GERÇEKLİK GÖRÜNDÜĞÜ GİBİ DEĞİLDİR

CARLO ROVELLI

Çeviri: TOLGA ESMER

can

CARLO ROVELLI

GERÇEKLİK GÖRÜNDÜĞÜ GİBİ DEĞİLDİR

NESNELERİN TEMEL YAPISI: KUANTUM KÜTLE ÇEKİMİNE YOLCULUK

La realtà non è come ci appare. La struttura elementare delle cose, Carlo Rovelli
© 2014, Raffaello Cortina Editore
© 2018, Can Sanat Yayınları A.Ş.
Tüm hakları saklıdır. Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

1. basım: Ekim 2018, İstanbul
Bu kitabın 1. baskısı 3000 adet yapılmıştır.

Editör: Nükhet Polat

Düzelti: Ebru Aydın
Mizanpaj: Atahan Sıralar

Kapak tasarımı: Utku Lomlu / Lom Creative (www.lom.com.tr)

Kapak baskı: Saner Basım Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti.
Maltepe Mah. Litros Yolu 2. Matbaacılar Sit. No: 2/4 2BC 3/4
Zeytinburnu, İstanbul
Sertifika No: 35382

İç baskı ve cilt: Yıldız Matbaa Mücellit
Maltepe Mah. Gümüşsuyu Cad. Dalgıç İş Merkezi No: 3 Kat: 2
Topkapı-Zeytinburnu
Sertifika No: 33837

ISBN 978-975-07-3852-4

Çeviriye katkılarından dolayı Prof. Dr. R. Ömer Akyüz'e teşekkür ederiz.

CAN SANAT YAYINLARI
YAPIM VE DAĞITIM TİCARET VE SANAYİ A.Ş.
Hayriye Caddesi No: 2, 34430 Galatasaray, İstanbul
Telefon: (0212) 252 56 75 / 252 59 88 / 252 59 89 Faks: (0212) 252 72 33
canyayinlari.com
yayinevi@canyayinlari.com
Sertifika No: 31730

CARLO ROVELLI

GERÇEKLİK GÖRÜNDÜĞÜ GİBİ DEĞİLDİR

NESNELERİN TEMEL YAPISI: KUANTUM KÜTLE ÇEKİMİNE YOLCULUK

İtalyanca aslından çeviren

Tolga Esmer

can

Carlo Rovelli'nin Can Yayınları'ndaki diğer kitabı:

Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders, 2017

CARLO ROVELLI, 1956'da Verona'da doğdu. Günümüzün öncü fizik kuramcıları arasında bulunan Rovelli, 1981'de Bologna Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu, 1986'da Padova Üniversitesi'nde doktora derecesini aldı. Doktora sonrası araştırma sürecinde Imperial College London (1986), Roma La Sapienza Üniversitesi (1987/88), Yale Üniversitesi (1987), Syracuse Üniversitesi (1989) ve Trieste SISSA'da çalışmalar yaptı. 1990-1999 yıllarında Pittsburg Üniversitesi'nde öğretim üyesi, 1999-2000'de profesör olarak görev yaptı. 2000'de Fransa'da Aix-Marseille Üniversitesi'ne geçti. Araştırma alanıyla ilgili seçkin kurumlardan çok sayıda ödüle layık görülen Rovelli, Lee Smolin'le birlikte *loop* (ilmek) kuantum kütle çekimi kuramını geliştirdi. Çok sayıda akademik yayınının yanı sıra 2011'de *Miletli Anaksimandros Ya Da Bilimsel Düşüncenin Doğuşu*'nu, 2014'te *Gerçeklik Göründüğü Gibi Değil: Nesnelerin Temel Yapısı*'nı yayımladı. Aynı yıl yayımlanan *Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders*, 40'tan fazla dile çevrildi ve yaklaşık bir milyon okurla buluştu. Son olarak 2017'de *L'ordine del tempo*'yu (Zamanın Düzeni) yayımlayan Rovelli, Aix-Marseille Üniversitesi'nin Fizik Kuramı Merkezi'nde çalışmalarını sürdürmektedir.

http://www.cpt.univ-mrs.fr/~rovelli/

TOLGA ESMER, 1966'da İstanbul'da doğdu. St. Joseph Lisesi'ni bitirdikten sonra bir yıl ABD'de kaldı. Boğaziçi Üniversitesi'nden İnşaat Mühendisliği lisansıyla mezun oldu. Milano'daki Bocconi Üniversitesi'nde Uluslararası Ekonomi ve İşletme yüksek lisansı yaptı. İtalya ve Türkiye'de yönetim danışmanlığı yaptı. Farklı üniversitelerde işletme konularında dersler verdi. Film yapımcılığı yaptı. Predrag Matvejeviç'in *Akdeniz'in Kitabı*'nı (1999), Umberto Eco'nun *Açık Yapıt*'ını (2016), Jonathan Wilson'ın *Kirli Yüzlü Melekler/ Arjantin Futbol Tarihi*'ni (2017) ve Carlo Rovelli'nin *Fizik Üzerine Yedi Kısa Dersi*'ni (2017) çevirdi.

İçindekiler

Sunuş: Deniz Kıyısında Yürürken 11

BİRİNCİ KISIM: KÖKLER

1 Tanecikler 19

2 Klasikler 45

İKİNCİ KISIM: DEVRİMİN BAŞLANGICI

3 Albert 69

4 Kuantumlar 109

ÜÇÜNCÜ KISIM: KUANTUM UZAYI VE İLİŞKİSEL ZAMAN

5 Uzay-Zaman Kuantumdur 145

6 Uzay Kuantumları 159

7 Zaman Yoktur 173

DÖRDÜNCÜ KISIM: UZAYIN VE ZAMANIN ÖTESİNDE

8 Tanecikler 197

9 Deneysel Kanıtlar? 205

10 Kara Deliklerin Isısı 217

11 Sonsuzluğun Sonu 225

12 Bilgi 233

13 Gizem 253

Açıklamalı Kaynakça 261

Dizin 265

SUNUŞ
DENİZ KIYISINDA YÜRÜRKEN

Kendimizi takıntı haline getirmiş durumdayız. *Kendi* tarihimizi, *kendi* psikolojimizi, *kendi* felsefemizi, *kendi* tanrılarımızı inceleriz. Sanki evrendeki en önemli şey bizmişiz gibi, bilgilerimizin çoğu insan çevresinde döner. Sanırım fiziği sevmemin nedeni, önümüzde bir pencere açması ve uzaklara bakmasıdır. Bana sanki eve temiz hava doldurmuş gibi gelir.

Pencereden gördüklerimiz bizi hep şaşırtır. Evren hakkında çok şey öğrendik. Yüzyıllar boyu yaptığımız hataların farkına vardık. Yeryüzünün düz olduğunu, evrenin merkezinde sabit durduğunu, evrenin küçük ve değişmez olduğunu düşünüyorduk. İnsanların diğer hayvanlarla akraba olmayan farklı bir soy olduğunu sanıyorduk. Kuarkların, kara deliklerin, ışık parçacıklarının, uzay dalgalarının ve gövdemizdeki her hücrede bulunan olağanüstü moleküler yapıların varlığını öğrendik. İnsanlık, büyümekte olan ve dünyanın kendi odası ve oyun bahçesinden ibaret olmadığını, aksine çok büyük olduğunu ve keşfedilecek bin bir düşünce, içinde büyüdüğü fikirlerden farklı fikirler barındırdığını şaşkınlıkla öğrenen bir çocuk gibidir. Evren karmaşık ve sınırsızdır, biz de onun yeni yönlerini keşfetmeye devam ediyoruz. Evren hakkında ne kadar çok şey öğrenirsek onun çeşitliliğine, güzelliğine ve basitliğine o kadar hayran oluyoruz.

Ama keşfettikçe, bilmediklerimizin bildiklerimizden daha çok olduğunu da fark ediyoruz. Teleskoplarımız güçlendikçe, gökyüzünde daha garip ve beklenmedik şeyler görüyoruz. Maddenin en küçük ayrıntılarına baktıkça daha derin yapılar keşfediyoruz. Bugün neredeyse, 14 milyar yıl önce gökteki

tüm gökadaların doğduğu Büyük Patlama'ya dek geçmişi görebiliyoruz; bununla birlikte Büyük Patlama'nın ötesinde ne olduğuna şöyle bir gözucuyla da olsa bakmaya başladık bile. Uzayın eğri olduğunu öğrendik ve bu uzayın da titreşen kuantum taneciklerinden örülmüş olduğunu yavaş yavaş görmeye başlıyoruz.

Evrenin temel dilbilgisi hakkında daha çok şey öğrenmeye devam ediyoruz. Fiziksel Dünya hakkında 20. yüzyıl boyunca öğrendiklerimizi bir araya getirmeyi denersek, elimizdeki ipuçları madde ve enerji, uzay ve zaman hakkında bize okulda öğretilen düşüncelerden çok farklı bir şey gösterir. Zamanın ve uzayın olmadığı, kuantal olayların bir arı kovanı gibi kaynaşmasından oluşan temel bir yapı ortaya çıkar. Kuantum alanları, bir olay ile diğeri arasında bilgi alışverişi yaparak uzayı, zamanı, maddeyi ve ışığı meydana getirir. Gerçeklik bir tanecikli olaylar ağıdır; onları birleştiren dinamiğin temelinde de olasılık vardır; iki olayın gerçekleşmesi arasında uzay, zaman, madde ve enerji, bir olasılık bulutu içinde erir.

Bu yeni ve tuhaf dünya, bugün yavaş yavaş temel fiziğin çözülmemiş ana problemi olan *kuantum kütle çekimine* yönelik araştırmalarından doğuyor. Bu problem, 20. yüzyıl fiziğinin iki büyük keşfi olan genel görelilik ile kuantum kuramı aracılığıyla dünyayla ilgili anladıklarımızı tutarlı kılma sorunudur. Bu kitap, *kuantum kütle çekimine* ve bu konuyla ilgili araştırmaların göz önüne sermekte olduğu garip dünyaya adanmıştır.

Kitap, halen sürmekte olan araştırmaların canlı yayınıdır: Nesnelerin temel doğasına ilişkin ne öğrendiğimiz, ne bildiğimiz ve bugün ne anlamaya başladığımızı sandığımız şeyler hakkındadır. Bugün dünya hakkındaki düşüncelerimizi düzenlememizi sağlayan bazı temel fikirlerin uzak bir geçmişte kalmış kökenleriyle başlıyor. 20. yüzyılın iki büyük keşfini, Einstein'ın genel görelilik kuramı ile kuantum mekaniğini, fiziksel içeriklerinin özüne odaklanmayı deneyerek açıklıyor. Standart kozmolojik modelin Planck uydusundan edinilmiş verilerle doğrulanması (2013) ve pek çoklarının beklediği ama CERN'de bir türlü ortaya çıkmayan üstünsimetrili parçacıklar (2013) gibi doğanın bize sunduğu son işaretleri göz önünde tutarak, günümüzde kuantum kütle çekimi araştırmalarından doğmakta olan dünya imgesini anlatıyor. Bu fikirlerin, uzayın tanecikli yapısından,

zamanın çok küçük ölçeklere inildiğinde yok olmasına, Büyük Patlama fiziğinden, kara delik ısısının kaynağına ve bilginin fiziğin temelinde oynadığı rol hakkında gözümüze çarpanlara dek farklı sonuçlarını tartışıyor.

