bir Cizvit rahip, jeolog ve "Pekin adamının" bulunuşunda rol oynayan bir paleontolog olan De Chardin, evrene ve onun içindeki yerimize geniş bir açıdan bakıyordu. Bu bakış açısı McLuhan'a da etki etti ve onun en önemli görüşlerinden bazılarına ilham verdi. Tıpkı McLuhan gibi küresel iletişimi ve interneti öngören De Chardin 1950'lerde "olağanüstü radyo ve televizyon iletişim ağının bizi, hepimizi, 'narkoz altındaki' insanlık bilincimizin içinde birbirimize bağladığını" yazmıştı. "Bu hayret verici elektronik bilgisayarlar düşünme hızını katlıyor ve araştırma yapma hızında bir devrimin adımlarını atıyor," demişti. Ona göre bu teknoloji "insanlığın sinir sistemi", "akıllara durgunluk verecek bir düşünme makinesi" olacaktı. "Uygarlık çağı bitti ve *tek uygarlık* çağı başlıyor." [12]demişti.

11. Marshall McLuhan ve Bruce Powers, *Global Village: Transformations in World Life and Media in the 21st Century* (New York: Oxford University Press, 1992), s. 143.
12. Pierre Teilhard de Chardin, Tom Wolfe'un Marshall McLuhan'ın *Understanding Me: Lectures and Interviews* adlı eseri için yazdığı önsözden alıntı. Stephanie McLuhan ve David Staines (ed.) (Toronto: McClelland & Stewart, 2005), s. xvii.

En önemli eseri *La Phénomène Humain*'de savunduğu fikirlerin uzantılarıydı bunlar. Eserini 1930'ların sonlarında tamamladı, ancak bağlı bulunduğu dini tarikat, aykırı görüşleri nedeniyle De Chardin'in herhangi bir çalışmasını yayımlamasına izin vermedi. Bu nedenle De Chardin'in kitapları ve denemelerinden oluşan birçok derleme 1955'teki ölümünden sonra yayımlanabildi.

De Chardin Katolik bir rahip olsa da Darwin'in evrim fikrini şaşmaz bir gerçek olarak benimsemiş ve onun çevresinde fütüristik bir vizyon inşa etmişti. Fiziksel evrenin sabit bir şekilde sürekli evrildiğini görmüştü. *La Phénomène Humain* şaşırtıcı derecede modern terimler içeren bir "evren tarihi" sunar. De Chardin bu konuda muhtemelen başka bir Cizvit rahipten, Büyük Patlama kozmolojisinin kurucusu Georges Lemaître'ten ilham almıştı.

De Chardin parçacıklardan atomlara ve moleküllere, yıldızlardan gezegenlere, karmaşık moleküllere, canlı hücrelere ve bilince kadar evrende karmaşıklığın ortaya çıkışını, madde ve enerjinin sürekli "içe döndüğü", bu süreçte de evrenin kendi bilincinin farkına vardığı bir süreç olarak tanımlıyordu. İnsanlar özbilince sahiptir ve bütün için kayda değer bir önem teşkil ederler. De Chardin, Julian Huxley'nin onayladığı bir cümlesini alıntılar: "İnsan, *evrimin kendi bilincine varmasından başka bir şey olmadığını* fark eder."[13] Huxley 19. yüzyılda evrim teorisini açıkça savunduğu için "Darwin'in buldogu" olarak tanınan ünlü biyolog T. H. Huxley'nin torunuydu. Ayrıca genetiği evrimle ilişkilendiren "modern evrimsel sentezin" de kurucularından biriydi. De Chardin, Huxley'nin açıklamasını aldı ve onu kozmik ölçeğe taşıdı: Dünyanın küre biçimli yüzeyine mahkûm olan insan toplumu, en nihayetinde oldukça büyük bir canlı hücre haline gelecek olan şeye gitgide daha

13. Pierre Teilhard de Chardin, *The Phenomenon of Man* (Harper Colophon, 1975), s. 221.

fazla bağlanacaktı. Kendi farkındalığı ve buluşları sayesinde evrimine biyolojik olmayan yöntemlerle devam edecek ve "Omega Noktası" adını verdiği, nihai bir evrensel farkındalık durumuna ulaşacaktı.

De Chardin'in argümanları bulanık, üstü kapalı ve iddia ettiğinin aksine pek de bilimsel değildi; ne de olsa hücrelerin ve yaşamın oluşumu veya bilincin ortaya çıkması gibi kilit önemdeki birçok konu, tıpkı geleceğin ta kendisi gibi, günümüzde hâlâ idrakımızın dışındadır. Yine de De Chardin'in bakış açısı, evrimin içinde gizli olan ve dünyanın fiziksel varlığı içerisindeki karmaşıklığın artmasına yardımcı bir potansiyel gördüğü için kaydadeğer bir özellik taşır. İnsanlık teknoloji aracılığıyla geliştikçe bu potansiyel daha da belirgin bir hal alıyor ve eskiden evrimin itici gücü olan biyolojik uyum sağlamanın yerine geçiyor. De Chardin'in kitabı için önsöz yazan Huxley, "Dünyanın uçsuz bucaksız geleceğinin sahip olduğu tüm olasılıklar bize, insanlığa aittir. Ve biz, sahip olduğumuz bilgiyi ve sevgiyi artırdıkça çok daha fazlasını başarabiliriz. Bana öyle geliyor ki *La Phénomène Humain*'nin özü de bundan ibarettir."[14]

McLuhan ve De Chardin dijital çağı ve elektronik iletişimin toplumumuzu nasıl değiştireceğini isabetli bir biçimde öngördüler. McLuhan'ın dediği gibi "Çağımızın aracı ya da süreci olan elektrik teknolojileri, toplumun birbirine bağımlılığını ve kişisel yaşamımızın her yönünü yeniden biçimlendirir. Siz, aileniz, mahalleniz, işiniz, hükümetiniz ve 'başkalarıyla' ilişkiniz; her şey değişime tabidir, üstelik çarpıcı bir biçimde." McLuhan internetin ve sosyal medyanın getirebileceği tehlikelerin bazılarına dair tahminlerde de bulunur. "Elektronik olarak bilgisa-

14. Julian Huxley; Pierre Teilhard de Chardin'in *The Phenomenon of Man* adlı eseri için yazdığı giriş yazısından alıntı (HarperCollins Canada, 1975), s. 28.

yarlaştırılmış bir dosya bankasından, hiçbir şeyi unutmayan ve affetmeyen, kurtuluşun olmadığı, eski 'hataların' silinemediği o dedikodu köşesinden" bahsetmişti.[15]

Ufuk açıcı bu sözler analog doğamızla dijital bilgi arasındaki çatışmaya dikkat çeker. Bedenlerimiz ve duyularımız sürekli bir biçimde, tıkır tıkır işler ve biz de müzik, sanat veya doğal deneyimler arasında en çok, zengin ve sürekli dokulara sahip olanlara tutunuruz. Dijital dünyada yaşayan analog canlılarız; yüzlerimiz ise kuantum geleceğe dönük.

DİJİTAL BİLGİ BİLDİĞİMİZ EN HAM, en küt, en kaba bilgi biçimidir. Her şey sonlu 0 veya 1 dizgilerine; siyah ya da beyaza; evet ya da hayıra indirgenebilir ve kolayca kopyalanabilir. Hiçbir şey tamamen belirsiz değildir. Her şey çok kolay hatırlanabilir. Analog bilgi ise tabii ki daha zengindir. Analog bir sayı dijital bitlerden oluşan sonlu bir sayının alabileceğinden sonsuz kez daha fazla değer alabilir.

Analog sesten dijital sese geçiş –plak ve kasetlerden CD'lere ve MP3'lere geçiş– günümüzde yankıları halen devam eden bir tartışma yarattı: Dijital kopyalar, analoglar kadar tatmin edici değil miydi? Daha fazla dijital bit kullandıkça, analog bir sesi istediğiniz kesinlikte taklit edebilirsiniz. Ancak analog sesin doğası gereği daha incelikli ve daha az kulak tırmalayıcı olduğu gerçeğini değiştiremezsiniz.

Yaşamın DNA'sı dijital bir koddur. Mesajları dört harfli bir alfabeyle yazılan üç harfli "kelimeler" ile iletilir. Her kelime bir amino asiti; her cümle de uzun bir amino asit dizgisinden oluşan bir proteini kodlar. Proteinler yaşamın temel mekanizmasını oluşturur; bazıları da bizzat daha fazla protein oluşması için

15. Marshall McLuhan ve Quentin Fiore, *The Medium Is the Message: An Inventory of Effects* (Toronto: Penguin Canada, 2003), s. 12.

DNA'yı okuyup kopyalamakla görevlidir. Yaşamın akıl almaz çeşitliliğinin ve güzelliğinin bu şekilde kodlanmış olması inanılmaz bir şeydir, ancak DNA kodunun kendisinin hiçbir şekilde canlı olmadığını da unutmamak gerekir.

Yaşamın temeli dijital olsa da tüm canlılar analog varlıklardır. Plazmalardan, dokulardan, zarlardan oluşur, enzim konsantrasyonlarına dayanan kimyasal tepkimeler tarafından kontrol ediliriz. DNA'mız yalnızca doğru moleküller, sıvılar, enerji ve besin kaynaklarıyla dolu bir ortamda bulunduğunda canlanır. Bu unsurların hiçbirine dijital denemez. Yeni DNA dizinleri ancak mutasyon ve karışımların sonucu olarak ortaya çıkar; bunların da kaynağı ya çevreseldir ya da kısmen kuantum mekaniğidir. Dolayısıyla evrime yön veren en önemli süreçlerin ikisi –farklılık ve seçilim– *dijital değildir*. Yaşamın dijital bileşeninin yani DNA'nın en temel özelliği, belirsizliğe yer olmayan, ısrarcı doğasıdır. Çoğalıp RNA'ya veya proteinlere dönüşebilir, bunu da isabetli ve etkin bir biçimde yapar. İnsan bedeni on milyarlarca hücre barındırır ve bunların her biri DNA'nın birebir bir kopyasıdır. Ne zaman bir hücre bölünse, DNA kopyalanır.

Dijital bir unsur olan DNA'yı yaşamın temeline koymak ve canlı bedenlerimizin yalnızca DNA'yı koruyan ve onun çoğalmasını sağlayan birer "hizmetkâr" olduğunu söylemek çekici geliyor olabilir. Ancak bence şunu söylemek de mümkün: Temelinde analog olan yaşam, çoğalma yetisini korumak için dijital bir hafıza kullanır. Yani aslında yaşam kabaca dijital hafıza ile analog işlemlerin halinden memnun bir birleşimi.

İlk bakışta sinirlerimiz ve beyinlerimiz de dijital gibi görünebilir; ne de olsa –tıpkı 0 veya 1 olabilen dijital saklama unsurları gibi– uyarıcılar sonucu ya "ateşlenir" ya da "ateşlenmez." Ancak sinirlerin ateşlenme oranı sürekli değişebilir, üstelik sinirler senkronik olarak ateşlenebilme veya tamamen dağınık örüntüler sergileyebilme özelliğine sahiptir. Sinyallerin sinaps-

lardan geçmesi gibi kritik adımlardaki biyomolekül yoğunluğu ve akışı gibi nicelikler aslında tamamen analogdur. Genele bakıldığında beyinlerimiz, dijital işlemcilerden çok daha incelikli ve karmaşık sistemlerdir. Analog doğamız ve bilgisayarlarımız arasındaki bu ayrışım, anlaşılabilir bir biçimde, onların bizim için pek tatmin edici arkadaşlar olmadığını da açıklar.

Yeteri kadar dijital bit kullanıldığında analog bilgi her zaman taklit edilebiliyor olsa da analog bilginin dijitalden kat be kat zengin olduğu da herkesçe bilinen bir gerçektir. Kuantum bilgi ise defalarca kat daha zengindir. Bir kübit kuantum bilgisi, değerlerden oluşan bir süreklilikle tanımlanır. Kübitlerin sayısını artırdıkça, onları tanımlamak için gereken sürekli değerlerin sayısı da üstel olarak artar. 300 kübitlik bir kuantum bilgisayarının durumu (ki bu, bilgisayarın bir sırada yalnızca 300 atomluk bir zincirden oluştuğu anlamına gelebilir), analog şekilde temsil edebileceğimizden daha çok sayıyla tanımlanacaktır. Gözlemlenebilir evrenin tamamında yer alan 10 üzeri 90 civarı sayıda parçacığın her biri için üç boyutlu bir konum kullansak bile böyledir bu.

Fiziksel parçacıkların kuantum bilgi taşıyabilmesinin şaşırtıcı başka sonuçları da vardır. Bunlar iki parçacığın kuantum durumlarının içsel olarak birbirine bağlı olduğu dolanıklıktan ileri gelir. İkinci Bölüm'de Einstein-Podolsky-Rosen deneyinde, zıt yönlere uçan iki parçacığın spinlerinin nasıl birbirine "dolanık" olduğunu açıklamıştım. Parçacıkların spinlerini uzayda belli bir eksen boyunca gözlemlediğinizde, parçacıklardan birinin spini yukarı dönükken diğerininkinin aşağı dönük olduğunu görüyordunuz. Einstein'ın "uzaktan ürkütücü eylem" adını verdiği bu bağ, parçacıklar birbirinden ne kadar uzaklaşırsa uzaklaşsın varlığını sürdürüyordu. Yine İkinci Bölüm'de bahsettiğimiz gibi bu, kuantum teorisinin öngörülerinin klasik fikirlerle ele alınamayacağını gösteren Bell teorisinin temelidir.

1980'lerden itibaren, elektronların bu ilginç dolanıklığı toplu halde sergilediği malzemeler bulundu. Alman fizikçi Klaus von Klitzing bir parça yarı iletkenin çok düşük bir sıcaklıkta güçlü bir manyetik alana yerleştirildiğinde, elektriksel iletkenliğin (elektrik akımının bir malzemeden ne kadar kolayca aktığının ölçümü) kuantalandığını fark etti. İletkenlik temel bir birimin tam sayı katlarında değer alabiliyordu. Elde edilen sonuç oldukça ilginçti; musluğu açınca suyun yalnızca sabit, belli bir miktarda veya musluğu nasıl ayarladığınıza göre bu miktarın iki ya da üç katı aktığını görmek gibiydi. İletkenlik teller veya iri madde kütleleri gibi büyük eşyaların bir özelliğiydi. Bunun da kuantalanabileceğini kimse beklemiyordu. Von Klitzing'in keşfinin önemi, doğru şartlar altında kuantum etkisinin oldukça büyük nesneler için bile hâlâ önemli olabildiğini göstermesiydi.

İki sene sonra beklenmedik bir şey oldu. Bell Labs'te çalışan Alman fizikçi Horst Störmer ve Çinli fizikçi Dan Tsui iletkenliğin, temel biriminin 1/3'ü, 2/5'i ve 3/7'si gibi kesirli değerler de alabileceğini keşfetti. Stanford'da çalışan ABD'li teorisyen Robert Laughlin bu sonucun, malzemenin içindeki tüm elektronların toplu davranışından kaynaklandığını öne sürdü. Dolanık hale geldiğinde, taşıdığı elektrik yükü, bir elektronun yükünün kesirleri oranında belirlenen yeni, tuhaf kimliklere bürünebiliyordu.

Bu keşiflerden beri katı madde fizikçileri, içerdiği kuantum parçacıkları klasik yollarla imkânsız olan biçimlerde davranış gösteren daha fazla sistem örnekleri keşfetti. Bu gelişmeler, bir materyal üzerinden yük taşıyan elektronlar benzeri geleneksel *bireysel* parçacık anlayışını değiştirmeye başladı. Transistörlerin geliştirilmesinde yol gösterici olan bu tablo, günümüzde maddenin olası halleri kavramı için fazla kısıtlayıcı görülür. Kuantum madde çok daha çeşitli hallerde bulunabilir. Bildiğimiz kadarıyla evrende daha önce hiç var olmamış bu yepyeni

madde hallerinin olası kullanımları yeni keşfedilmeye başlanır. Kuantum elektroniği ve kuantum araçlarının, daha önce hiç görmediğimiz şeyleri mümkün kılabilecek yeni bir çağ açması çok olasıdır.

20. YÜZYILIN BAŞLARINDA bildiğimiz en küçük madde parçası atom çekirdeğiydi; en büyüğü ise galaksimizdi. Bu yüzyıl boyunca en güçlü mikroskoplarımız ve teleskoplarımız, atom çekirdeğinin on binde birini ve galaksimizden yüz bin kat daha fazlasını görmemize olanak sağladı.

Geçtiğimiz on yılda gözlemlenebilir tüm evrenin haritasını çıkardık. Bu harita on dört milyar ışık yıllık bir mesafeye kadar uzanır. Uzayın derinliklerine baktıkça her defasında evrenin daha önceki durumuyla karşılaşırız. En uzaktan gelen görüntüler sayesinde evrenin Büyük Patlama'dan sonraki genç halini, şu anki yaşının yüz binde birindeki yaşını görürüz. Erken evren son derece tekbiçimliydi ancak madde yoğunluğu bir noktadan diğerine yüz binde bir gibi bir oranda değişebiliyordu. Bu çok eski yoğunluk farklılıkları, elektromanyetik alan gibi alanların boşluktaki kuantum dalgalanmalarıyla aynı biçimleri alıyor olabilir. Yoğunluk farklılıkları galaksilerin, yıldızların, gezegenlerin ve en nihayetinde yaşamın ta kendisinin tohumlarını oluşturdu; bu nedenle anlaşılan o ki gözlemlerimiz bize kuantum etkilerinin şu an görebildiğimiz her şeyin kökeni için hayati önemde olduğunu söyler. Bu kitap yazılmakta iken halihazırda uçmakta olan ve sonuçlarını yakında açıklaması beklenen Planck uydusu bize çok erken evrenin üstel büyüme geçirip geçirmediğini söyleyebilir. Önümüzdeki onyıllarda daha da güçlü uydu gözlemleri Büyük Patlama'dan önce bir evren olup olmadığını anlayabilir.

Kısa bir süre önce Büyük Hadron Çarpıştırıcısı maddenin en küçük ölçeklerdeki yapısını keşfetmemizi sağladı. Böylece

farklı türdeki temel parçacıkların özelliklerini belirleyen ünlü Higgs mekanizmasını doğrulamış oldu. Gerçekleştirilmesi halinde Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nı da geride bırakacak olan Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı, erişilebilen ölçeklerin bu en küçüğünde bize daha da isabetli bir madde yapısı incelemesi sunacak, belki de madde parçacıklarını ve kuvvetleri birleştiren simetriler gibi yepyeni mekanizmaları ortaya çıkaracak.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ve Planck uydusu gibi deneyler sayesinde evrenin iç ve dış limitlerine uzanıyoruz. Aynı şekilde, daha günlük ölçekte gerçekleştirilen kuantum araştırmalarıyla da gerçekliğin dolanık seviyelerinin nasıl düzenlendiğini, daha önce hiç olmadığı kadar gerçekçi bir şekilde ortaya çıkarıyoruz. Eğer geçmişi örnek kabul edersek, bu teknolojilerin toplumumuza hâkim olacak yepyeni teknolojiler doğuracağını söyleyebiliriz.

1960'lardan beri dijital bilgisayarlar amansız bir evrim geçirdi. Moore kanunu küçülmelerini ve bize gittikçe daha da yaklaşmalarını sağladı; buzdolabı büyüklüğündeki bilgisayarlar önce masaüstü bilgisayarlara, sonra dizüstü bilgisayarlara ve günümüzde de elimizden düşürmediğimiz akıllı telefonlara evrildi. Google becerikli bir bilgisayar ekranına sahip bir gözlük olan Glass projesini duyurdu. Gözünüzün hemen yanındaki bir ekran daha az güce ihtiyaç duyacağı için bu sistem son derece verimli olabilir. Şurası kesin ki bu eğilim devam edecek ve bilgisayarlar yaşamlarımız ve bedenlerimizle bütünleşecek, hatta doğrudan bizim ayrılmaz bir parçamız olacak.

Devasa miktarda dijital bilgiye ve işleme gücüne erişebilmemiz toplumumuzu ve doğamızı değiştiriyor. Biyolojik genlerimizin gelecekteki evrimimizdeki payı gitgide azalacak ve bunun yerini bilgisayarlarla olan etkileşimimiz alacak. Gelecekte hayatta kalma savaşı, programlama veya programlanma üzerine olacak.

Ancak biz dijital bir kodu temel alan analog canlılarız. Kendimizi gitgide daha fazla dijital bilgiyle donatmak bu açıdan bakıldığında evrimsel olarak bir geri gidiştir. Dijital bilginin en güçlü yanı, ucuz ve eksiksiz bir biçimde kopyalanıp yayılabilmesidir. Bu da varlığını sürdüren analog unsurların olmasa da, yaşamın hatırasının veya "cansız" planlarının, yani analog bilginin azalması anlamına gelir.

Öte yandan kuantum bilgi, aşina olduğumuz dijital bilgiye kıyasla çok daha derin, çok daha sağlam ve çok daha naziktir. Onunla etkileşime girmek ileriye doğru devasa bir adım atmak anlamına gelebilir. Daha önce de açıkladığım gibi, tek bir kübit bile herhangi sayıda bir dijital bitten daha fazla bilgi içerir, üç yüz kübit ise evrendeki parçacıkların tümünü kullanarak klasik yöntemlerle kodlayabileceğinizden daha fazla bilgi anlamına gelir. Öte yandan kuantum bilgi son derece hassastır. Kuantum fiziğinin kanunları bunun kopyalanamayacağını söyler. Bu durum "klonlanamama" teoremi olarak bilinir. Klasik bilgisayarların aksine kuantum bilgisayarları kendilerini çoğaltamaz. Bizler –veya en azından klasik bilgisayarların bazıları– olmadan evrilemeyebilir.