Devlet'in VII. kitabında Platon'un anlattığı ünlü efsaneye göre, insanlar karanlık bir mağaranın dibinde zincirlenmiştir ve arkalarında yanan bir ateşin ışığıyla önlerindeki duvara yansıyan gölgelerden başka bir şey görmez. Bunun gerçek olduğunu sanırlar. Bunlardan biri kurtulur, güneş ışığını ve uçsuz bucaksız dünyayı keşfeder. Başta ışık onu sersemletir ve kafasını karıştırır; gözleri ışığa henüz alışmamıştır. Ama sonunda bakmayı başarır ve neler gördüğünü anlatmak için sevinç içinde arkadaşlarının yanına döner. Arkadaşları ona inanmakta zorlanır. Hepimiz bir mağaranın dibinde bilgisizliğimizin ve önyargılarımızın zincirlerine vurulmuş bir durumdayız, zayıf duyularımız da bizim gölgeler görmemize neden olur. Daha uzaklara bakmayı denemek genellikle kafamızı karıştırır; buna çok alışkın değiliz. Ama deniyoruz. Bilim budur. Bilimsel düşünce dünyayı araştırır, onu yeniden çizer, gitgide onun daha iyi bir imgesini oluşturur, dünya hakkında daha etkili biçimde düşünmeyi öğretir. Bilim, düşünce biçimlerini sürekli olarak araştırmaktır. Gücünü, önyargıları yıkan görüş yeteneğinden, gerçekliğin yeni alanlarını ortaya çıkarmasından ve dünyanın yeni ve daha etkili imgelerini yaratmasından alır. Bu serüven tamamen geçmişten gelen bilgi birikimine dayanır ama ruhunda değişim vardır. Daha uzaklara bakmak vardır. Dünya sınırsız ve rengârenktir; gidip onu görmek isteriz. Gizemi ve güzelliği çevremizi sarar, tepelerin ardında da daha keşfedilmemiş yerler vardır. Bilmediklerimizin derin uçurumunun üzerinde asılı durumdayken, çevremizi kuşatan bu belirsizlik ve kararsızlık yaşamı anlamsız kılmaz, tersine değerini artırır.

Bu kitabı, bu serüvenin benim için harika olan yönlerini anlatmak için yazdım. Fizik hakkında hiçbir şey bilmeyen ama dünyanın temel dokusu hakkında bugün neyi anladığımızı, neyi anlamadığımızı ve onu nerede aradığımızı merak eden bir okuyucuyu düşünerek kaleme aldım. Bu açıdan bakıldığında görünen gerçeklik manzarasının nefes kesici güzelliğini anlatmak için yazdım.

Aynı zamanda meslektaşlarımı, dünyanın dört bir yanına

yayılmış yol arkadaşlarımı veya bu yolda yürümek isteyen, içlerinde fen bilimi tutkusu olan gençleri de düşünerek yazdım. Gerek görelilik gerek kuantum fiziği ışığında, ikisini bir araya getirebileceğini düşündüğüm bir yöntemle, fiziksel dünyanın yapısına ilişkin bir genel görünüm taslağı çizmeye çalıştım. Bu, yalnızca bilgi veren bir kitap değil, aynı zamanda teknik dilin soyutluğunun, bazen resmin tamamının iyi görülmesini engelleme tehlikesi taşıdığı bir araştırma alanında, tutarlı bir bakış açısı ortaya koymayı da amaçlayan bir kitaptır. Fen bilimi deneylerle, hipotezlerle, denklemlerle, hesaplamalarla ve uzun tartışmalarla yapılır ama bunlar, tıpkı müzisyenlerin çalgıları gibi, yalnızca birer araçtır. Sonuçta müzikte önemli olan müziktir, bilimde önemli olansa bilimin sunmayı başardığı dünya anlayışıdır. Dünya'nın Güneş'in çevresinde döndüğünü bulmanın ne demek olduğunu anlamak için Copernicus'un karmaşık hesaplarına dalmak gerekmez; gezegenimizdeki tüm canlıların aynı ortak atalara sahip olduğunun bulunmasının önemini anlamak için Darwin'in kitabındaki karmaşık tartışmaları izlemek gerekmez. Bilim, dünyayı gittikçe genişleyen bir bakış açısıyla okumaktır.

Bu kitapta temel bağlantı noktalarına ve mantıksal bağlantılara odaklanarak, bugün anladığım biçimiyle, dünyanın bu yeni imgesinin araştırılmasında vardığımız noktayı anlatıyorum. Uzun bir yaz gecesi, deniz kıyısında yürürken, "Peki, sen nesnelerin gerçekten ne olduklarını düşünüyorsun?" diye soran bir meslektaşa, bir arkadaşa anlatırmış gibi...

BİRİNCİ KISIM

KÖKLER

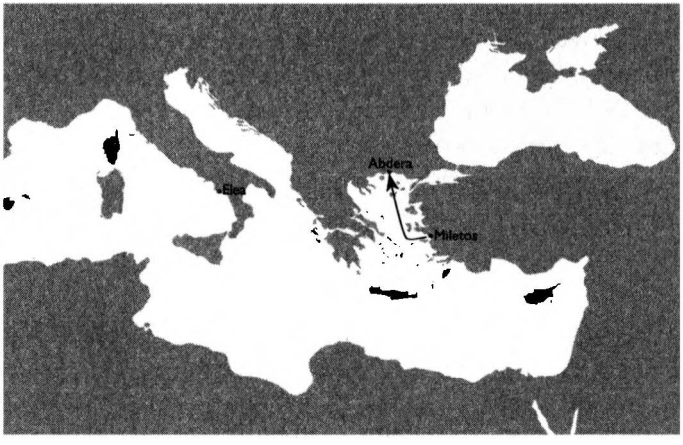
Bu kitap yirmi altı yüzyıl önce Miletos'ta başlıyor. Kuantum kütle çekimi hakkındaki bir kitaba neden bu kadar eski olaylarla, kişilerle ve fikirlerle başlanır ki? Uzay kuantumlarına bir an önce ulaşmak isteyen okuyucuyu gücendirmeyeceğimi umarım. Ama düşünceleri kökenlerinden yola çıkarak anlamak daha kolaydır, ayrıca dünyayı anlamakta etkili oldukları daha sonra kanıtlanan önemli düşüncelerden bir bölümü iki bin yıl önce doğmuştur. Kökenlerini kısaca gözden geçirirsek onları daha iyi anlarız, sonraki adımlar da daha basit ve doğal hale gelir.

Ama dahası da var. O zamanlar ortaya konan bazı problemler dünyanın anlaşılması açısından hâlâ çok önemlidir. Uzayın yapısına ilişkin son dönemlerde ortaya çıkan en yeni fikirlerden bazıları o zamanlar ortaya konan kavramlara ve sorulara dayanır. O zamanlardaki düşüncelerden söz ederken kuantum kütle çekiminin temellerini anlamak için kilit öneme sahip olacak bazı temel soruları da hemen ortaya koyacağım. Bu, kuantum kütle çekimini sunarken, bize tanıdık gelmeseler de, hangi fikirlerin bilimsel düşünce tarihinin başlangıcına dek uzandığını, hangilerinin radikal biçimde yeni yönleri olduğunu ayırt etmemizi sağlar. Bazı antik dönem felsefeci-biliminsanlarının düşünceleriyle ortaya konan problemler ile Einstein'ın ve kuantum kütle çekiminin bulduğu çözümler arasında, göreceğimiz gibi, çok yakın bir ilişki vardır.

1

TANECİKLER

Eski bir öyküye göre MÖ 450 yılında bir adam Miletos'tan Abdera'ya gitmek için bir gemiye biner (resim 1.1). Bu, bilgi tarihinde çok önemli bir yolculuk olur.



Resim 1.1. Atomcu okulun kurucusu Miletos'lu Leukippos'un yolculuğu (MÖ 450 civarı).

Adam muhtemelen, soyluların iktidarı şiddet yoluyla ele geçirmeye çalıştığı Miletos'taki politik çalkantıdan kaçmaktaydı. Miletos, zengin ve canlı bir Yunan kentiydi,

belki de Atina ve Sparta'nın altın çağından önce Yunan dünyasının en önde geleniydi. Çok hareketli bir ticaret merkeziydi ve Karadeniz'den Mısır'a dek uzanan yüz kadar koloniyi ve ticaret limanını kontrol ediyordu. Miletos'a Mezopotamya'dan kervanlar, Orta Akdeniz'den gemiler gelir, fikirler yayılırdı.

Bir önceki yüzyılda Miletos'ta insanlık için çok önemli bir düşünce devrimi gerçekleşmişti. Bir grup düşünür dünya hakkında sorulacak soruların sorulma biçimini ve cevap arama yöntemini değiştirmişti. Bu düşünürlerin en büyüğü Anaksimandros'tu.

İnsanlar her zaman, en azından insanlığın günümüze dek ulaşan yazılı belgeler bırakmasından beri, dünyanın nasıl doğduğunu, nelerden oluştuğunu, nasıl düzenlendiğini ve doğa olaylarının neden meydana geldiğini merak etmiştir. Binlerce yıl boyunca kendi kendilerine hep benzer yanıtlar vermişlerdir: Bu yanıtlar ruhlara, tanrılara, hayalî ve mitolojik yaratıklar ile benzerlerine göndermede bulunur. Çiviyazılı tabletlerden eski Çin metinlerine, piramitlerdeki hiyerogliflerden Sioux Kabilesi efsanelerine, en eski Hint belgelerinden İncil'e, Afrika öykülerinden Avustralya Aborijinlerinkilere dek hepsi, karanlığa üfleyerek, *fiat lux*[1] diyerek ya da taş bir yumurtadan çıkararak dünyayı yaratan Tüylü Yılanların, Büyük Öküzlerin sinirli, kavgacı ya da barışsever tanrıların renkli –ama aslında sıkıcı– öykülerini anlatır.

Sonra Miletos'ta, MÖ VI. yüzyılda Thales, öğrencisi Anaksimandros, Hekataios ve onların kurduğu okul, yanıt aramak için yeni bir yöntem keşfetti. Bu yöntem efsanelere, ruhlara, tanrılara başvurmuyor, yanıtları nesnelerin kendi doğasında arıyordu. Bu müthiş düşünce dev-

1. (Lat.) "Işık olsun." Eski Ahit'te Tanrı'nın ışığı yaratırken kullandığı ifade. "Yaradılış", 1:3. (Ç.N.)

rimi yeni bir bilgi edinme yöntemi başlatıyor ve bilimsel düşüncenin şafağını belirliyordu.