Yani analog canlılar olan bizler ile kuantum bilgisayarlar arasında kurulacak bir ilişki her iki tarafın da yararına olabilir ve yaşamın ve evrenin bir sonraki büyük sıçrayışına giden kapıyı aralayabilir. Bu birliktelikteki açıklığı ve ısrarcılığı biz tedarik edeceğiz; uçarı ve geniş kapsamlı bileşeni ise kuantum bilgisayarları oluşturacak. Biz soruları soracağız, kuantum bilgisayarları ise yanıtları verecek. Tıpkı dijital genlerimizin analog işlemleri kodlaması gibi, bizler veya evrimsel haleflerimiz kuantum yaşamın "işletim sistemi" olacak.

Tıpkı DNA'mızın klasik yaşama dönüşmek için analog mekanizmalara ihtiyacı olması gibi, muhtemelen biz de kuantum bilgisayarlarıyla çevrilmiş olacağız ve bu bizi daha da canlı

kılacak. Kuantum bilgisayarı ve insan arasındaki birlikteliğin en başarılı örnekleri hayatta kalacak ve çoğalacak. Akıl almaz bilgi işleme kapasiteleri sayesinde kuantum bilgisayarları bedenlerimizi gözleme, tedavi etme hatta yenileme gibi işleyişleri gerçekleştirebilecek. Doğal kaynakların ve enerjinin optimum verimlilikte kullanılmasını sağlayacak akıllı sistemlere sahip olmamıza imkân tanıyacak. Uzay asansörleri için karbonfiber veya uzay araçlarının itki sistemleri için antimadde teknolojileri gibi yepyeni materyalleri tasarlamamıza ve üretmemize yardımcı olacak. Görünüşe göre kuantum yaşam, evreni keşfetmek ve anlamak için ihtiyaç duyduğumuz gerekliliklerin tümüne sahip olacak.

BİR "KUANTUM ÇAĞININ" YAKLAŞIYOR OLMA ihtimali heyecan verici olsa da gelecekle ilgili hiçbir şeyin garanti yok. Geleceğin alacağı şekli ona biz vereceğiz. Kötümser bakış açısının vurucu bir örneği olarak, içinde yaşadığı dönemin romantik unsurlarını, Victoria Dönemi'nin "Harikalar Çağını", keşif ruhunu ve Endüstri Devrimi'ni kendine konu seçmiş vizyoner bir kadını ele alalım.

Mary Shelley, 1792 tarihli *Kadın Haklarının Gerekçelendirilmesi* adlı kitabın yazarı, filozof, eğitimci ve ilk feministlerden Mary Wollstonecraft ile radikal siyaset filozofu William Godwin'in kızıydı. Wollstonecraft, Shelley'i dünyaya getirirken enfeksiyona yakalanarak kısa bir süre sonra öldü. Hayatı boyunca annesinin anısına saygı duyan Shelley'i babası büyüttü. On altı yaşındayken İngiltere'nin en ünlü romantik şairlerinden Percy Bysshe Shelley ile bir ilişkisi oldu. Percy zaten evli olduğu için ilişkileri bir skandala yol açtı. İlk eşi intihar ettikten sonra Percy, Mary ile evlendi. Dört çocukları oldu (ikisi evlilik öncesiydi) ancak yalnızca en küçük çocukları yaşadı. İlk çocukları erken doğdu ve çok geçmeden öldü. İkinci çocukları dizante-

riden, üçüncüsü de sıtmadan öldü; bu ölümlerin her ikisi de İtalya seyahatleri sırasında gerçekleşti.

Mary *Frankenstein veya Modern Prometheus*'u henüz on sekiz yaşındayken, Percy ile çıktığı bu İtalya yolculuklarından birinde yazmaya başladı. Kitap üç sene sonra Percy'nin önsözüyle ancak anonim olarak basıldı. Günümüzde bilimkurgu türünün ilk örneklerinden biri kabul edilen[16] *Frankenstein* bilimin hem ilgi çekici hem de tehlike arz eden yönleriyle ilgili bir uyarı niteliğindedir. Shelley'nin Prometheus'a yaptığı gönderme, günümüzde de halen geçerli olduğu gibi Antik Yunan kültürünün dönemin önde gelen düşünürleri üzerindeki etkisinin bir tezahürüdür.

Romanın arka planını dönemin bilimi oluşturur. 1806 yılının Kasım ayında, Britanyalı kimyacı Sir Humphrey Davy Londra'daki Royal Society'de Bakerian Konferansı'nı veriyordu. Konusu elektrik ve elektrokimyasal analizdi. Girizgâhında "Görülecektir ki Volta (pilin mucidi) doğanın en gizemli köşelerini keşfetmemiz için bize bir anahtar verdi (...) Artık bilimde yenilik yapabileceğimiz sonsuz sayıda yol var; keşfedilmemiş, ama heybetli ve verimli, felsefi açıdan da umut vadeden bir diyar uzanıyor önümüzde."[17]

Halka açık gösteriler ve deneyler, dönemin Londra'sında oldukça popülerdi. Bunların en çarpıcılarından biri de Bologna Üniversitesi'nde anatomi profesörü İtalyan Giovanni Aldini'nin gerçekleştirdiği bir deneydi. Aldini, asılarak idam edilen bir hırsızın bedenini altı saat sonra hayata geri döndürmek istiyordu. Basın Aldini'nin gösterisini heyecan içinde duyurmuştu: "Elektrik kıvılcımları ilk gözlemlendiğinde çenesi kıpırdamaya başladı, bitişiğindeki kaslar korkunç biçimde kasıldı ve en so-

16. Brian Aldiss, *The Detached Retina: Aspects of SF and Fantasy* (Liverpool: Liverpool University Press, 1995), s. 78.
17. Richard Holmes, *The Age of Wonder: How the Romantic Generation Discovered the Beauty and Terror of Science* (Londra: HarperPress, 2008), s. 295.

nunda da sol gözü açıldı (...) Açıklanmamış bir takım koşullar bu durumu *uygunsuz* olarak yorumlamasaydı, hayata tam olarak geri döndürülebilirdi."[18]

Mary Shelley *Frankenstein*'ı yazarken büyük olasılıkla bu tür olaylardan ve genel olarak bilimin muhteşemliğinden etkilenmişti. Romanı, büyük bir gizemi çözmeye çalışan Dr. Frankenstein'ın tutkusunu ve çabasını anlatır: "Günler ve geceler boyu süren yoğun çalışma ve yorgunluğun ardından, yaşamı meydana getiren şeyin ne olduğunu keşfetmiş bulunuyorum. Hayır, daha da fazlasını. Cansız maddeye hayat bağışlama becerisini bizzat elde ettim." Buluşunun coşkusuyla kendinden geçen Frankenstein şöyle der: "Dünyanın başlangıcından beri en bilge insanların arzusu ve çalışma alanı olan şey artık avucumun içinde." Başarısından cesaret alarak daha da ileri gider: "İlk başarım hayal gücümü o kadar yüceltmişti ki, insan kadar karmaşık ve harika bir hayvana hayat verme becerimi sorgulayamadım."[19] Olası tehlikeleri hiç göz önünde bulundurmayan Frankenstein, yarattığı canavarın arkadaş ihtiyacını karşılayamaz; canavar da intikamını Frankenstein'ın yeni gelinini öldürerek alır.

Frankenstein yayınlandıktan dört yıl sonra, 1822'de Percy Shelley İtalya açıklarındaki bir tekne kazasında boğuldu. Bundan dört yıl sonra Mary dördüncü romanı *Son İnsan*'ı yayınladı. Roman insanlığın bir salgın sonucu 2100'de yok olmasını konu alır. *Frankenstein*'ın Prometheus'a gönderme yapmasına benzer bir şekilde *Son İnsan* da Güney İtalya'daki Cumae yakınlarında bir Antik Yunan kâhinine ait bir mağaranın keşfiyle başlar (Aslına bakarsanız mağara Shelley'nin kitabının yayınlanmasından bir yüzyıl sonra keşfedildi). Kitabın anlatıcısı, kâhin Sibyl'in ayrıntılı öngörülerinin bulunduğu yaprak yığın-

18. age., s. 317.
19. Mary Shelley, *Frankenstein*, üçüncü basım (1831; yeni baskı, Mineola, NY: Dover, 1994), s. 31-32.

larını bulur. Notların şifresinin çözülüp düzenlenmesi yıllar sürer ve anlatıcı, *Son İnsan*'ı Sibyl'in öngörülerinin bir dökümü olarak sunar.

Kitabının giriş bölümünde Shelley, Raffaello'nun son tablosu *Tecelli'ye* gönderme yapar. Tablonun üst yarısındaki aydınlanma ve asalet sahnesi ile alt yarısındaki kaotik, karanlık sahne arasında katı bir ayrım göze çarpar. Apollon ve Dionysos ilkeleri arasındaki bu çatışma, edebiyat ve felsefedeki en temel temalardan biri olmuştur daima (Zeus'un oğulları olan Apollon ve Dionysos'tan ilki güneşin, rüyaların ve aklın tanrısıyken, diğeri de şarap ve zevkin tanrısıdır). Shelley'nin tabloya değinmesi oldukça ilgi çekicidir. Raffaello'nun tablosunun Roma'daki Aziz Petrus Bazilikası'nda mozaik bir replikası bulunur; adeta gerçek tablonun dijital bir versiyonu gibidir. Shelley, Sibyl'in kehanetlerini bir araya toplamanın mozaik parçalarını bir araya getirerek *Tecelli'yi* tamamlamaya benzetir.

Kitap aslında romantik idealizmin nasıl başarısız olduğunu anlatır. Mary'nin eşi Percy fikirlerin üstünlüğüne inanan bir kişilikti. Antik Roma'dan bahsederken şöyle diyordu: "Bu düzenin güzelliğine ışık tutan hayalperestlik, onu kendi fikrine göre, kendisinden yarattı: Sonuç bir imparatorluk oldu, ödül ise sonsuzluğa uzanan şöhrettir."[20]

Son İnsan'ın başlangıcında ün peşindeki hırslı Raymond, Koruyucu Lord olarak seçilir. "Yeni seçimler bitmişti, parlamento toplanmıştı; Raymond ise binlerce faydalı projeyle meşguldü (...) Etrafı projelerle ve bunların sahipleriyle çevriliydi; İngiltere'yi bereketin ve ihtişamın merkezi yapacak, yoksulluğu ortadan kaldıracak, insanları bir yerden diğerine *Binbir Gece*

20. Percy Bysshe Shelley, "A Defence of Poetry" (1821), çevrimiçi olarak http://www.bartleby.com/27/23.html adresinden erişilebilir.

Masalları'ndaki prensler gibi taşıyacak projelerdi bunlar..."[21]

Ancak planlar gerçekleşemeden Türkiye ile Yunanistan arasında savaş çıkar ve Raymond İstanbul'da öldürülür. İngiltere'nin son kralının oğlu Adrian önemli bir kişiliktir. Adrian iflah olmaz bir hayalperesttir (Shelley'nin eşi Percy'den ilham alınmış bir karakter olduğu kesin). Kısa süreli barış sürecinin ardından "On iki ay bile sürse (...) dünya cennet olur. İnsan tüm enerjisini kendi türünün yıkımına harcıyordu, şimdiyse kurtuluşu ve korunmayı amaçlıyor. İnsan dur durak bilmeyen bir varlıktır ve onun bitmek bilmeyen arzusu artık şer yerine hayır getirecek. Güneyin ayrıcalıklı ülkeleri esaretin demir boyunduruğunu sırtından atacak (Shelley burada köleliğe gönderme yapar); yoksulluk ve onunla birlikte hastalık peşimizi bırakacak. Özgürlük ve barışın gücü bir araya geldiğinde insanın göğüsleyemeyeceği ne olabilir?"[22]

Adrian'ın hayalleri de çok geçmeden tuzla buz olur. İstanbul'dan batıya hızla bir salgın yayılır ve Yunanistan, İtalya ve Fransa'dan çok sayıda insan göç eder. Raymond'un telaşlı halefi Ryland, salgın Londra'ya vardığında kenti terk eder. Romantik Adrian komutayı ele alır, ancak temel stratejisi insanları salgın olmadığına ikna etmektir. En sonunda gerçek yadsınamayacak bir hal alır ve Adrian'ın insanları İngiltere'den çıkarıp Kıta Avrupası'na götürmekten başka şansı kalmaz. Halkını burada acı dolu ve yavaş bir ölüm beklemektedir.

Roman boyunca Shelley, aslında mahvolmuş haldeyken bile parlak bir gelecek gören karakterlerinin sahte iyimserliğine vurgu yapar. Aklın, doğrunun ve ilerlemenin gücü hakkındaki abartılı düşünceleri ve yanılgıları hep başarısız olmalarına yol açar. En sonunda, hayatta kalan son kişi Verney dünyanın

21. Mary Shelley, *The Last Man* (1826, yeni baskı, Oxford: Oxford University Press, 2008), s. 106.
22. age., s. 219.

denizlerine yelken açar: "Daha iyi günlerin gelmesini beklemiyorum, ancak bu yeknesak zamana da tahammül edemiyorum. Ne umut ne de zevk tutuyor elimden, huzursuz bir umutsuzluğun ve dayanılmaz bir değişim arzusunun peşinden gidiyorum. Tehlikeyle boğuşmak, korku karşısında heyecanlanmak istiyorum; bir görevim olsun, ister basit olsun, ister içimden gelsin, yeter ki her güne bir anlam bahşetsin."[23] Bu satırlardaki ironi su götürmez. *Son İnsan* eleştirmenlerden kötü not aldı ve bir buçuk yüzyıl boyunca unutulup gitti, ancak günümüzde Shelley'nin en önemli ikinci eseri olarak anılıyor.

Bu kitabın yan karakterlerinden astronom Merrival'dan da bahsetmekten alıkoyamıyorum kendimi. Merrival'ın yaptığı hesaplara göre yüz bin yıl sonra Dünya'nın kutbu, Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinin kutbuyla çakışacak ve onun deyimiyle "Ebedi bir bahar doğacak ve dünya cennet olacak."[24] Salgın ailesinin kapısına dayandığında bile hiç aldırış etmez ve "Dünya'nın Ekseninin Perisiklik Hareketleri Üzerine Bir Deneme"sini yazmaktan başka bir şeyle ilgilenmez. Umarım biz biliminsanları birer Merrival olmayız!

FRANKENSTEIN'DAN BU YANA NEREDEYSE iki yüzyıl geçti. Ne Shelley'nin Dr. Frankenstein'ın yarattığını tahayyül ettiği yaratık gerçeklik kazandı ne de *Son İnsan*'da öngördüğü kontrol edilemez salgın. Ancak bahsettiği tehlikeler her zamankinden daha da önemli ve Shelley'nin kaygılarına kulak asmak yararımıza olabilir. Biyolojideki ilerlemeler aşıları, antibiyotikleri, antiretroviralleri, temiz suyu ve kamu sağlığında çığır açan diğer ilerlemeleri mümkün kıldı. Ayrıca genetik mühendisler de henüz herhangi bir canavar yaratmadı. Ancak bilimin getirileri

23. age., s. 470.
24. age., s. 220.

çok adaletsizce paylaşıldı. Önlenebilir nedenlere rağmen sayısız insan ölümle ve acıyla sınandı ve sınanmaya devam ediyor. İlerlemeyi garantileyecek *tek* şey, insani ilkelere olan bağlılık ve bilimi toplum yararına kullanmaktır.

Bilimin başarılarının nasıl aldatmacalara ve iletişimsizliğe yol açabildiğini görmek için fazla uzağa bakmaya gerek yok. Bilimsel buluşların önemini abartmaya ve bilimsel olmayan düşünceleri önemsiz saymaya eğilimliyiz.

Kendi alanım olan kozmolojiden bir örnek vereyim. Lawrence Krauss *Hiç Yoktan Bir Evren* adlı kitabında, evrenin basit, düz bir geometriye sahip olduğunu gösteren en son gözlemlerin, evrenin yoktan var olduğuna işaret ediyor olabileceğini savunur. Bana sorarsanız düşüncesi teknik bir hata içerir, ancak burada anlatmak istediğim şey bu değil. Asıl önemlisi, fiziği yanlış yorumlar ve bir yaratıcıya ihtiyaç olmadığı sonucuna varır. Kitaba sonsöz yazan Richard Dawkins, Krauss'un düşüncelerinin dinin tabutuna son çiviyi çaktığını söyler. Dawkin sözlerini "Nasıl *Türlerin Kökeni* biyolojinin doğaüstücülüğe (Dawkins dine bu adı veriyor) vurduğu en ölümcül darbeyse, *Hiç Yoktan Bir Evren*'in de aynı şeyi kozmoloji için yaptığını görebiliriz. Kitabın adı tam da demek istediği şeyi anlatır. Söylediği şey ise yıkıcıdır."

Sözler etkileyici olsa da argümanları sığdır. Kuantum teorisi söz konusu olduğunda günümüzün en donanımlı filozoflarından David Albert, *New York Times*'a Klauss'un kitabı için yazdığı eleştiride "günümüzde bize böyle insanlar tarafından, böyle kitaplarla sunulan şeyin, dinin, nasıl desem, *aptalca* olduğuna dair cılız, ufak, saçma, demode bir itham" olmasından yakınır.[25] Krauss'un ve Dawkins'in argümanlarını, Hume'un *Doğal Din Üstüne Söyleşiler* adlı eserinde sunduğu temkinli ve saygılı argüman-

25. D. Albert, "On the Origin of Everything", *New York Times*, Mart 23, 2012.

larla kıyaslayınca insan tartışmanın gerilediğini düşünmeden edemiyor. Hume kuşkuculuğunu, karşı fikirlerin de ifade edildiği bir diyalog aracılığıyla açıklar ve kesin bir sonuca varmaktan kaçınır. Ne de olsa varmak istediği sonuç şudur: Tanrı var mı, yok mu, bilmiyoruz. Hume kendi şüphelerini temsil etmeye en çok yaklaşan katılımcıya *philo*, yani "arkadaş" adını verir.

Bilim ile toplum arasındaki başka bir iletişim kopukluğu için ABD'li teorik fizikçi ve Nobel Ödülü sahibi Steven Weinberg'in Büyük Patlama'yı anlatan –ve sonu dışında harika olan– kitabı *İlk Üç Dakika*'nın son paragrafına göz atalım: "Evren ne kadar anlaşılır hale gelirse o kadar anlamsızlaşır. Ancak araştırmalarımızın meyvelerinde bulamadığımız teselliyi biraz olsun araştırmalarımızın kendisinde bulabiliriz (...) İnsan hayatını basit bir komediden biraz daha öteye götüren, ona bir trajedi zarafeti veren bir şey varsa evreni anlamak için harcadığımız çabadır," der Weinberg.[26]

Birçok biliminsanı bu bakış açısını, yani temeline inildiğinde evrenin anlamsızlaştığını ve trajik bir durumda olduğumuz düşüncesini paylaşır. Şahsen ben bu bakış açısını anlamakta güçlük çekiyorum. Hayatta olmak, bu olağanüstü evreni deneyimlemek, değerini bilmek ve başkalarıyla paylaşabilmek bile başlı başına bir mucizedir. Bana öyle geliyor ki yoğun ve odaklanmış çalışmaları biliminsanlarını toplumdan ayrılmasına ve bu da onların var olmanın diğer niteliklerini görmezden gelmelerine yol açıyor.

Tabii evrenin anlamsız olduğu görüşünü benimsemek, biliminsanlarının araştırmalarından önceki önyargılarından ve sonraki dürtülerinden arınmaları için de elverişli bir yöntemdir. Çevremizdeki her şeyin nasıl işlediğini bulmaya çalışırken,

26. Steven Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe* (New York: Basic Books, 1977), s. 144.

onların neden o şekilde işliyor olabileceğini düşünmüyorlar ve bakış açıları etki altında kalmamış oluyor. Amaç ve anlama yönelik, bilimsel olarak cevaplayamayacağımız soruları ertelemek akla yatkın geliyor. Ancak bu etkilerle baş etmenin yolu, bunları görmezden gelmek değildir. Biliminsanları kabul etmeseler de sık sık bilerek veya bilmeden bilim dışı dürtülerle hareket edebiliyorlar.

Bilimin dışında kalan birçok insan tam da biliminsanlarının kaçınmaya çalıştığı bu sorularla yakından ilgilenir; bilimsel buluşların ne anlama geldiğini anlamak isterler. Bunlar kozmoloji özelinde evrenin *neden* var olduğu ve bizim *neden* burada olduğumuz gibi sorulardır. Bence eğer bilim, toplumla arasındaki iletişimsizliğin üstesinden gelecekse, en büyük bilim dersini daha iyi açıklayabilmesi gerekir: Bildiklerimizi artırmayı amaçlıyorsak, sürekli kuşkulanmamız ve kesin yargılara varmadan yaşamamız son derece büyük bir önem arz eder. Richard Feynman bu konuda şunları söyler: "Aklın bu tavrı –kesin yargıya varmama hali– biliminsanların için sonsuz önemdedir ve öğrencilerin edinmesi gereken tavır da öncelikle budur. Bu, zamanla bir düşünme tarzı haline gelir. Bu tavır bir kez benimsendi mi geri dönüşü olmaz."[27] Kısa ve vurucu cümlelerin daha etkili olduğu günümüzün hızlı dünyasında entelektüel tevazu ve kesin yargılara varmaktan açıkça kaçınmak kolay rastlanır erdemler değil. Yine de inanıyorum ki biliminsanları bu niteliklerde ısrar ettikçe daha güvenilir olacaklar ve toplum da kendini bilime daha az yabancılaşmış hissedecek.