Miletos'lular gözlemi ve mantığı zekice kullanarak, bilmediğimiz şeylerin yanıtlarını hayallerde, eski efsanelerde ve dinde aramadan, özellikle de eleştirel düşünceyi akılcı bir biçimde kullanarak, dünyaya ilişkin görüşümüzü gittikçe iyileştirebileceğimizi, gerçekliğin ilk bakışta herkesin gözünden kaçan yönlerini keşfedebileceğimizi ve yeni şeyler öğrenebileceğimizi anlamıştı.

Burada belki de en önemli buluş, bir öğrencinin öğretmeninin düşüncelerine saygı duymak ve onları paylaşmak zorunda olmadığı, bu düşünceleri iyileştirilebileceğini düşündüğü bölümleri göz ardı etmekten ve eleştirmekten çekinmeden geliştirebileceği bir düşünce biçimi oldu. Bir okula içten bağlı olma ile ona tümden karşı çıkma arasındaki bu üçüncü yol, felsefede ve bilimsel düşüncede daha sonra yaşanan muhteşem ilerlemenin kilit taşı oldu; bu andan itibaren bilgi, bir yandan geçmiş bilgilerden beslenip bir yandan da eleştirme ve dolayısıyla bu bilgiyi geliştirme olanağına sahip olunca, baş döndürücü bir hızla artmaya başladı. Yanılabileceğinin farkında olan Hekataios'un tarih kitabının göz kamaştırıcı önsözü, eleştirel düşüncenin ruhunu yakalar: "Ben, bana doğru gelen şeyler yazıyorum; çünkü Yunanların anlatımlarında bana çelişkili ve gülünç gelen şeyler var."

Hekataios, Herakles'in Hades'e Tainaron Burnu'ndan indiği efsanesini anlatır; Hekataios, Tainaron Burnu'na gider, orada Hades'e girmek için hiçbir yeraltı geçidi, hiçbir giriş olmadığını belirler ve efsanenin doğru olmadığı sonucuna varır. Bu, yeni bir çağın başlangıcıdır.

Bilgiye bu yeni yaklaşımın etkileri hızlı ve çarpıcı olur. Birkaç yıl içinde Anaksimandros yeryüzünün gökyüzünde asılı durumda olduğunu ve göğün yerin altında da devam ettiğini, yağmurun yeryüzündeki suyun buharlaşmasından kaynaklandığını, dünyadaki maddelerin çeşitli-

liğinin *ἄπείρων* (*apeiron*), belirsiz adını verdiği tekil ve basit bir yapıtaşı çerçevesinde anlaşılabilmesi gerektiğini, hayvanların ve bitkilerin evrim geçirerek çevrelerine uyum sağladığını, insanın başka hayvanlardan evrilmiş olması gerektiğini anlar ve adım adım dünyayı anlamak için bugün de sahip olduğumuz dilbilgisinin temellerini atar.

Doğmakta olan Yunan uygarlığı ile Antik Mezopotamya ve Mısır imparatorluklarının kesişim noktasında bulunan, onların bilgi birikiminden beslenerek; bir yandan da tipik Yunan politik akışkanlığı içinde özgürce, imparatorluk saraylarının ve güçlü din adamı sınıflarının olmadığı bir toplumsal alanda, bireylerin kendi kaderlerini meydanlarda tartıştığı Miletos, insanların kendi yasalarını hep birlikte tartıştığı, dünyadaki ilk meclisin –İyonya Birliği temsilcilerinin bir araya geldiği *Panionion*'un– toplandığı ve insanların dünyanın anlaşılmaz olaylarını yalnızca tanrıların açıklayabileceği fikrini ilk kez sorguladıkları yerdir. Tartışarak toplum için en doğru kararlara ulaşabilir, dünyayı anlayabilirlerdi. Felsefenin, doğa bilimlerinin, coğrafya ve tarih araştırmalarının beşiği Miletos'un muhteşem mirası budur. Tüm Akdeniz, Batı ve sonrasında günümüz bilim ve felsefe geleneğinin kökeninde MÖ 6. yüzyılda Miletos'lu düşünürlerin akıl yürütmeleri olduğunu öne sürmek abartılı bir ifade olmaz.[1]

Bu parlak Miletos, kısa süre sonra korkunç bir biçimde yıkıldı. Pers İmparatorluğu'nun gelişi ve imparatorluğa karşı başarısız bir ayaklanma girişimi MÖ 494'te kentin acımasızca yok edilmesiyle ve yurttaşlarının büyük bölümünün köleleştirilmesiyle sonuçlandı. Atina'da şair Frinikos, Atinalıları derinden etkileyen ve çok acı verdiği için yeniden sahnelenmesi yasaklanan "Miletos'un Ele Geçiri-

1. Miletos'luların, özellikle de Anaksimandros'un bilimsel düşünceleri için bkz. Carlo Rovelli, *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*, Mondadori, Milano, 2012.

[Aksi belirtilmediği sürece dipnotlar yazara aittir. (Y.N.)]

lişi" başlıklı bir trajedi yazdı. Ama Yunanlar yirmi yıl sonra Pers tehlikesini püskürttü, Miletos yeniden doğdu, insanlar geri döndü, kent yeniden bir ticaret ve düşünce merkezi oldu, düşüncelerini ve ruhunu yaymaya devam etti.

Bölümün girişinde anlattığımız eski öyküye göre 450'de Miletos'tan Abdera'ya giden kişi bu ruhtan etkilenmiş olmalı. Adı Leukippos'tu. Yaşamı hakkında pek az şey biliyoruz.[1] *Megas Diakosmos* [Büyük Evrensel Düzen] başlıklı bir kitap yazmıştı. Abdera'ya gelmesinin ardından bir bilim ve felsefe okulu kurdu, bu okula kısa süre sonra, kendisinden sonraki tüm düşünce sistemlerinin üzerine devasa gölgesi düşen bir öğrenci katıldı: Demokritos (Resim 1.2).



Resim 1.2. Abdera'lı Demokritos.

1. Leukippos'un Miletos'lu olduğuna Simplikios tanıklık eder (bkz. Matteo Andolfo, *Atomisti antichi / Frammenti e testimonianze*, Rusconi, Milano, 1999, s. 103) ama bu kesin değildir. Antik dönem yazarlarına göre kökeni Elea'dır. Miletos'a ve Elea'ya yapılan gönderme, düşüncesinin kültürel kökenleri için belirleyicidir; Leukippos'un Elea'lı Zenon'a borçlu olduğu konular ilerideki sayfalarda tartışılacaktır.

İkisinin düşünceleri karıştırılır. Her ikisinin de özgün metinleri kayıptır. Leukippos öğretmendi. Demokritos büyük öğrenciydi; fen bilimi ve felsefenin her alanında düzinelerce yapıt yazmış ve antik dönemde bu yapıtları, onu tanıyanlar tarafından büyük saygı görmüştü. Büyük bilginler arasında gösteriliyordu. Seneca onun için "tüm eskiler arasında kavrayışı en kuvvetli olan"[1] diyordu. Cicero, "Yalnızca dehasının değil, ruhunun da büyüklüğünü kimle karşılaştırabiliriz?"[2] diye sorar. Antik dönemin atomcu tapınağını diken odur.

Leukippos ile Demokritos'un bulduğu şey neydi öyleyse? Miletos'lular dünyanın akıl yoluyla anlaşılabileceğini kavramıştı. Farklı doğal olayların basit bir şeye dayandığına inanıyorlar, bu şeyin ne olabileceğini anlamaya çalışıyorlardı. Her şeyi oluşturabilecek bir temel madde hayal ediyorlardı. Miletos'lulardan Anaksimenes bu maddenin yoğunlaştırılabileceğini ve seyreltilebileceğini, böylece de dünyayı oluşturan elementlerden birbirlerine dönüşebileceğini düşünmüştü. Fiziğin atılan ilk tohumu buydu, çok temel ve kabaydı ama doğru yolda bir adımdı. Dünyanın gizli düzeninin ne olabileceğini yanıtlamayı denemek için bir düşünce, büyük bir düşünce, büyük bir görüş gerekiyordu. Bu düşünceye sahip olanlar da Leukippos ve Demokritos'tu.

Demokritos sisteminin büyük düşüncesi son derece basittir: Tüm evren, içinde sayısız atomun hızla hareket ettiği sınırsız, boş bir uzaydan oluşur. Evrende bundan başka bir şey yoktur. Uzay sonsuzdur, ne üstü ne de altı vardır, bir merkezi ya da sınırı yoktur. Atomların, biçim-

1. Seneca, *Doğa Araştırmaları*, VII, III, 2, çev. C. Cengiz Çevik, Jaguar Kitap, İstanbul, 2014, s. 264. (Ç.N.)

2. Cicero, *Academica priora*, II, 23, 73 (İtalyanca çeviri *Lucullo / M.T. Cicerone*, Loescher, Torino, 1969).

lerinden başka herhangi bir özellikleri yoktur. Ağırlıkları, renkleri, tatları yoktur: "Tatlı bir kanıdır, acı bir kanıdır, sıcak bir kanıdır, soğuk bir kanıdır, renk bir kanıdır; tek gerçek atomlar ve boşluktur."[1]

Atomlar bölünemez, gerçekliğin her şeyi oluşturan ve parçalarına ayrılamayan temel tanecikleridir. Uzayda serbestçe hareket eder, birbirleriyle çarpışır, birleşir, birbirlerini iter ve çekerler. Benzer atomlar birbirlerini çeker ve birikir.

Dünyanın yapısı budur. Gerçeklik budur. Geriye kalan her şey, atomların bu gelişigüzel hareketi ve birleşmesinin yan ürününden başka bir şey değildir. Dünyayı oluşturan tüm farklı maddeler atomların birleşmesinden oluşur.

Atomlar bir araya gelip toplandıklarında önemli olan, temel düzeyde var olan şeyler yalnızca onların biçimi, yapıdaki yerleri ve nasıl birleştikleridir. Tıpkı alfabenin yirmi kadar harfiyle komediler, trajediler, gülünç öyküler ya da büyük destansı şiirler yaratılabileceği gibi, temel atomlar birleştirilerek dünyanın sınırsız çeşitlilikleri elde edilebilir. Benzetme Demokritos'a aittir.[2]

Atomların bu harika dansının hiçbir amacı ya da hedefi yoktur. Doğanın geri kalanı gibi biz de bu sonsuz dansın pek çok sonucundan biriyiz. Rastlantısal bir birleşmenin ürünüyüz. Doğa biçimlerle ve yapılarla deney yapmaya devam eder, biz de, hayvanlar gibi, çok uzun sürelerde gerçekleşen rastlantısal bir seçilimin ürünüyüz. Yaşamımız atomların birleşmesinden ibarettir, düşüncelerimiz minicik atomlardan oluşur, düşlerimiz atomların

1. Sextus Empiricus, *Adversus mathematicos*, VII, 135 (İtalyanca çeviri *Contro i matematici*, Laterza, Roma-Bari, 1975).