Ben bilimin, toplumun ihtiyaçlarına hizmet etmesi gerektiğine inananlardanım. Toplum da bilimi daha iyi anlamalı ve yeni teknolojik aletlerin ötesinde bir yarar sağladığını gör-

27. Richard Feynman, *The Pleasure of Finding Things Out* (Londra: Penguin, 2007), s. 248.

melidir. Bilimin toplumun ihtiyaçlarını gidermekte ve içinde yaşamak istediğimiz dünyayı yaratmakta bir payı olmalıdır. Geleceği inşa etmek –her ne kadar önemli olursa olsun– ihtiyaçlarımızı gidermekten daha öte bir şeydir. Bilimin ve evrendeki yerimizi anlamamızın ilham verici ve toplumu, sanatı, müziği, edebiyatı ve diğer birçok şeyi zenginleştiren bir yanı vardır. Öte yandan bilimin de neyi, ne için yaptığını açıklamaya zorlanması ve biliminsanlarının çalışmalarının topluma neler kattığını görmesi yaratıcılığı ve verimliliği artırır.

Antik Yunanlardan bu yana bilim, ilerlemenin en iyi yolunun, sürekli yeni teorileri denememizi, fakat bunu yaparken haksız çıkabilmeye açık olmamızı sağlayan özgür düşünce alışverişinden geçtiğinin farkındadır. Bilimsel topluluğun içinde bir öğrenci en kıdemli profesörleri sorgulayabilir; kıdem ve otorite de hiçbir zaman bir cevabı kabul ettirmeye yetmez. Fikirlerimiz kayda değer olduğu ve kendi başlarına bir anlam ifade ettiği sürece nereden geldiği hiçbir önem teşkil etmez. Bu anlamda bilim oldukça demokratik bir faaliyettir. Bilime genelde bireysel dehalar yön verse de, takipçileri arasında bir birliktelik ve tevazu duygusu filizlenir. Bu düşünme ve davranış biçimlerinin değeri bilimin sınırlarını geride bırakır.

Ancak bilim ilerledikçe farklı konularda uzmanlıklar arttı. Yine Richard Feynman'ın dediği gibi "iki alanda uzmanlaşmayı seçip de söz konusu alanların hiçbirinde kendini rezil etmemeyi başaran insanların sayısı çok az."[28] Dallanıp budaklandıkça bilim, hem diğer biliminsanlarına hem de topluma daha zor erişilir bir hale geldi. Branşların birbirini beslemesine yönelik fırsatlar kaçtı, biliminsanları ulu amaçlarını yitirdi ve ürettikleri bilim de kendinden başkasına yararı olmayan

28. Richard Feynman, "The Uncertainty of Science", *The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen Scientist* içinde (New York: Perseus, 1998), s. 3.

akademik egzersizlere veya tamamen teknik konulara dönüştü; bu sırada toplum da bilimin öneminden ve büyük vaatlerinden bihaber kaldı.

Bu iletişimsizlik sorununu aşmanın yolları var elbette ve bu sorunun bir an önce çözülmesi gittikçe daha fazla önem arz ediyor.

TOPLUMUN BİLİMLE YAKINDAN İLGİLENDİĞİ Kanada gibi bir yerde yaşadığım için kendimi ayrıcalıklı sayıyorum. Perimeter adlı enstitümüz her ay bölge lisesinin 650 kişilik salonunda halka açık fizik dersleri veriyor. Ve bu salon her ay dolup taşıyor.

Bu nasıl gerçekleşti? Sanırım bu sorunun gayet basit bir yanıtı var: Saygı. Biliminsanları ne yaptıklarını ve bunu neden yaptıklarını açıklamak için ciddi bir girişimde bulunduğunda insanların heyecanlanması işten değil. Bu durumun birçok yararı vardır. Öncelikle halk, yapılan çığır açıcı araştırmaları bizzat uzmanlardan dinleyebilir. Öte yandan biliminsanları da fikirlerini paylaşma ve uzman olmayan kişilere çalışmalarını nasıl anlatacaklarını öğrenme şansını yakalar. Kendi alanınızdan olmayan insanların çalışmalarınızla gerçekten ilgilendiğini görmek oldukça heyecan verici bir şeydir. Ve son olarak da, merak uyandıran bir ders birçok gencin gelecekteki kariyerine etki edebilir.

Victoria Dönemi biliminin altın çağında birçok biliminsanı, bilimin halka ulaşması için çaba gösteriyordu. Birinci Bölüm'de gördüğümüz gibi Michael Faraday, Sir Humphrey Davy'nin Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde verdiği bir ders sayesinde bilimin izinden gitmeye karar vermişti. Faraday sonraki yıllarda enstitünün müdürü olarak Davy'nin halefi oldu ve bizzat halka açık birçok ders verdi. James Clerk Maxwell de Cambridge'te öğretim üyesiyken, çalışan insanlar için bilim dersleri veren bir okul kurdu ve civardaki dükkânları, çalışanlarının bu okula gidebilmesi için akşamları erken kapatmaya ikna etti.

Aberdeen'de ve Londra'daki King's College'da ders vermeye başladığında bile, oralardaki okullarda haftada en az bir ders vermeye devam etti.[29]

Günümüzde halka ulaşmak için internet gibi müthiş bir yöntem var. Enstitümüzdeki yeni yüksek lisans programına katılan ilk öğrencilerden Henry Reich, filme duyduğu merakın izinden gitti. Bir yıl sonra Minute Physics adlı bir YouTube kanalı kurdu. Fizikteki temel unsurların zekice düşünülmüş, düşük bütçeli ve kolay anlaşılır açıklamalarını içeren videolar yayınlıyor. Böylece bu fikirleri çok büyük kitlelerle buluşturuyor. Henry bilimsel literatürün tozlu sayfaları arasında gizli kalmış, büyük olasılıkla halkla hiçbir zaman paylaşılmamış bir bilgi hazinesi olduğunu fark etti. Bu iletişimi sağlamak büyük bir özen, epeyce kafa yorma ve dinleyiciye saygı gerektiriyor.

Enstitümüzde kendimizi de bilim dışı kaynaklardan beslemeye çalışıyoruz. Tarih, sanat, müzik veya edebiyat gibi bilim dışı konularda faaliyet gösteren insanları bilimsel topluluğumuzla bir araya getiriyoruz. Bilim bu disiplinlerle aynı amacı paylaşır; bu da içinde bulunma ayrıcalığına sahip olduğumuz bu evreni keşfetmek ve anlamaktan başka bir şey değildir. Algımızı ve hislerimizi farklı ve birbirini tamamlayan bir şekilde geliştiren bu insani çabaların her biri ilham vericidir. Bu sayede hepimiz bilmediğimiz ne kadar çok şey olduğunu öğrendik. Sevdiğimiz, arzuladığımız ve bizi harekete geçiren güdülerimizde ortak bir şeyler bulduk ve bu da farklılıklarımızdan çok daha derinden etkiledi bizi. Büyük keşiflerin yapıldığı çağlara bakınca bir şey göze çarpar: Amaçların ortak olması. Ben de bu unsuru tekrar ortaya çıkarmamız gerektiğine inanıyorum.

29. Basil Mahon, *The Man Who Changed Everything: The Life of James Clerk Maxwell* (Chichester: Wiley, 2004), s. 45.

Bu beş bölüm boyunca büyük ilerlemelerin ortaya çıkmasına vesile olan özel insanlara, yerlere ve dönemlere baktık. Antik Yunan'da henüz filizlenen bilimin, felsefenin, sanatın ve edebiyatın toplumun nasıl yönetileceğine dair yeni fikirlerle el ele ilerlediğini gördük. Örneğin doğrudan gözlemlenmeyen veya mantıkla ulaşılmayan, yani bilimsel yöntemlerle elde edilmemiş hiçbir şeye inanılmaması gerektiğini söyleyen filozof Epikuros'un, bazı açılardan bakıldığında Hume'un ve Galileo'nun argümanlarını öngördüğü söylenebilir.[30] Epikuros'un adı ayrıca bir insanın kendisine nasıl davranılmasını istiyorsa, diğerlerine o şekilde davranması gerektiğini söyleyen karşılıklılık ahlakıyla da anılır. Bu iki fikir adaletin temelini, yani herkesin adil muamele görme hakkı olduğunu ve kimsenin suçu kanıtlanana kadar ceza görmemesi gerektiği ilkelerini oluşturdu. Aynı şekilde bilimin yöntemleri ve ilkeleri de modern demokrasilerin oluşmasında temel bir rol oynadı.

Antik Yunan fikirlerinin tekrar ele alındığı ve aydınlanmanın ileriye bir adım attığı İtalyan Rönesansı'na da göz attık. İskoç Aydınlanması'nda insanlar birbirlerini dünyayı güvenle ve yeni bakış açılarıyla bakmaya, onu özümsemek ve tasvir etmek için yeni yollar bulmaya, öğretmeye ve iletişim kurmaya teşvik ettiler. Bu dönemler toplum için özgürlük, bilim için de büyük ilerlemeler anlamına geldi.

Geçmişteki bu aydınlanmalar en güçlü ülkelerde gerçekleşmedi: Antik Yunanistan sürekli kuzeyden ve doğudan gelen tehlikelere açık, ufacık bir yerdi; İskoçya da İngiltere'nin mütevazı bir komşusuydu. Ortak noktalarıysa, halklarına hâkim olan "bu çağ bizim çağımız" duygusuydu. Aklın ve ilerlemenin merkezi olma fırsatını değerlendirdiler, kendilerine ve geleceğe

30. Örneğin bkz. Elizabeth Asmis, *Epicurus' Scientific Method* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1984).

şekil verme cesaretini gösterdiler ve hâlâ bunun etkilerini hissederiz.

Sömürgeci komşusundan bir adım ötede bulunan 18. yüzyıl İskoçya'sıyla, modern Roma'yı andıran güney komşusuna kıyasla uygarlık merkezi gibi duran günümüz Kanada'sı arasında bir paralellik görmek mümkündür. Kanada'nın avantajı güçlü bir eğitim ve sağlık sistemine, barışçıl, hoşgörülü ve çokkültürlü bir topluma, ayrıca istikrarlı bir ekonomiye ve son derece zengin doğal kaynaklara sahip olmasıdır. Tüm dünyada dostane, barışçıl bir ülke ve mütevazı, pratik karakterli bir millet olarak tanınır. Benzer vaatler sunan ve tüm dünya adına bir sonraki adımın atılacağı uygarlık merkezi olmaya aday birçok ülke vardır. İnsanları bir araya getirip 21. yüzyılı Birinci Küresel Aydınlanma çağı kılacak daha iyi bir neden göremiyorum.

* * *

FİZİĞİN GEÇMİŞİ UYGARLIĞIN doğuşuna kadar uzanır. Fizik doğanın derin sırlarını keşfetmemizin ve ilerlemenin temelini oluşturan anlayışı ve teknolojileri geliştirmemizin canlı bir tarihi gibidir. Çabalarımız sürekli olarak evrenin temelindeki güzelliği ve basitliği ortaya çıkarır. Bildiklerimiz gittikçe artıyor ve dahası hızımız da azalacağa benzemiyor. Bugün ufukta her ne varsa, en az geçmişte keşfettiğimiz şeyler kadar heyecan verici olacak.

Günümüzde, geçmişin biliminsanlarına kıyasla pek çok avantaja sahibiz. Gezegenimizde yedi milyar zihin var ve bunların çoğu da gelişmekte olan ülkelerde yaşayan genç beyinler. İnternet yalnızca hepimizi birleştirmekle kalmaz; eğitim ve bilim alanlarında düzenli erişim de sağlar. Bilimi bir düzene oturturken ve insanları bilime özendirirken daha yaratıcı olmalıyız ve işin içine daha çok insanın katılmasını sağlamalıyız. Dünya

eğitim, işbirliği ve fikir alışverişiyle dolup taşan bir arı kovanı haline gelebilir. Bilim toplumuna yeni kültürlerin girmesi büyük bir enerji ve yaratıcılığı beraberinde getirecektir.

Kozmostaki yerimizi anlamamıza yardımcı olacak, daha iyi bir konumdayız artık. Evreni haritalamayı başardık ve on dört milyar yıl önce ufacık bir ışık topundan nasıl doğduğunu çözdük. Aynı şekilde, galaksi ve yıldızları görebildiğimiz en uzak mesafe olan Hubble uzunluğunu belirleyen ve evrene hükmeden vakum enerjisini tespit ettik. Boşluğun ayrıntılı yapısının bir tezahürü olan ve varlığı yaklaşık yarım yüzyıl önce teorilerle öngörülen Higgs parçacığını keşfettik. Teori artık, klasik uzay ve zaman kavramlarının tuzla buz edecek kadar küçük bir ölçek olan Planck uzunluğundaki fiziği ve Büyük Patlama tekilliğini anlamaya hazır.

Bütün belirtiler evrenin en basit halinin en büyük ve en küçük ölçeklerde, yani Planck uzunluğunda ve Hubble uzunluğunda yattığına işaret ediyor. Yaşayan bir hücrenin, bu iki temel uzunluğun geometrik ortası olması bir rastlantı olmayabilir. Bu, yaşamın, içinde yer aldığımız dünyanın ölçeğidir ve evrendeki en karmaşık ölçektir.

Çevresel ve finansal krizlerin kökeninde genellikle bencil ve bireysel davranışların yattığı söylenebilir. Benzer şekilde fizikteki "çokluevren" kavramını da parçalara ayrılmış, temel bilime yönelik inancın yitirilişini simgeleyen bir bakış açısı olarak görüyorum. Yine de tüm bu krizlerin, tıpkı kuantum fizikçilerinin yaptıkları gibi, bizi, dünyamızı daha bütünsel ve ileri görüşlü bir biçimde yeniden şekillendirmeye ittiği takdirde işe yarar olacağını düşünüyorum.

Yüce kozmos dar görüşlü, insan kaynaklı, toplumsal veya siyasi sorunlarımıza en azından farklı bir bakış açısıyla bakmamızı sağlar. Doğa bizden daha üstün bir düzene sahiptir ve bundan öğreneceğimiz çok şey var. Doğaya karşı duyduğumuz

sevgi bizi bir araya getirebilir ve bizden çok daha büyük bir şeyin parçası olduğumuz için mutluluk duyabiliriz. Ortak bir amacın çevresinde hissettiğimiz aidiyet ve sorumluluk duyguları, beraberinde tevazu, şefkat ve bilgeliği de doğurabilir. Toplum çoğu zaman bilimin kendisiyle pek ilgilenmedi; yalnızca nimetlerinden faydalandı. Biliminsanları da kendi başlarına bilim için çabalarken bunu neden yaptıklarını sorgulamamaktan genellikle memnunlardı. Artık bilimi insanlıkla bir araya getirmenin ve böylece ikisinin de çıtasını yükseltmenin zamanı geldi. Aklımızı kalbimize bağlayabildiğimiz zaman önümüzde çok daha parlak bir geleceğin kapıları açılacak. Algımızı artıran kuantum teknolojileri, enerjiyi daha akıllı yöntemlerle kullanmamızı sağlayacak buluşlar, uzayda yeni dünyaları ortaya çıkaracak keşifler çıkacak karşımıza. Hem bilim hem de dünya kendi içinde bütünlük kazanacak.

Yaşıyor olmak ne büyük bir ayrıcalık... Gerçekten de tüm zamanların en büyük fırsatı önümüzde uzanıyor.

DİĞER KAYNAKLAR

Albert, David. *Quantum Mechanics and Experience*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994.

Deutsch, David. *The Beginning of Infinity*. New York: Viking, 2011.

Diamandis, Peter H., ve Steven Kotler. *Bolluk: Gelecek Çok Daha Güzel Olacak*. New York: Free Press, 2012.

Falk, Dan. *In Search of Time: Journeys Along a Curious Dimension*. Toronto: McClelland & Stewart, 2008.

Gowers, Timothy. *Matematik*. New York: Sterling, 2010

Greene, Brian. *Evrenin Dokusu: Uzay, Zaman ve Gerçekliğin Dokusu*. New York: Vintage, 2005.

Guth, Alan. *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. New York: Basic Books, 1998.

Hawking, Stephen. *Zamanın Kısa Tarihi*. New York: Bantam, 1998.

Penrose, Roger. *Gerçeğin Yolları: Evren Yasalarının Eksiksiz Bir Rehberi*. New York: Vintage, 2007.

Sagan, Carl. *Kozmos: Evrenin ve Yaşamın Sırları*. New York: Ballantine, 1985.

Steinhardt, Paul J., ve Neil Turok. *Sonsuz Evren: Kozmosun Yeni Hikâyesi*. New York: Broadway, 2008.

Weinberg, Steven. İlk Üç Dakika: Evrenin Kökenine Çağdaş Bir Bakış. New York: Basic Books, 1993.

Zeilinger, Anton. *Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation*. New York: Farrar, Straus & Giroux, 2010.

İZİNLER

Görsellerin izinleri aşağıdaki gibidir:

Glenlair © Cambridge, Cavendish Laboratuvarı'nın izniyle

Kuvvet Alanı © Neil Turok

Raffaello (Raffaello Sanzio) (1483-1520). *Atina Okulu.* 1510-1512 civarı. Fresk. © Scala/Art Resource, NY

Beşinci Solvay Konferansı 1927 © Fotoğraf: Benjamin Couprie, Institut International de Physique Solvay. AIP Emilio Segre Görsel Arşivleri'nin izniyle.

Çift Yarık Deneyi © Neil Turok

Büyük Patlama © Neil Turok

COBE Isı Çalkantıları © NASA

Karanlık Madde © NASA

AMBE Güney Afrika © Afrika Matematik Bilimleri Enstitüsü

AMBE Güney Afrika Öğrencileri © Neil Turok

Bilinen Tüm Fiziğin Formülü © Neil Turok

ATLAS Deneyi © 2012 CERN

"Tanrı Parçacığı" © Fabrice Coffrini / Getty Images

TEŞEKKÜRLER

EN İÇTEN TEŞEKKÜRLERİMİ, uzay ve zamandaki kuantum sıçramalarını gerçekleştiren Perimeter Teorik Fizik Enstitüsü'ndeki dostlarıma ve çalışma arkadaşlarıma sunarım. Bu kitabı hazırlarken yaşadığım tüm zorlukları, beni durmaksızın yüreklendirmeleri ve sarsılmaz destekleri sayesinde aşabildim. Böyle bir topluluğun parçası olduğum için ne kadar şanslı olduğumu bir kez daha anladım. Perimeter'in kurucusu ve alanımızın gelmiş geçmiş en vizyoner destekçisi Mike Lazaridis'e ve enstitünün en yüksek yönetim ve iletişim standartlarını sürdürmesini sağlayan, aralarında Michael Duschenes ve John Matlock'un da bulunduğu isimlere ayrıca teşekkür ederim.

Bu proje boyunca Alexandra Castell bana devamlı yardımcı oldu. Natasha Waxman de ilk taslakları hazırlarken ve araştırmalar yaparken verdiği destekle, Erin Bow ve Ross Diener'in de yardımlarıyla bu kitabın hazırlanmasında büyük bir rol oynadı. Daniel Gotterman, Lucien Hardy, Adrian Kent, Rob Myers, Lee Smolin ve Paul Steinhardt taslakları okuyarak paha biçilmez yorumlar getirdiler. Itzhak Bars, Laurent Freidel, Stephen Hawking, Ray Laflamme, Sandu Popescu ve Xiao-Gang Wen gibi meslektaşlarımın tartışmalarının büyük yararını gördüm. Malcolm Longair, kuantum mekaniğinin tarihi kökenleri üstü-

ne yazdığı harika yeni kitabı *Quantum Concepts in Physics*'in taslak halini benimle cömertçe paylaştı. Hepinize heyecanınız ve bilgeliğiniz için teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Doğal olarak, kitapta yer alan hatalar ve kavram yanılgılarının tümü bana ait. Chris Fach ve Erick Schnetter'a da illüstrasyonları hazırlamakta verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

Afrika Matematik Bilimleri Enstitüsü'ndeki (AMBE) tüm meslektaşlarıma ve harika öğrencilerimize kocaman bir teşekkür ederim. Özellikle Barry Green ve Thierry Zomahoun'un isimlerini anmak isterim. Sizlerle ve sizin için çalışmak bitmek tükenmek bilmeyen bir keyif. Bu kitabın yazım süreci boyunca gösterdiğiniz sabır ve anlayışın yanı sıra ortak amacımıza kendinizi adadığınız için sizlere teşekkür ederim.

CBC'den Philip Coulter ve Anansi Basın Odası'ndan Janie Yoon da çok kritik zamanlarda işe dahil oldukları için özel bir teşekkürü hak ediyorlar. Özellikle Janie övgünün ve sert sevginin mükemmel bir karışımını yakalayarak beni yolda tutmayı başardı. Bu kitap birazcık bile okunabiliyorsa, bu sizin kahramanca çabalarınız sayesinde.

Ve son olarak Corinne ve Ruby'ye kucak dolusu sevgiler. Siz olmasaydınız ben kaybolurdum.