2. Bkz. Aristoteles, *Oluş ve Bozuluş Üzerine*, 315b, 13-14, çev. Celal Gürbüz, Ara Yayıncılık, İstanbul, 1990, s. 23. (Ç.N.)

ürünüdür, ümitlerimiz, duygularımız atomların birleşmesiyle ortaya çıkan dille yazılmıştır, gördüğümüz ışık bize imgeler taşıyan atomlardır. Denizler, kentler, yıldızlar atomlardan yapılmıştır. Bu, daha sonra üzerinde bir uygarlığın bilgi birikiminin yükseleceği, muazzam, sınırsız, inanılmayacak ölçüde basit ve bir o kadar da güçlü bir görüştür.

Demokritos onlarca kitapla bu temel üzerinde yer alan, fizik, felsefe, etik, politika ve kozmoloji sorularını ele aldığı çok büyük bir sistem ortaya koydu. Dilin ve dinin doğası, insan toplumlarının doğuşu ve daha pek çok konu hakkında yazdı. (*Mikros Diakosmos* [Küçük Evrensel Düzen] kitabının girişi çok çarpıcıdır: "Bu yapıtta her şeyi ele alıyorum," der.) Bu kitapların hepsi kayıptır. Düşüncelerini ancak diğer antik dönem yazarlarının göndermelerinden, alıntılarından ve özetlerinden öğreniyoruz.[1] Bundan doğan düşünce, derin, akılcı ve materyalist bir hümanizmdir.[2] Demokritos, doğaya gösterdiği, tüm mitolojik düşünce kırıntılarından arındırılmış ve doğacı bir açıklıkla aydınlanmış büyük dikkat ile insanlığa yönelttiği büyük dikkati, yaşamı etik açıdan ciddiyetle ele almakla kaynaştırarak 18. yüzyıl Aydınlanması'nın en iyi yönlerini iki bin yıl öncesinden haber vermiştir. Demokritos'un etik ideali, tutkulara kapılmadan akla güvenerek ılımlılık ve denge sayesinde ulaşılan ruh dinginliğidir.

Demokritos'u iyi tanıyan Platon da Aristoteles de onun fikirlerine karşı mücadele ettiler. Bunu farklı fikir-

1. Atomculuktan söz eden antik döneme ait fragmanlar ve tanıklıkların bir derlemesi için bkz. Matteo Andolfo, agy. Demokritos hakkında güzel ve eksiksiz bir derleme Salomon Luria tarafından yapılmıştır (bkz. *Democrito, Roccolta dei frammenti*, İtalyanca çev. Bompiani, Milano, 2007).

2. Demokritos'un düşünceleri hakkında, hümanizmi öne çıkaran, son dönemlerde yayımlanan kısa ve ilginç bir yapıt için bkz. Stefano Martini, *Democrito: filosofo della natura o filosofo dell'uomo?*, Armando, Roma, 2002.

lerin savunulması adına yaptılar, ne var ki daha sonra bilginin gelişimini yüzyıllar boyunca engellemiş oldular. Her ikisi de Demokritos'un doğacı açıklamalarını reddetti ve dünyayı amaçlar çerçevesinde, yani doğayı anlamak için çok yetersiz olduğu sonradan ortaya çıkacak bir düşünce yöntemi olan her şeyin bir amacının olduğunu düşünerek ya da insanları ilgilendirmeyen konular ile insani konuları birbirine karıştırarak iyi ile kötü kavramları çerçevesinde anlamaya çalışmakta ısrarcı oldu.

Aristoteles, Demokritos'un düşüncelerinden büyük bir saygıyla ve geniş biçimde söz ederken Platon onun adını hiç anmaz; ama günümüz araştırmacılarına göre, onu tanımadığı için değil, bir tercih olarak söz etmez Demokritos'tan. Platon'un pek çok yapıtında, örneğin "fizikçiler"in eleştirisinde, Demokritos'un düşünceleri üstü kapalı biçimde eleştirilir. *Phaidon*'un bir bölümünde tüm "fizikçiler"i, onları lekeleyecek biçimde, Sokrates'in ağzından azarlar: Platon "fizikçiler"in ona dünyanın yuvarlak olduğunu söylediklerinde, yuvarlak olmanın dünya için neden "iyi" olduğunu, bunun onun ne işine yarayacağını sorarak isyan ettiğinden yakınır. Platon'un ağzından Sokrates fizik konusunda başta çok heyecanlandığını ama sonra hayal kırıklığına uğradığını anlatır:

> O, ilkin bana dünyanın düz mü yuvarlak mı olduğunu açıklayacak, sonra bunun nedenini ve gerekliliğini söyleyerek açıklamasını sürdürecek, daha iyi olanı ve o halde olmasının neden daha iyi olduğunu gösterecekti. Eğer dünyanın ortada olduğunu söylüyorsa, ortada olmasının daha iyi olduğunu açıklayacaktı.[1]

1. Platon, *Phaidon / Ruh Üzerine*, 97 D, çev. Nazile Kalaycı, Kabalcı Yayınevi, İstanbul, 2012, s. 189. (Ç.N.)

Büyük Platon bu konuda ne kadar yanlış bir yoldaymış!

Bölünebilirliğin bir sınırı var mı?

20. yüzyılın ikinci yarısının en büyük fizikçisi Richard Feynman o nefis fiziğe giriş derslerinin başında şöyle yazar:

> Bilimsel bilgimizin tümü büyük bir felakette yok olsa ve gelecek kuşak yaratıklarına sadece tek bir cümle iletilebilseydi, en az sözcükle en çok bilgi içeren ifade ne olurdu? Bunun atom varsayımı [...] olduğuna inanıyorum. [...] Sadece biraz hayal gücü ve düşünmeyle, bu tek cümlenin ne kadar çok bilgi içerdiğini görürsünüz.[1]

Demokritos modern fiziğe ihtiyaç duymadan, her şeyin atomlardan yapıldığı düşüncesine çok önceden ulaşmıştı. Bunu nasıl başarmıştı?

Demokritos'un gözleme dayanan savları vardı; örneğin (doğru olarak) bir tekerleğin yıpranmasına ya da asılı çamaşırların kurumasına, çok küçük tahta veya su parçacıklarının ortamlarından yavaş yavaş kaçmasının neden olduğunu düşünüyordu. Felsefeyle ilgili savları da vardı. Daha çok bunların üstünde duralım, çünkü etkileri kuantum kütle çekimine kadar ulaşır.

Demokritos maddenin kesintisiz bir bütün olamayacağını gözlemlemişti; öyle olması gerektiği düşüncesinde tutarsız bir şeyler vardı. Demokritos'un savını Aristoteles'in aktarımı sayesinde biliyoruz.[2] Demokritos, "Mad-

1. Richard Feynman, *Fizik Dersleri, Cilt 1*, çev. Zekeriya Aydın, Alfa Yayınları, İstanbul, 2016, s. 1-2. (Ç.N.)

2. *Oluş ve Bozuluş Üzerine*, 316a, s. 23. (Ç.N.)

denin sonsuza dek bölünebileceğini, yani sayısız kez parçalanabileceğini hayal edin," der. Şimdi de bir maddeyi sonsuz küçük parçaya ayırın. Geriye ne kalırdı?

Boyutları olan parçacıklar mı kalırdı? Hayır, çünkü öyle olsaydı, o madde parçası sonsuz ölçekte parçalanmamış olurdu. Dolayısıyla geriye boyutsuz *noktalar* kalmak zorunda kalırdı. O zaman madde parçasını yeniden oluşturmaya çalışalım: Boyutsuz iki nokta bir araya getirildiğinde boyutu olan bir şey elde edilemez, üç noktayla da, dört noktayla da elde edilemez. Ne kadar nokta bir araya gelirse gelsin herhangi bir boyut elde edilemez, çünkü noktaların boyutu yoktur. Bu nedenle maddenin boyutsuz noktalardan oluştuğu düşünülemez çünkü ne kadar çoğunu bir araya getirirsek getirelim, hiçbir zaman boyutu olan bir şey elde edemeyiz. Tek olasılık –sonucuna varır Demokritos– herhangi bir madde parçasının *sonlu* sayıda, bölünemez ama *sonlu* boyutları olan ayrı ayrı parçacıklardan, atomlardan oluşmasıdır.

Bu incelikli akıl yürütme Demokritos'tan öncesine dayanır. Güney İtalya'da Cilento yöresinde, bugünkü adı Velia olan, MÖ 5. yüzyılda Elea olarak bilinen ve hareketli bir Yunan kolonisi olan bir kentten kaynaklanır. Miletos'a özgü akılcılığı ve orada filizlenen, aklın bize şeylerin göründüklerinden nasıl daha farklı olabileceğini gösterdiğine ilişkin o muhteşem fikri –belki de gereğinden de fazla– harfi harfine benimseyen felsefeci Parmenides burada yaşamıştı. Parmenides gerçeğe varmak için salt akıl yolunu seçmişti, bu yol onu tüm görüntülerin bir hayal olduğunu öne sürmeye götürmüş, önünde metafiziğe doğru gidecek bir yol açmış ve onu giderek, daha sonra "doğa bilimleri" olarak adlandırılacak olan şeyden uzaklaştırmıştı.

Yine Elea'lı olan öğrencisi Zenon, görüntülerin inanılırlığını kökten reddeden bu aşırı akılcılığı destekle-

mek için incelikli savlar ortaya koymuştu. Bu savlar arasında, herkese normal gelen hareket kavramının saçma olduğunu öne sürerek her görüntünün yanıltıcı olduğunu kanıtlamaya çalışan ve "Zenon paradoksları" olarak tanınan bir dizi ikilem vardı.[1]

Zenon paradokslarının en ünlüsü küçük bir hayvan öyküsü biçiminde sunulmuştur: Kaplumbağa, Akhilleus'a kendisinin on metre ileriden başlayacağı bir yarışla meydan okur. Akhilleus kaplumbağaya yetişebilecek midir? Zenon, Akhilleus'un mantıken kaplumbağaya yetişemeyeceğini öne sürer. Akhilleus'un yetişmek için önce önündeki on metreyi koşması gerekir, bu da bir süre alır. Bu süre içinde kaplumbağa birkaç desimetre yol almış olacaktır. Akhilleus'un bu desimetreleri kat etmesi bir süre daha alır ama bu sırada kaplumbağa da ilerlemiş olacaktır, bu böylece sonsuza dek sürer. Dolayısıyla Akhilleus'un kaplumbağaya yetişmesi için *sonsuz* sayıda süreye ihtiyacı vardır, Zenon da *sonsuz sayıda sürenin, sonsuz zaman* olduğunu öne sürer. Bu nedenle mantıken Akhilleus'un kaplumbağayı yakalaması sonsuz zaman alır, bir başka ifadeyle Akhilleus'un kaplumbağayı yakaladığını göremeyiz. Oysa Akhilleus'un isterse tüm kaplumbağaları yakalayıp geçtiğini gördüğümüze göre, gördüğümüz şey mantıksız, dolayısıyla aldatıcıdır sonucuna varır.