ABD Donanması Savaş Bürosu, 119
ABD Uzay Cisimleri Kayıtları, 121
Aberdeen Üniversitesi, 37, 41, 231
Afrika, 7, 11, 13, 16, 29, 37, 152; matematik/bilim, 12, 154; bilimsel eğitim ihtiyacı, 155-158; Afrika Matematik Bilimleri Enstitüsü (AMBE), 135, 154-158; başarı hikâyeleri, 157 Afrika Ulusal Kongresi (AUK), 154
Albert, David, 226
Aldini, Giovanni, 221
Alpher, Ralph, 119, 120, 122
Amazon, 190
Ampère, André-Marie, 48
Anaksimandros, 17, 56, 57, 58, 131, 148, 189, 192, 193
Analog teknoloji ve dijital teknoloji, 190, 213, 215, 218, 219
Anderson, Carl D., 163
Anderson, Philip, 164
Andromeda Galaksisi, 101
Antik Yunan, 21, 24, 26, 42, 56, 57-59, 96-98, 112, 148, 175, 197, 221, 229,
Apartheid (Güney Afrika) 11-13, 29, 152, 154
Apollo 11 uçuşu, 29, 121
Apollo 13 uçuşu, 30
Archimedes, 26, 95
Aristoteles, 18, 32, 56, 131
Aritmetik, 17, 18, 74,
Armstrong, Neil, 29
Aspect, Alain, 88
Astronomi, 18, 95; karanlık madde, 125, 126, 128, 129, 134, 175, 186; Güneş merkezli evren, 28
Astronomlar, 118, 151
AT&T, 120, 198, *ayrıca bkz.* Bell Labs
Atom bombası, 18, 119
Avrupa Uzay Ajansı, 147, *ayrıca bkz.* Planck uydusu
Avustralya Ulusal Üniversitesi, 128

Babil uygarlığı, 17; Babiller, 26, 31; Babil Kütüphanesi 207
Bardeen, John, 200, 201
Bayes, Thomas, 38
belirsizlik ilkesi (Heisenberg), 60, 77–78, 104, 202
Bell Labs (New Jersey), 121, 198, 199, 204, 216
Bell Rock Deniz Feneri (İskoçya), 38
Bell teorisi, 215
Bell, Alexander Graham, 40, 198
Bell, John, 55, 82, 83, 169, *ayrıca bkz.* Bell teoremi
Bilgisayarlar, 70, 76, 88, 92, 159, 161, 195, 197, 201-203, 207, 210, 215, 218-220; kuantum bilgisayarları, 89, 178, 187, 203-208
Bilimsel yöntem, 232
Bilinen tüm fiziğin formülü, 172, 179; kütleçekim kanunu, 32, 34-36, 51, 97, 102, 111, 112, 180
Biot-Savart kanunu, 48
Bohm, David, gizli değişken teorisi, 83
Bohr, Niels, 61, 62, 71-73, 76, 80, 81, 117, 119, 185; Dirac üzerine, 173; dalga-parçacık ikiliği, 80
Bolt, Usain, 52
Boltzmann, Ludwig, eşdağılım ilkesi, 67, 68
Bombelli, Rafael, 74
Borges, Jorge Luis, 207
Born, Max, 60, 62, 112, 169; genel görelilik, 113; matris mekaniği, 61; Planck üzerine, 64; Schrödinger'in dalga fonksiyonları üzerine, 77
Brahe, Tycho, 32
Brattain, Walter, 200, 201
Brin, Sergey, 158
Brout, Robert, 164
Bryn Mawr College, 170
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, 14, 50, 103, 137, 165, 192, 217, 218
Büyük İskender, 59
Büyük Patlama teorisi, 101, 120, 123, 211; arka plan ışıması, 120, 122, 123, 125, 134, 147; tekillik, 143, 145, 146, 193, 194, 234; enflasyon teorisi, 102-105, 114, 127, 138-141, 144, 148

California Üniversitesi (Berkeley), 125, 128; (Santa Barbara), 203
Cambridge Üniversitesi, 31, 37, 40, 93, 95, 102, 119, 141, 147, 171, 230
Cardano, Gerolamo, *Ars Magna* (Büyük Sanat), 74
Carnie, Margaret, 29, 94
Cebir, 38, 170; karmaşık sayılar, 75, 77, 160, 170; Euler'in formülü, 75, 76, 179; *i* sayısı, 74, 90-92, 141, 160, 162; Noether'in çalışmaları, 170

Cep telefonları, 14, 51, 154, 199; akıllı telefonlar 159, 190, 201, 218
CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi), 83, 137, 165, 179, *ayrıca bkz.* Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
Chongzhi, Zu, 26
Cicero, *Tanrıların Doğası*, 149
Copernicus, 28, 32, 97
Cosmos (televizyon dizisi), 152
Coulomb, Charles Augustin de, 48
Crotone (Kroton, Güney İtalya), Pythagorasçılar, 17, 18,
Curie, Marie, 61, 62, 71, 89, 119
Curie, Pierre, 61, 71

Çift yarık deneyi,78, 90, 132
Çok Erken Evren (Cambridge'deki atölye çalışması), 217
Çoklu evren, 194–95, 208

Dalga fonksiyonu (Ψ) (Schrödinger): Hamilton'ın eylem ilkesi, 159-162, 172
Da Vinci, Leonardo, 24, 25; *Son Akşam Yemeği*, 25; *Mona Lisa*, 25
Darwin, Charles, 207, 211
Davy, Sir Humphrey, 42, 221, 230
Dawkins, Richard, 226
De Fermat, Pierre, 65
Del Ferro, Scipione, 74
Dicke, Robert, 122
Diferansiyel Mikrodalga Radyometre (DMR), 125, 127
Dirac alanı (ψ), 164, 166
Dirac denklemi, 163,171
Dirac, Paul, 61-63, 83, 90, 151, 163, 164, 166, 170-175, 183, 184; "bra-ket" notasyonu, 170
Diyotlar, 197, 200
DNA, 186, 213, 214, 219
Döngüsel evren modeli, 146-149, 154, 180

e (Euler'in sayısı), 76, 90, 161, 162
Echo, 121
Eda, Abonnema (kurgu karakter), 151, 152
Eddington, Arthur, 114, 117
Edinburgh Üniversitesi, 19, 38, 40, 41, 198
Edinburgh, 20, 37-39, 95, 174
Ehrenfest, Paul, 62
Einstein, Albert, 22, 25, 28, 51, 52, 55, 61, 62, 67, 69-73, 77, 80-85, 87-91, 94, 96, 98, 99, 102, 103, 105-115, 117-119, 124, 127, 144, 147, 157, 158, 162, 170, 172, 173, 175, 177, 180, 182-185, 191, 192, 215; genel görelilik teorisi, 112, 113, 115, 168, 171, 181; özel görelilik teorisi, 91, 108, 129
Ekpyrosis (Stoacı kozmoloji konsepti), 149

Elealı Parmenides, 148
Elektromanyetizma 40, 50, 130
Elektrozayıf teori, 163, 164, 168, 176
Englert, François, 164
Ephesuslu Herakleitos, 56, 131, 148
Epikuros, 232
Erlangen Üniversitesi, 168
Eukleides, 56, 131
Euler, Leonhard, 75, 76, 90, 161, 162, 179
Evrim teorisi (Darwin), 211

Facebook, 190
Fairchild, 201
Faraday, Michael, 39, 41-49, 53, 83, 97, 110, 111, 230
Feynman, Richard, 18, 19, 75, 80, 90, 169, 172, 183, 203, 204, 228, 229
Fitzgerald, F. Scott, 80
Fizeau, Hippolyte, 49
Fizik: tek satırlık formülü, 166; kuantum teorisi, 51, 60-63, 65-66, 77-82, 84, 87-92, 103, 117, 160-63, 170-73, 175, 182, 184,193, 199,204, 226
Fotonlar, 59, 78-79, 90, 99, 100, 165; çift yarık deneyi, 78
Frankenstein veya Modern Prometheus (Mary Shelley) 42, 221, 222, 225
Franklin, Benjamin, 48, 167
Friedmann, Alexander, 115, 116, 118, 119, 149

Galilei, Galileo, 26-29, 32, 34, 35, 97, 111, 192, 232; *İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog*, 21; *İki Yeni Bilim*, 28
Gama ışınları, 50, 106
Gamow, George, 118, 119, 120, 122
Gandhi, Mohandas, 16
Gates, Bill, 158
Gauss, Carl Friedrich, 48, 49
Geçmişlerin toplamı (Feynman), 161, 169, 183
Genel görelilik teorisi, 113, 115
Geometri, 25, 38, 57, 76, 77, 91, 112, 141, 161
Gizli değişken teorileri, 83
Glasgow Üniversitesi, 37, 40
Glashow, Sheldon Lee, 163, 165, 176
Godwin, William, 220
Google Glass, 218
Google, 190, 218
Göttingen Üniversitesi, 168, 169
Grangier, Philippe, 88
Gross, David J., 163, 176
Guralink, Gerald, 165
Guth, Alan, 106; enflasyon teorisi, 102-104, 114, 139
Güney Amerika: AMBE, 154–56; Apartheid, 11-13, 29, 152, 154; "uzayzaman," 91, 108, 111-14, 117, 145, 147-48, 162, 167, 173, 177, 196,

Hagen, Carl, 165

Hahne, Fritz, 155
Hamilton, William Rowan, 64-66, 72, 90, 162, 169, 172
Hartle–Hawking önergesi, 141-42
Hartle, James. 94, 140-143, 145, 148
Hartum Üniversitesi, 157
Hawking-Turok instantonu, 141
Hawking, Stephen, 36, 56, 94, 102, 111, 127, 140-143, 145, 147, 148
Heisenberg, Werner, 60-63, 73, 76, 77, 82, 104, 173, 183, 201, 202
Herman, Arthur: *How Scots Invented the Modern World*, 37
Herman, Robert, 119, 120, 122, 168
Hertog, Thomas, 142
Hertz, Heinrich, 42
Higgs alanı (ϕ), 103, 105, 137, 162, 164-166, 168, 176, 177
Higgs bozonu/parçacığı, 14, 137, 165, 166, 182
Higgs mekanizması, 164, 165, 218
Higgs potansiyel enerjisi [V(ϕ)], 165, 178
Higgs, Peter, 164
Hilbert, David, 168
Hitler, Adolf, 169
Hooft, Gerard't, 163
Hubble Teleskobu, 113
Hubble uzunluğu, 234
Hubble, Edwin, 116, 117,
Hume, David, 19-23, 37, 38, 148; *Doğal Din Üzerine Söyleşiler*, 21, 226, 227, 232; *İnsan Zihni Üzerine Bir Araştırma*, 20
Huxley, Julian, 211
Huxley, T. H., 93, 211, 212
Hypatia, 56, 131

Isı teorisi 40, 51
IBM Laboratuvarları, 202
İbni Heysem (Alhazen): *Kitab el-Menazır*, 25
Imperial College (Londra), 102
İncil, 11, 31
integral işareti, 160-162
Intel, 201
İskoç Aydınlanması, 20, 37-8, 94, 132, 198

Johns Hopkins Üniversitesi, 128

Kalkülüs, 32, 33, 48, 97
Kelly, Mervin, 199, 200
Kelvin, Lord (William Thomson), 40, 48, 59, 198
Kenya, 29
Kepler, Johannes, 32
Keynes, John Maynard, 31
Kibble, Tom, 165
King's College (Londra), 41, 47, 231
Kirchhoff, Gustav, 48
Klein, Felix, 168
Kobayashi, Makoto, 164
Kopenhag Üniversitesi, 60, 118
Kozmik Arka Plan Kâşifi (Cosmic