Eğri oturup doğru konuşalım: Hiç de ikna edici değil. Hata nereden kaynaklanıyor? Bir yanıt, sonsuz sayıda şey toplandığında her zaman sonsuz bir şey elde edilmediği için Zenon'un yanıldığı olabilir. Bir ip aldığınızı düşünün, önce ikiye bölün, sonra tekrar ikiye bölün, sonsuza dek böyle bölmeye devam edin. Sonunda sonsuz sayıda çok küçük ip parçası elde edeceksiniz ama topla-

1. Zenon ikilemleri ve bunların günümüz felsefe ve matematiği için önemi hakkında güzel bir kitap için bkz. V. Fano, *I paradossi di Zenone*, Carocci, Roma, 2012.

dığınızda sonuç sonlu olacak çünkü ip her durumda baştaki uzunluğa eşit olacaktır. Bu nedenle sonsuz sayıdaki ip parçası sonlu bir ip yaratabilir; sonsuz sayıda zaman parçası sonlu bir zaman ortaya çıkarabilir, kahramanımız da her birini tamamlamak için sonlu bir zaman harcadığı gittikçe kısalan sonsuz sayıda uzaklıklar kat etmek zorunda olsa bile, yine de kaplumbağayı sonlu bir zaman içinde yakalayacaktır.[1]

Görünürdeki ikilem çözülmüş görünüyor. Çözüm, süreklilik düşüncesinde, yani sonsuz sayıda küçük zaman parçalarının toplandıklarında sonlu bir zaman verebileceği savında yatar. Modern matematiğin sonradan geliştirdiği bu olasılığı ilk sezen Aristoteles olmuştu.

Peki, *gerçek* dünyada doğru çözüm bu mu? Sonsuz küçük boyutlarda ip parçaları var mı? Gerçekten bir ipi *istediğimiz kadar çok sayıda* bölebilir miyiz? Gerçekten sonsuz kısalıkta zamanlar var mıdır? Kuantum kütle çekiminin ele alması gereken problem budur.

Zenon'un Leukippos'la tanıştığı ve onun öğretmeni olduğu söylenir. Demek ki Leukippos, Zenon'un safsatalarından haberdardı. Ama onları çözmek için farklı bir yol akıl etmişti. Leukippos'a göre büyük olasılıkla sonsuz küçük olan bir şey yoktur: Bölünebilirliğin bir alt sınırı vardır.

Evren taneciklidir, sürekli değildir. Sonsuz küçük noktalarla (yukarıda söz edilen ve Aristoteles'in aktardığına göre Demokritos'un öne sürdüğü sav gibi) hiçbir za-

1. Teknik terimlerle söylenecek olursa, "yakınsak sonsuz diziler" denen diziler vardır. İp örneğinkinki 1'e yakınsayan $\sum_{n=1}^{\infty} 2^{-n}$ ifadesidir. Yakınsayan sonsuz toplamlar Zenon zamanında bilinmiyordu. Oysa Arkhimedes bu konuyu anlamış ve alan hesaplarında kullanmıştı. Newton da onlardan yararlanmıştı ama bu matematik konusuna tam bir açıklık getirmek için Bolzano ve Weierstrass'ın 19. yüzyıldaki çalışmalarını beklemek gerekecekti. Bununla birlikte Aristoteles de Zenon'a yanıt vermek için bu yolu işaret etmişti; Aristoteles'te var olan sonsuzluk ile potansiyel sonsuzluk arasındaki fark, bir bölünebilirlik sınırının olmaması ile bir şeyi sonsuz kez bölmüş olma olasılığı arasındaki önemli farkı da kapsar.

mek için incelikli savlar ortaya koymuştu. Bu savlar arasında, herkese normal gelen hareket kavramının saçma olduğunu öne sürerek her görüntünün yanıltıcı olduğunu kanıtlamaya çalışan ve "Zenon paradoksları" olarak tanınan bir dizi ikilem vardı.[1]

Zenon paradokslarının en ünlüsü küçük bir hayvan öyküsü biçiminde sunulmuştur: Kaplumbağa, Akhilleus'a kendisinin on metre ileriden başlayacağı bir yarışla meydan okur. Akhilleus kaplumbağaya yetişebilecek midir? Zenon, Akhilleus'un mantıken kaplumbağaya yetişemeyeceğini öne sürer. Akhilleus'un yetişmek için önce önündeki on metreyi koşması gerekir, bu da bir süre alır. Bu süre içinde kaplumbağa birkaç desimetre yol almış olacaktır. Akhilleus'un bu desimetreleri kat etmesi bir süre daha alır ama bu sırada kaplumbağa da ilerlemiş olacaktır, bu böylece sonsuza dek sürer. Dolayısıyla Akhilleus'un kaplumbağaya yetişmesi için *sonsuz* sayıda süreye ihtiyacı vardır, Zenon da *sonsuz sayıda sürenin, sonsuz zaman* olduğunu öne sürer. Bu nedenle mantıken Akhilleus'un kaplumbağayı yakalaması sonsuz zaman alır, bir başka ifadeyle Akhilleus'un kaplumbağayı yakaladığını göremeyiz. Oysa Akhilleus'un isterse tüm kaplumbağaları yakalayıp geçtiğini gördüğümüze göre, gördüğümüz şey mantıksız, dolayısıyla aldatıcıdır sonucuna varır.

Eğri oturup doğru konuşalım: Hiç de ikna edici değil. Hata nereden kaynaklanıyor? Bir yanıt, sonsuz sayıda şey toplandığında her zaman sonsuz bir şey elde edilmediği için Zenon'un yanıldığı olabilir. Bir ip aldığınızı düşünün, önce ikiye bölün, sonra tekrar ikiye bölün, sonsuza dek böyle bölmeye devam edin. Sonunda sonsuz sayıda çok küçük ip parçası elde edeceksiniz ama topla-

1. Zenon ikilemleri ve bunların günümüz felsefe ve matematiği için önemi hakkında güzel bir kitap için bkz. V. Fano, *I paradossi di Zenone*, Carocci, Roma, 2012.

dığınızda sonuç sonlu olacak çünkü ip her durumda baştaki uzunluğa eşit olacaktır. Bu nedenle sonsuz sayıdaki ip parçası sonlu bir ip yaratabilir; sonsuz sayıda zaman parçası sonlu bir zaman ortaya çıkarabilir, kahramanımız da her birini tamamlamak için sonlu bir zaman harcadığı gittikçe kısalan sonsuz sayıda uzaklıklar kat etmek zorunda olsa bile, yine de kaplumbağayı sonlu bir zaman içinde yakalayacaktır.[1]

Görünürdeki ikilem çözülmüş görünüyor. Çözüm, süreklilik düşüncesinde, yani sonsuz sayıda küçük zaman parçalarının toplandıklarında sonlu bir zaman verebileceği savında yatar. Modern matematiğin sonradan geliştirdiği bu olasılığı ilk sezen Aristoteles olmuştu.

Peki, *gerçek* dünyada doğru çözüm bu mu? Sonsuz küçük boyutlarda ip parçaları var mı? Gerçekten bir ipi *istediğimiz kadar çok sayıda* bölebilir miyiz? Gerçekten sonsuz kısalıkta zamanlar var mıdır? Kuantum kütle çekiminin ele alması gereken problem budur.

Zenon'un Leukippos'la tanıştığı ve onun öğretmeni olduğu söylenir. Demek ki Leukippos, Zenon'un safsatalarından haberdardı. Ama onları çözmek için farklı bir yol akıl etmişti. Leukippos'a göre büyük olasılıkla sonsuz küçük olan bir şey yoktur: Bölünebilirliğin bir alt sınırı vardır.

Evren taneciklidir, sürekli değildir. Sonsuz küçük noktalarla (yukarıda söz edilen ve Aristoteles'in aktardığına göre Demokritos'un öne sürdüğü sav gibi) hiçbir za-

1. Teknik terimlerle söylenecek olursa, "yakınsak sonsuz diziler" denen diziler vardır. İp örneğininki 1'e yakınsayan $\sum_{n=1}^{\infty} 2^{-n}$ ifadesidir. Yakınsayan sonsuz toplamlar Zenon zamanında bilinmiyordu. Oysa Arkhimedes bu konuyu anlamış ve alan hesaplarında kullanmıştı. Newton da onlardan yararlanmıştı ama bu matematik konusuna tam bir açıklık getirmek için Bolzano ve Weierstrass'ın 19. yüzyıldaki çalışmalarını beklemek gerekecekti. Bununla birlikte Aristoteles de Zenon'a yanıt vermek için bu yolu işaret etmişti; Aristoteles'te var olan sonsuzluk ile potansiyel sonsuzluk arasındaki fark, bir bölünebilirlik sınırının olmaması ile bir şeyi sonsuz kez bölmüş olma olasılığı arasındaki önemli farkı da kapsar.

man bir boyut yaratmak mümkün olamazdı. İpin uzunluğu *sonlu* boyuta sahip *sonlu* sayıda nesneden oluşmalıdır: Madde sürekli değildir, sonlu boyutta tekil atomlardan oluşur.

Bu soyut tartışma doğru da olsa yanlış da olsa –bugün artık bildiğimiz gibi– çok doğru sonuçlara varır. Maddenin gerçekten de atomlardan oluşan bir yapısı vardır. Bir su damlasını ikiye bölersem iki küçük su damlası elde ederim. Bu damlaların her birini yeniden bölebilirim. Ama sonsuza dek devam edemem. Bir noktada elimde bir molekül kalır ve sona ulaşmış olurum. Bir su molekülünden daha küçük damlacık yoktur.

Bugün bunu nasıl biliyoruz? İpuçları yüzyıllar boyunca toplandı. Bu ipuçlarının çoğu kimyadan geldi. Tüm kimyasal maddeler az sayıdaki elementin birleşmesiyle meydana gelir ve tam sayılarla verilen (ağırlıkla ilgili) oranlarla oluşur. Kimyacılar maddelerin sabit atom birleşmelerinin oluşturduğu moleküllerden meydana geldiği yönünde bir düşünce biçimi oluşturmuştu. Örneğin su, H_2O, iki birim hidrojen ve bir birim oksijenden oluşur.

Ama bunlar yalnızca ipuçlarıydı. Geçtiğimiz yüzyılın başında bile fen bilimciler ve felsefecilerin pek çoğu atom hipotezini hâlâ saçmalık olarak görüyordu. Bunlardan biri, örneğin uzay konusundaki fikirleri Einstein için çok önemli olan fizikçi ve felsefeci Ernst Mach'tı. Boltzmann'ın Viyana'daki İmparatorluk Bilim Akademisi'ndeki bir konferansının sonunda Mach herkesin önünde, "Ben atomların var olduğuna inanmıyorum," demişti. Yıl 1897'ydi. O zamanlar Mach gibi pek çok kişi kimyacıların formüllerinin kimyasal tepkimelerin kurallarını özetlemeyi kolaylaştırmak için kullandıkları bir yöntem olduğunu ve *gerçekte* iki hidrojen atomu ile bir oksijen atomundan oluşan su moleküllerinin olmadığını düşünüyordu. "Atomlar görünmez," diyorlardı. Hiçbir zaman da görünmeyeceklerdi. "Hem sonra, bir atomun boyutu

nedir?" diye soruyorlardı. Demokritos hiçbir zaman atomlarının boyutlarını ölçmeyi başaramamıştı...

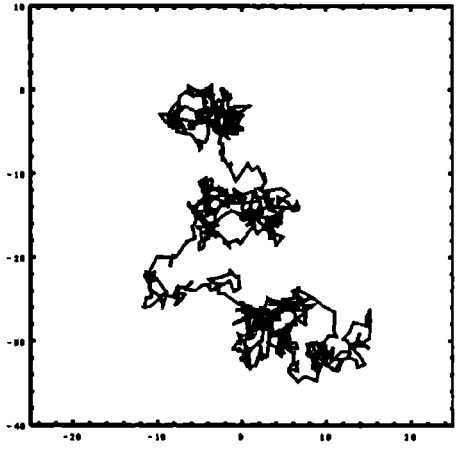
Maddenin atomlardan oluştuğunu öne süren "atom hipotezi" denen şeyin kesin olarak kanıtlanması için 1905 yılına dek beklemek gerekecekti. Leukippos'un ve Demokritos'un atom hipotezinin kesin kanıtını, fizik okumuş ama fizikle ilgili bir iş bulamadığı için Bern'deki patent ofisinde memur olarak geçimini sağlamaya çalışan asi ve kabına sığamayan yirmi beş yaşındaki bir genç buldu. Bu delikanlının zamanın saygın fizik dergisi *Annalen der Physik*'e 1905'te gönderdiği üç makalenin yanı sıra kendisinden de kitabın geri kalanında bol bol söz edeceğim. Bu makalelerden ilki atomların varlığının kesin kanıtını içerir ve Leukippos ile Demokritos'un yirmi üç yüzyıl önce ortaya koyduğu problemi kesin olarak çözerek atomların boyutunu hesaplar.

Yirmi beş yaşındaki bu gencin adı, elbette Albert Einstein'dır (Resim 1.3).



Resim 1.3. Albert Einstein.

Einstein bunu nasıl başarmıştı? Fikir inanılamayacak ölçüde basittir. Demokritos'tan beri herhangi biri de, Einstein gibi çabuk kavrama yeteneğine sahip olsa ve hiç de kolay olmayan hesaplamaları yapabilecek kadar matematiğe hâkim olsaydı eğer bunu başarabilirdi. Fikir şuydu: Havada veya bir sıvıda asılı çok küçük parçacıkları, örneğin bir toz zerresini veya çiçek tozunu dikkatle gözlemlediğimizde, titreştiklerini görürüz. Bu titreşimle itilerek zikzaklar çizerek rasgele bir biçimde hareket ederler ve böylece başlangıç noktalarından gitgide uzaklaşarak yavaş yavaş sürüklenirler. Parçacıkların bir sıvı içindeki bu zikzaklı hareket "Brown hareketi" olarak bilinir; ismini bu hareketi 19. yüzyılda büyük bir dikkatle betimleyen biyolog Robert Brown'dan almıştır. Bir parçacığın izlediği bu hareketin tipik bir örneği Resim 1.4'te verilmiştir. Sanki parçacıklar oradan buradan rasgele itilmekteymiş gibi görünür. Aslında itilirmiş gibi "görünmezler"; sadece, gerçekten de itilirler. Tanecik, bir hava molekülü ona bazen sağdan, bazen soldan çarptığı için titreşir.



Resim 1.4. Tipik bir Brown hareketi.

İncelikli nokta şudur: Çok sayıda hava molekülü vardır ve *ortalama olarak* taneciğe soldan çarpan ne kadar molekül varsa sağdan da çarpan bir o kadar molekül vardır. Eğer hava molekülleri sonsuz derecede küçük ve sonsuz sayıda olsalardı, sağdan ve soldan gelen çarpmaların etkisi herhangi bir anda tam olarak birbirini dengelerdi ve tanecik hareket etmezdi. Ama moleküllerin sonlu boyutta ve sonsuz değil de sonlu bir sayıda olmaları *dalgalanmalara* neden olur (burada anahtar sözcük dalgalanmadır); yani çarpışmalar hiçbir zaman belirli herhangi bir anda birbirlerini dengelemez, yalnızca *ortalama olarak* dengeler. Bir an için moleküllerin az sayıda ve oldukça büyük olduğunu varsayın; bu durumda tanecik hiç şüphesiz bazen sağdan, bazen soldan, yalnızca ara sıra bir darbe alırdı ve böylece tıpkı bir oyun parkında koşuşan çocukların vurduğu bir top gibi gözle görülür biçimde oradan oraya hareket ederdi. Gerçekten de moleküller küçüldükçe küçük bir zaman dilimindeki çarpışmaların dengelenmesi de o ölçüde artar ve tanecik de o ölçüde daha az hareket eder.

Dolayısıyla biraz matematik yardımıyla taneciğin gözlemlenebilir hareketinden yola çıkarak molekülün boyutuna varılabilir. Bunu yapan da yirmi beş yaşındaki Einstein'dı. Akışkanlardaki taneciklerin sürüklenmesiyle ilgili gözlemlerden ve bu taneciklerin ne kadar sürüklendiği hesaplarından yola çıkarak Demokritos'un atomlarının, yani maddeyi oluşturan temel parçacıkların boyutunu hesapladı ve 2.300 yıl sonra Demokritos'un temel sezgisini, maddenin tanecikli bir yapıya sahip olduğunu kesin olarak kanıtlamış oldu.

Nesnelerin doğası

"Carmina sublimis tunc sunt peritura Lucreti,
exitio terras cum dabit una dies."[1]

Ovidius, *Amores* [Aşklar]

Antik dönem uygarlığının yıkılmasının ardından Demokritos'un tüm yapıtlarının[2] kaybolmasının düşünce tarihinin en büyük trajedisi olduğunu düşünürüm sık sık. Okuyucuyu dipnotta yer alan Demokritos yapıtları listesini okumaya davet ediyorum; antik dönemin muazzam bilimsel düşüncesinden yitirdiklerimiz düşünüldüğünde üzüntüye kapılmamak elde değil.

Ne yazık ki Demokritos'tan geriye hiçbir şey kalmazken, Aristoteles'in sonradan Batı düşüncesinin temelini

1. "Yüce Lucretius'un dizeleri / ancak dünya yıkıldığında yok olacak." 1, 15, 23-24. (Ç.N.)

2. Demokritos'un Diogenes Laertios tarafından bir araya getirilmiş yapıtlarının başlıklarından bazıları: "Büyük Evrensel Düzen"; "Küçük Evrensel Düzen"; "Dünya Tasviri"; "Gezegenler Üzerine"; "Doğa Üzerine"; "İnsanın Doğası Üzerine"; "Akıl Üzerine"; "Duyular Üzerine"; "Ruh Üzerine"; "Tatlar Üzerine"; "Renkler Üzerine"; "Farklı Biçimler Üzerine"; "Biçim Değişiklikleri Üzerine"; "Gökyüzü Olaylarının Nedenleri"; "Hava Olaylarının Nedenleri"; "Ateşle ve Ateşin İçindekilerle İlgili Nedenler"; "Seslerle İlgili Nedenler"; "Tohumlarla, Bitkilerle ve Meyvelerle İlgili Nedenler"; "Hayvanlarla İlgili Nedenler"; "Gökyüzü Tasviri"; "Coğrafya"; "Kutup Tasviri"; "Geometri Üzerine"; "Geometriye Dair"; "Çemberin ve Kürenin Değme Noktası Üzerine"; "Sayılar"; "Akla Aykırı Çizgiler ve Katı Cisimler"; "Açınımlar"; "Astronomi"; "Su Saatinin ve Gökyüzünün Savaşımı"; "Işınların Tasviri"; "Yansıyan İmgeler Üzerine"; "Ritim ve Uyum Üzerine"; "Şiir Üzerine"; "Dizelerin Güzelliği Üzerine"; "Şarkı Üzerine"; "Güzel Tınılı ve Çirkin Tınılı Harfler Üzerine"; "Homeros", "Doğru Okuma ve Terimler Üzerine"; "Sözcükler Üzerine"; "Sözlüğe Dair"; "Doğruluk ya da Erdem Üzerine"; "Bilgenin Durumu Üzerine"; "Tıbbi Görüş"; "Çiftçilik Üzerine"; "Resim Üzerine"; "Taktikler"; "Okyanus Turu"; "Tarih Araştırması Üzerine", "Khaldaia İncelemesi"; "Phrygia İncelemesi"; "Babil'deki Kutsal Yazılar Üzerine"; "Meroe'dekiler Üzerine"; "Ateş ve Hastalıktan Kaynaklanan Safra Toksinleri Üzerine"; "Kafa Karışıklığı Üzerine"; "Yasal Nedenler"; "Pythagoras"; "Akıl Yürütme Kuralları Üzerine"; "Kanıtlar"; "Ahlak Notları"; "Dinginlik Üzerine". Bunların hepsi kayıptır... [Bkz. Diogenes Laertios, *Ünlü Filozofların Yaşamları ve Öğretileri*, çev. Candan Şentuna, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 2007, s. 438-441.]

oluşturan tüm yapıtları günümüze dek ulaştı. Demokritos'un yapıtlarının hepsi ulaşsaydı ve Aristoteles'ten bir şey kalmasaydı, uygarlığımızın düşünce tarihi belki de daha iyi olurdu.

Ama yüzyıllar boyunca süren mutlak egemen tek tanrılı düşünce sistemi Demokritos'un akılcı ve materyalist doğacılığının yaşamasına izin vermedi. Hıristiyanlığı imparatorluğun tek ve zorunlu dini olarak kabul eden İmparator Theodosius'un 390-391'de verdiği emirlerin ardından antik düşünce okullarının kapatılması ile Hıristiyanlık düşüncesiyle bağdaşmayan tüm metinlerin yok edilmesi çok geniş kapsamlı ve sistematik oldu. Zafer kazanmış bir Hıristiyanlık, ruhun ölümsüzlüğüne inanan paganlar olan Platon ve Aristoteles'e hoşgörü gösterebilirdi, ama Demokritos'a değil.