Background Explorer - COBE), 122-126; DMR deneyi, 125, 127; FIRAS deneyi, 123, 124
Kozmoloji, 76, 92, 95-97, 105, 113, 116, 118, 119, 123, 127, 146, 149, 226, 228
Kozmolojik terim (Einstein), 114, 115, 127
Krauss, Lawrence: *Hiç Yoktan Bir Evren*, 226
Kuantum bilgisayarları, 70, 89, 178, 203-05, 207, 219 ;
Kuantum elektrodinamiği (QED), 90, 172, 176
Kuantum teorisi, 51, 60-63, 65-66, 77-82, 84, 87-92, 103, 117, 160-63, 170-73, 175, 182, 184,193, 199, 204, 226; Bell teoremi, 215; klasik fizik, 70, 109, 162, 169, 172-73, 182; çift yarık deneyi, 78; Einstein–Podolsky–Rosen eleştirisi, 88–89, 215; Feynman'ın formülasyonu, 90, 183, 203-204; Maxwell'in teorisi, 51, 64, 67, 98, 106, 163, 165, 195; dalga denklemi, 174, 76
Kuramsal Fizik Enstitüsü (Kopenhag Üniversitesi), 62
Kurlbaum, Ferdinand, 66
Kuvvet alanı, 45, 46; güç taşıyıcı parçacıklar, 144
Kübit (kuantum bit), 205-06, 215, 219
Landau, Lev D., "Landau hayaleti", 176
Laughlin, Robert, 216
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 65
Lemaître, Georges Abbé, 116-119, 127, 141, 149, 211
Lenard, Philipp, 71
Lenz, Heinrich, 48
Lesotho, yazarın eğitim birimi, 152
Leuven Üniversitesi, 142
Linde, Andrei, 102
Lorentz, Hendrik, 51, 61; Lorentz daralması, 107, 129; Lorentz dönüşümü, 107, 109, 110

M teorisi, 144, 145, 180, çokluevren, 181, 234
Maasai, 16
Mandela, Nelson, 12, 53
Mandela, Winnie, 154
Manutius, Aldus, 59
Marx, Karl, 15
Maskawa, Toshihide, 164
Maupertuis, Pierre-Louis, 65
Maxwell, James Clerk, 11, 39-41, 46-53, 59, 64, 65, 67, 72, 78, 79, 83, 90, 97-99, 105-107, 109, 130, 131, 163-165, 184, 192, 195, 19, 198, 230, 231
McLuhan, Marshall, 208-210, 212, 230; *Understanding Media: The Extensions of Man*, 208
Merchant Venturers' Technical Colle-

ge (Bristol), 171
Mısır piramitleri, 17
Mikrodalgalar, 51, 101, 106, 113, 120, 122
Mikroskoplar, 28, 217, *ayrıca bkz.* Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
Mills, Robert, 163; Yang–Mills teorisi, 163, 164
Minkowski, Hermann, 91, 92, 168
Momentum, 167, 168; korunan nicelikler, 169; elektron, 46, 60, 62, 717
Moore kanunu, 161, 201, 202, 207, 218
Morötesi facia, 70, 71, 72, 182, 195
Murdoch, William, 198

Nabta Playa (Mısır), antik taş çember takvim, 17
NASA (National Aeronautics and Space Administration): Apollo programı, 30, 121; COBE uydusu, 122, 134
Nature (dergi), 117
Newton, Sir Isaac, 18, 28, 31-37, 39, 45, 47, 51, 59, 60, 65, 78, 79, 93, 97, 98, 106-108, 110-112, 162, 167, 183, 192, 196, 197, 206; klasik evren kavramı, 36, 60, 192; *Doğal Felsefenin Matematiksel İlkeleri* [*Principia*], 36
Ngorongoro Krateri (Tanzanya), 16
Nietzsche, Friedrich, 149
Nobel Fizik Ödülü, 61, 128, 151, 201, 227
Noether, Emmy, 167-170, 185
Nyerere, Julius Kambarage, 29

Ohm, Georg, 48
Olduvai Boğazı (Tanzanya), 16
Omega Noktası (Teilhard de Chardin), 212
Oxford Üniversitesi, 37, 155

Özel görelilik teorisi, 91, 108

Parçacık fiziği, 61, 89, 145, 165, 162
Pauli, Wolfgang, 62, 82-83
Peebles, James, 122, 124
Penzias, Arno, 120, 122-24
Perimeter Teorik Fizik Enstitüsü (Waterloo, Ontario, Kanada), 241
Perlmutter, Saul, 128
Pi (π), 26
Planck sabiti (h), 64, 66, 72, 83, 90, 94, 98, 162; Hamilton'ın eylem ilkesi, 66, 169
Planck sabiti 64, 66, 72, 83, 90, 92, 162
Planck spektrumu, 123-24
Planck uydusu, 147, 192, 217-18
Planck uzunluğu, 98, 103, 234
Planck, Max, 51, 61, 63-64, 120, 123; "morötesi facia", 70, 72, 195
Platon, 56, 148

Podolsky, Boris, 81
Poe, Edgar Allan: "Eureka", 149
Politzer, H. David, 163, 176
pozitron, 90, 163, 171, 182
Princeton Üniversitesi, 143
Prometheus, 42-43, 222-23
Ptolemaios, evren kavramı, 28, 32
Pythagoras (Pisagor) teorisi, 160
Pythagoras, 17-18, *56-57*, *75*, 77, 131, 159-60, 192
Pythagorasçılar, 17-18, 159

Radio dalgaları, 33, 47, 78, 111, 209
Radyoaktivite, 163, *61*, 89
Raffaello: Atina Okulu, *55*
Reich, Henry, 231
Reiss, Adam, 128
Riemann, Bernhard, 112
Roger, Gérard, 88
Royal Society (Londra): Davy'nin konferansı, 221
Rönesans, 24-25, 27, *55*, *59*,74, 232
Rubens, Heinrich, *66*
Rubin, Vera, 125
Rutherford, Ernest, 71–72, 119

Sagan, Carl: *Mesaj* (roman), 152; *Cosmos* (televizyon programı), 152
Salam, Abdus, 163, 165, 176
Samanyolu, 35, 115, 134
Sanayi Devrimi, 36, 38, *59*
Scherk, Joël, 180
Schmidt, Brian, 128
Schrödinger, Erwin, 60-1; dalga denklemi, 174
Schwarz, John, 180
Schwinger, Julian, 90, 172
Scientific American (dergi), 173-74
Scott, Sir Walter, 198
Serengeti, 16
Shaw, George Bernard, 111–12
Shelley, Mary, 42, 220, 222, 224; *Frankenstein veya Modern Prometheus*, 42, 221; *Son İnsan*, 222-23, 225
Shelley, Percy Bysshe, 220-21, 223-24, 242
Shockley, William, 199–201
Shor, Peter, 204, 206-07
Sicim teorisi, 169, 179, 180-82, 193-94;
Silverstein, Eva, 148
Smith, Adam, 31
Smoot, George, 125–26
Snow, C. P., 18
Sokrates, *56*
Solvay Konferansı, *59*-60, 77, 80
Sosyal medya, 190, 212
Spin kuramı, 62
St. Andrews Üniversitesi, 37
Stanford Üniversitesi, 148
Steinhardt, Paul, 102, 143, 146
Stevenson, Robert, 38
Störmer, Horst, 216
Süperbirleşim, 151, 159, 185

Süpernova Kozmoloji Projesi, 128
Süpernovalar, 100, 120, 186

Tait, Peter Guthrie, 40, 198
Tanzanya, 12, 29, 54
TED ("Technology, Entertainment, and Design") Konferansları, 157-58
Teilhard de Chardin, Pierre, 210-212; *La Phénomène Humain*, 211–12
Tekillik 94, 116-17, 120, 138, 140-43, 145-46, 181, 189, 193-94; sicim teorisi, 169, 179, 180-82, 193-94
Teleskoplar, 14, 51, 217
Telford, Thomas, 198
Teller, Edward, 118
Telstar (şarkı), 121
Telstar (uydu), 121
Thales, 56-57
The Truman Show (film), 82
Theodorus, 58
theoria (teori), 96
Thomson, Joseph John (J. J.), 197
Thomson, William. Bkz. Kelvin, Lord (William Thomson)
Tomonaga, Sin-Itiro, 172, 190
Transistörler, 89, 121, 182, 201-203, 216; geliştirilmesi, 216; Moore kanunu, 161, 202, 201, 218
Trinity College (Cambridge), 31, 41, 206
Tsui, Dan, 216
Turner, Michael, 102

Uraniborg (Danimarka gözlemevi), 32
Uydular: COBE, 122–26; Echo 1, 121; Planck, 147, 192, 217-18; Telstar, 121 Satürn, 41

Vakum enerjisi, 92, 127-129, 138, 141, 143, 144, 150, 161, 165, 168, 178, 193, 194, 234
Vakum tüpleri, 197–199

Veltman, Martinus, 55, 163
Veneziano, Gabriele, 179
Vilenkin, Alexander, 142, 143
Volta, Alessandro, 221
Von Klitzing, Klaus, 216
Von Neumann, John, 19
Voyager uzay aracı, 41

Watt, James, 38, 198
Weinberg, Steven: elektrozayıf teori, 163-165, 176
Weyl, Hermann, 158, 168-169
Wheeler, John Archibald, 82, 93, 110-111, 170, 173
Wilczek, Frank, 102, 163, 176
Wilkinson, David, 123-125
Wilson, Robert, 120, 122–124
Wollstonecraft, Mary, 220; Kadın Haklarının Gerekçelendirilmesi, 220

World Wide Web, 5

X ışınları, 64, 113, 182

Yang, Chen-Ning, 172; Yang–Mills teorisi, 163, 164
Yarı iletkenler, 199–200, 203
Yukawa, Hideki, 164
Yüksek-Z Süpernova Arama Takımı, 128

Zamanda Fourier analizi, 73
Zeno, 148
Zwicky, Fritz, 125

Dünyanın önde gelen kuramsal fizikçilerinden Neil Turok *İçimizdeki Evren*'de geride bıraktığımız üç yüz yılın klasik mekanikten ışığın doğasına, kuantumun tuhaf dünyasından kozmosun evrimine uzanan çığır açıcı keşiflerini incelerken her yeni keşfin büyük resimle ilişkisine ve toplumun yapısında radikal değişimlere yol açan yeni teknolojilere nasıl evrildiğine tanık oluyoruz.

Neil Turok gerçeklik ve evren algımızın, anlama, keşfetme ve yaratma becerilerimizin, yani "içimizdeki evren"in yüzyıllar içinde ne gibi değişimlerden geçtiğinin hikâyesini anlatıyor. Bizim kusurlu dünyamızda olduğu gibi, yıldızlarda veya kozmosun herhangi bir yerinde de tamamen aynı kanunların geçerli olduğunu gördüğümüz, kırılmalarla şekillenen bir hikâye bu. Şimdiyse başka bir kırılmanın eşiğindeyiz: Bize "hayali bir gerçeklikte" yaşadığımızı söyleyen kuantum devrimi.

"Kimiz ki biz? Rastlantısal mutasyonun ve doğal seçilimin yavaş yavaş miadını dolduran bir sonucu mu, yoksa yaşamı bambaşka bir seviyeye taşıyacak yeni bir evrimsel aşamayı başlatacak olanlar mı?"



KOLEKTİFDÜŞÜNCE | kolektif kitap | www.kolektifkitap.com

9 786055 029852