Yine de elimizde, antik dönem atomculuğunu ve özellikle de bu bilimin ruhunu biraz da olsa tanımamızı sağlayan, felaketten kurtulup eksiksiz olarak günümüze ulaşan bir metin var: Romalı şair Lucretius'un harika şiiri *Evrenin Yapısı – De Rerum Natura*.

Lucretius, Demokritos'un bir öğrencisinin öğrencisi olan Epikuros'un felsefesine bağlıydı. Epikuros bilimsel sorunlardan çok etik sorunlarla ilgilidir ve Demokritos'un düşünce derinliğinden yoksundur. Zaman zaman Demokritos atomculuğunu yüzeysel biçimde aktarır. Bununla birlikte doğal dünyaya ilişkin görüşü büyük ölçüde Abdera'lı felsefecininkiyle aynıdır. Lucretius, Epikuros'un düşüncesini, dolayısıyla Demokritos'un atomculuğunu dizelerine yansıtır, böylece bu derin düşüncenin bir bölümünü karanlık yüzyılların düşünsel felaketinden kurtarmış olur.

Lucretius atomların, denizin, doğanın, gökyüzünün şarkısını söyler. Felsefeye dair soruları, bilimsel fikirleri, incelikli savları parlak dizelere döker.

O yüzden göksel olayları ele almalıyız önce:
Devinimlerini, güneşin ve ayın
Ve güçleri, yeryüzündeki olaylara yön veren.
Daha önemlisi kavramaya çalışmalıyız iyice
Niteliğini insan ruhunun ve canının.[1]

Şiirin güzelliğinde atomcu görüşe sinmiş olan mucize duygusu yatar. Bu, yıldızlar ve denizle aynı şeyden yapıldığımızı bilmekten doğan, nesnelerin derinden birliğine ilişkin duygudur:

Üstelik göğün dölünden geliyoruz hepimiz,
Babamız birdir ve besleyici anamız; ondan alır
Su damlalarını sağanaklar halinde, ve
Döllenince, güleç yemişler verir gür ağaçlar
İnsanoğlunu, bütün hayvan soylarını türetir.
Beslendikleri ondandır, sevinçleri ondan,
Ondandır soylarını yenilemeleri.[2]

Şiirde, bizden zor şeyler isteyen ve bizi cezalandıran kaprisli tanrıların olmadığını anlamaktan kaynaklanan aydınlık bir huzur ve dinginlik duygusu vardır. Doğanın yaratıcı gücü ışıl ışıl Venüs'e adanmış harika giriş dizelerinden başlayarak coşkulu ve neşeli bir sevinç vardır.

İnsan ve tanrı sevinci, can dağıtan Venüs!
Gökyüzünde dönüp duran yıldızlar altında
Doğanın canlılarla taşması senin,
Denizin gemilerimizi yüzdürmesi senin,
Toprağın bizi doyurması senin kayınşındandır.

1. Lucretius, *Evrenin Yapısı*, I, 128-132, çev. Tomris Uyar, Turgut Uyar, Hürriyet Yayınları, İstanbul, 1974, s. 123. (Ç.N.)
2. Lucretius, *Evrenin Yapısı*, II, 990-996, s. 83-84. (Ç.N.)

Seninle oluşur canlılar, günışığını görürler.
Rüzgâr önüsıra koşar, bulut çekilir gelişinle,
Deniz güler, gök yatışır, doygun parıltıyla yanar.[1]

Bir parçası olduğumuz yaşamın derinden kabullenişi söz konusudur:

Anlamıyor musun, iki itisi var, iki amacı doğanın:
Bedenin acı çekmemesi, erince varması ruhun,
Tadından korkmaması haz veren duyumların.[2]

Bir de korkulacak bir şey olmayan, her kötülüğü yok eden kaçınılmaz ölümün sakince kabullenilmesi vardır. Lucretius için din bilgisizliktir, akıl aydınlatan ışıktır.

Lucretius'un yüzyıllar boyunca unutulmuş metni Poggio Bracciolini tarafından Ocak 1417'de Almanya'daki bir manastırın kütüphanesinde bulundu. Poggio pek çok papanın sekreterliğinde bulunmuş, çok önemli yapıtlar keşfetmiş olan Francesco Petrarca'dan nöbeti devralmış bir antika kitap avcısıydı. Quintilianus'un kayıp metnini bulması tüm Avrupa'daki hukuk fakültelerindeki dersleri değiştirmiş, Vitruvius'un mimarlık hakkındaki yazılarını keşfetmesi büyük binaların inşa şeklini kökünden etkilemişti. Ama en büyük zaferi Lucretius'u yeniden bulması oldu. Poggio'nun bulduğu kitap kayboldu ama arkadaşı Niccolò Niccoli'nin çıkardığı kopya bugün Floransa'da Laurenziana Kütüphanesi'nde, "Codice Laurenziano 35.30" başlığıyla korunmaktadır.

Poggio, Avrupa'ya Lucretius'u yeniden armağan ettiği zaman ortam şüphesiz çok elverişliydi. Dante'nin kuşağından oldukça yeni şeyler duymak mümkündü:

1. *Evrenin Yapısı*, I, 2-9, s. 13. (Ç.N.)
2. *Evrenin Yapısı*, II, 17-19, s. 51. (Ç.N.)

Gözlerimden kalbime girip
Uyuyan zihnimi uyandıran siz,
İç çekişlerle Aşk'ın mahvettiği
Acılı hayatıma bakın.[1]

Ama *De Rerum Natura*'nın yeniden ortaya çıkarılması İtalyan ve Avrupa Rönesans'ını derinden etkiledi[2] ve sesi Galileo'dan[3] Kepler'e[4], Bacon'dan Machiavelli'ye dek pek çok yazarın sayfalarında doğrudan ya da dolaylı biçimde yankılandı. Poggio'dan bir yüzyıl sonra Shakespeare'de atomlar hoş bir biçimde ortaya çıkar:

Kraliçe Mab girmiş öyleyse düşüne.
Ebesidir o perilerin,
Bir belediye kurul üyesinin
Parmağındaki akik taşından da
Küçük bir hale gelip
Zerreciklerin[5] çektiği arabasıyla gelir.
Uyuyanların burnu üzerinde gezinir [...][6]

Montaigne'in *Denemeler*'inde Lucretius'a en az yüz kadar gönderme vardır. Ama Lucretius'un doğrudan etkisi Newton'a, Dalton'a, Spinoza'ya, Darwin'e, hatta Einstein'a dek ulaşır. Einstein'ın atomların varlığını bir

1. Guido Cavalcanti, *Bütün Şiirleri*, XIII, 1-4, çev. Kemal Atakay, İmge Kitabevi, İstanbul, 1997, s. 75. (Ç.N.)

2. Lucretius'un metninin bulunması ve Avrupa kültürüne etkileri için bkz. Stephen Greenblatt, *The Swerve: How the World Became Modern*, W.W. Norton, New York, 2011. [*Sapma: Medeniyetin Seyrini Değiştiren Keşfin Öyküsü*, çev. Suat Ertüzün, Can Yayınları, İstanbul, 2013. (Y.N.)]

3. Bkz. Michele Camerota, "Galileo, Lucrezio e l'atomismo", F. Citti, M. Beretta (ed.), *Lucrezio, la natura e la scienza* içinde, Leo S. Olschki, Floransa, 2008, s. 141-175.

4. Bkz. Robert Kargon, *Atomism in England from Hariot to Newton*, Oxford University Press, Oxford, 1966.

5. İngilizce özgün metinde "*atomies*". (Ç.N.)

6. William Shakespeare, *Romeo ve Juliet*, çev. Özdemir Nutku, I. Perde 4. Sahne, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 2017, s. 25. (Ç.N.)

sıvı içindeki çok küçük parçacıkların Brown hareketiyle ortaya konabileceğine yönelik düşüncesinin kökeni Lucretius'a dayanır. *De Rerum Natura*'da Lucretius'un atom düşüncesinin sağlam savlarını ("canlı bir kanıtı"nı) ortaya koyduğu bölüm şöyledir:

> Bunun iyi bir örneğini gözlemleyebiliriz
> Günlük yaşamda. Güneş ışınları girip bir yapıya
> Kuytulara vurunca ne çarpar gözümüze?
> Işın demeti içinde yüzlerce tozan
> Yüzlerce kaynaşma türü içindedir.
> Bitmeyecek bir savaşa girtnişçesine saf saf
> Başlarlar çatışmaya, bir an duraksamadan,
> Kâh birleşerek, kâh çözülerek öne atılırlar.
> Atomların o bitimsiz boşlukta nasıl dönenip
> Çarpıştıklarını kavrayabiliriz bundan.
> [...]
> Dahası, güneş ışınında uçuşan bu tozanları
> İncelememizin başka bir yararı da olur bize.
> Gözle görtnediğimiz alt devinimleri olduğunu
> Maddenin, ipuçlarıyla açıklar bu uçuşma:
> O ısında, görünmez çarpışmaların baskısıyla,
> –Yolunu değiştireni, sağa, sola, geriye döneni–
> Bütün doğrultularda koşuşturur bir sürü tozan.
> Atomlardır bu durmaksızlığın kökeni.
> Demek, birimlerden oluşan küçük bileşik gövdeler,
> –En yakın duranlar atomların baskısına–
> Görülmez bir vuruşla her karşılaştıklarında,
> Daha iri gövdelere aktarırlar baskıyı.
> Böylelikle atomlardan başlamacasına
> Duyularımızın kapsamına yükselir devinim usulca:
> Öyle ki oynaştığını görürüz de,
> Devindiğini görürüz de tozanların,
> Bu itiyi sağlayan vuruş gizlidir gözümüzden.[1]

1. *Evrenin Yapısı*, II, 112-140, s. 54-55. (Ç.N.)

Einstein, Lucretius'un sunduğu ve muhtemelen başta Demokritos'un düşündüğü "canlı kanıt"ı diriltmiş ve onu matematik diline çevirerek son derece sağlamlaştırmış, böylece atomun boyutlarını hesaplayabilmiştir.

Katolik kilisesi Lucretius'u engellemeye çalıştı: Aralık 1516'da Floransa Kiliseler Meclisi onun okullarda okutulmasını yasakladı. 1551'de Trento konsili Lucretius'un yapıtını tamamen yasakladı. Ama artık çok geçti. Ortaçağ Hıristiyanlığının bağnazlığıyla bir kenara atılmış olan âlem görüşü, görmek için artık yeniden açılmış gözlere sahip Avrupa'da yeniden ortaya çıkıyordu. Avrupa'da yeniden yükselmeye başlayan şey yalnızca Lucretius'un doğacılığı, akılcılığı, ateizmi ve materyalizmi değildi. Yalnızca dünyanın güzelliğiyle ilgili aydınlık ve dingin bir derin düşünce de değildi. Çok daha fazlasıydı: Gerçek hakkında düşünmek için tutarlı ve bütünlüklü bir düşünce yapısıydı, Ortaçağ düşüncesinin yüzyıllar boyunca sahip olduğundan radikal biçimde farklı yeni bir yöntemdi.[1]

Dante tarafından harika bir biçimde şiire dökülmüş Ortaçağ evreni ruhani bir bakış açısıyla ve Avrupa toplumunun hiyerarşik örgütlenmesini yansıtan hiyerarşik bir düzenleme temelinde yorumlanıyordu: Merkezinde dünyanın olduğu küresel bir evren yapısı, yeryüzü ile gökyüzünün tartışılmaz ayrılığı, tüm doğal olayların amaçlar çerçevesinde ve eğretilemelerle açıklanması, Tanrı ve ölüm korkusu, doğaya fazla önem vermeme, ana biçimlerin dünyaya bir yapı verdiği fikri, bilginin tek kaynağının geçmiş, vahiy ve gelenek olduğu düşüncesi...

1. Piergiorgio Odifreddi, Lucretius'un okul çocuklarına yönelik yorumlu bir çevirisini yayımladı (*Come stanno le cose. Il mio Lucrezio, la mia Venere*, Rizzoli, Milano 2013). İtalya'daki okullar bu kitabı edinse ve bu olağanüstü metin daha yakından tanınsa ne güzel olurdu. Odifreddi'nin şiir okumasına ve şairle ilgili görüşlerine taban tabana zıt bir başkası Vittorio Enzo Alfieri'nin, yapıtının dokunaklı şiirselliğini göz önüne seren ve yazarının çok soylu ama mutsuz bir karakterini çizen romantik yorumu *Lucrezio*, Le Monnier, Floransa 1929'da bulunabilir.

Demokritos'un Lucretius'un dizelerinde yer alan dünyasında bunların hiçbirine yer yoktur. Tanrı korkusu yoktur, evrende amaçlar ve nedenler yoktur, evrensel bir hiyerarşi yoktur, yeryüzü ile gökyüzü arasında bir ayrım yoktur. Doğaya duyulan derin bir aşk, onun içinde dingince yer alma, ayrılmaz bir parçası olduğumuzun farkına varma, insanların, hayvanların, bitkilerin ve bulutların muhteşem ve hiyerarşiden yoksun bir bütünün parçaları olduğunu fark etme vardır. Demokritos'un şahane sözlerinin izinde, derin bir evrencilik duygusu vardır: "Her toprak sağduyululara açıktır çünkü usta bir ruhun vatanı tüm evrendir."[1]

Onda dünyayı basit terimlerle düşünebilme arzusu vardır. Doğanın gizlerini araştırabilme ve anlayabilme arzusu... Atalarımızdan daha çok şey bilebilme isteği... Bir de Galileo'nun, Kepler'in ve Newton'ın geliştirdiği olağanüstü kavramsal araçlar vardır: Dünyayı oluşturan temel öğeler ve etkileşimleri düşüncesi ve dünyayı içeren uzay düşüncesi gibi.

Nesnelerin bölünebilirliklerinin bir sınırı olduğu düşüncesi de vardır. Evrenin tanecikli yapısı... Parmak uçlarımız arasında olabilecek sonsuzluğu durduran bir fikir... Bu düşünce atomcu hipotezin temelinde yer alır ama kuantum mekaniğiyle birlikte güçlü bir geri dönüş yaşayacaktır ve bugün bir kez daha kuantum kütle çekiminin kilit taşı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Rönesans doğacılığından başlayarak dağılmaya başlayan mozaik taşlarını tutarlı bir biçimde bir araya getirecek –ve Demokritos'un son derece güçlenmiş olan büyük görüşünü modern düşüncenin merkezine yerleştirecek– kişinin bir İngiliz olacağı kimin aklına gelirdi? Gelmiş geçmiş en büyük fen bilimci, bir sonraki bölümün ilk kahramanı olacak.

1. Hermann Alexander Diels, Walther Kranz (ed.), *Die Fragmente der Vorsokratiker*, 68 b 247, Weidmann, Berlin, 1903.

2
KLASİKLER

Isaac ve küçük ay

Eğer bir önceki bölümde Platon ile Aristoteles'in bilimsel düşüncenin gelişimine yalnızca zarar verdiklerini söylediğim izlenimi verdiysem hemen düzeltmek isterim. Aristoteles'in –örneğin botanik ve zooloji gibi– doğa araştırmaları çok dikkatli doğa gözlemlerine dayanan olağanüstü bilimsel yapıtlardır. Bu büyük felsefecinin kavramsal açıklığı, doğanın çeşitliliğine verdiği dikkat, etkileyici zekâsı ve düşüncesinin enginliği yüzyıllar boyunca yol gösterici olmuştur. Bildiğimiz ilk büyük sistematik fizik onunkidir ve hiç de kötü bir fizik değildir.

Aristoteles bu görüşlerini bir kitabında ortaya koyar, adı da *Fizik*'tir. Kitap adını, konu ettiği disiplinden almaz; tersine o disiplin adını Aristoteles'in kitabından alır. Aristoteles'e göre fizik şöyle işler: Her şeyden önce yeryüzünü ve gökyüzünü ayırmak gerekir. Gökyüzündeki her şey kristalimsi bir maddeden oluşur ve merkezinde küre biçimli yeryüzünün olduğu eşmerkezli küreler halinde sonsuza dek dünya çevresinde döner. Öte yandan yeryüzünde de kuvvet etkisi altındaki hareket ile doğal hareketi birbirinden ayırmak gerekir. Kuvvet etkisi altındaki hareketin nedeni bir itme kuvvetidir ve itme kuvveti sona

erdiğinde hareket de sona erer. Doğal hareket düşey doğrultudadır, maddelere bağlı olarak yukarı ya da aşağı yönde olur. Her maddenin kendi "doğal yer"i, yani hep geri döndüğü, kendine özgü bir düzey vardır: Altta toprak, biraz üstünde su, biraz daha üstünde hava ve en üstte ateş. Bir taş alıp elimizden bırakırsak, taş kendine özgü düzeye geri dönmek için doğal hareketle aşağı doğru hareket eder. Oysa sudaki hava kabarcıkları ya da havadaki ateş, hep doğal yerlerine gitmek için yukarı doğru gider.

Bu fizikle alay etmeyin ya da genellikle yapıldığı gibi bir kenara atmayın çünkü çok sağlam bir fiziktir. Gündelik deneyimlerimizde karşılaştığımız tüm nesneler gibi, bir sıvıya batmış ve yerçekimi kuvveti ile sürtünme etkisi altındaki nesnelerin hareketinin iyi ve doğru bir açıklamasıdır. Sıkça söylendiği gibi yanlış bir fizik değildir.[1] Yalnızca yaklaşık bir kestirimdir. Ama Newton fiziği de genel görelilikle karşılaştırıldığında öyledir. Büyük olasılıkla bugün bildiğimiz her şey de henüz bilmediğimiz bir başka şeyin yaklaşık biçimidir. Aristoteles fiziği biraz kabadır ve pek sayısal değildir (hesap yapmaya uygun değildir) ama tutarlı ve akla yatkındır ve doğru niteliksel öngörülerde bulunabilir. Dünya üzerinde hareketin anlaşılması için yüzyıllarca bir model olarak kalması boşuna değildir.

Bilimin sonraki dönemlerde gelişiminde belki daha da önemli rol oynayan kişi Platon'du. Pythagoras'ın parlak sezgisinin ve Pythagorasçıların önemini kavrayan oydu: İlerlemenin ve Miletos'u alt etmenin çaresi matematikti. Pythagoras, Miletos'un karşısındaki Sisam Adası'nda doğmuştu, antik dönemde yaşamöyküsünü yazan Iamblik-

1. Aristotelesçi fiziğin kötü ünü Galileo'nun polemiklerine dayanır. Bunların sürdürülmesi, bu yüzden de bu fiziğin eleştirilmesi gerekiyordu. Polemik olduğu için de Galileo doğrudan ve ironik biçimde saldırıyordu.

hos ve Porphyrios genç Pythagoras'ın yaşlı Anaksimandros'un öğrencisi olduğunu anlatır. Her şey Miletos'ta doğar. Pythagoras büyük olasılıkla Mısır'a ve Babil'e kadar uzanan uzun yolculuklara çıkar, sonunda İtalya'nın güneyindeki bugünkü Crotone'ye yerleşir, burada kent politikasında önemli bir ağırlığa sahip olan dinsel, politik ve bilimsel bir tarikat kurar ve tüm dünyaya çok önemli bir miras bırakır: Matematiğin kuramsal öneminin keşfi. "Biçimleri ve düşünceleri yöneten sayıdır," sözünü onun söylediğine inanılır.[1]

Platon, Pythagorasçılığı boğazına kadar battığı ağır ve gereksiz mistisizm yükünden kurtarmış ve ondan yararlı bir mesaj damıtmıştır: Dünyayı anlamak ve açıklamak için uygun dil matematiktir. Bu sezginin önemi çok büyüktür ve Batı biliminin başarısının nedenlerinden biridir. Bir söylentiye göre Platon okulunun kapısına şu tümceyi oydurmuştu: "Geometri bilmeyen buradan içeri girmesin."

Bu inançla hareketle geçip can alıcı soruyu soran Platon olmuştu; bu, uzun bir geriye gidişten sonra modern bilimin doğmasını sağlayan soruydu. Matematik öğrenen öğrencilerine gökyüzünde gördüğümüz gökcisimlerinin uyduğu matematik yasalarını bulup bulamayacaklarını sormuştu. Venüs, Mars ve Jüpiter gece rahatlıkla görülebilir, diğer yıldızlar arasında sanki ileri geri, biraz gelişigüzel hareket edermiş gibi görünürler: Hareketleri açıklayabilecek ve öngörebilecek bir matematik bulunabilir miydi?

Platon okulundan Eudoksos'la başlayan ve sonraki yüzyıllarda Aristarkhos ve Hipparkhos gibi önemli astronomlar tarafından geliştirilen çalışma, antik dönem ast-

1. Khalkis'li İamblikhos, *Summa pitagorica*, İtalyanca çev. Bompiani, Milano, 2006.

ronomisini çok üst düzeylere taşıdı. Bu astronominin kazandığı zaferleri, günümüze kalan tek bir kitaptan öğreniyoruz: Ptolemaios'un *Almagest*'i [*Mathematike Syntaksis*/Matematik Sentezi]. Ptolemaios oldukça yakın bir tarihte, Yunan dünyasının çöküşüyle altüst olmuş, sonra da Roma İmparatorluğu'nun Hıristiyanlaşmasıyla boğulmuş olan bilimin gerilemeye başladığı zamanlarda ve bilimin tamamen yok olmasından az önce, MS 1. yüzyılda Roma döneminde İskenderiye'de yaşamış bir astronomdur.

Ptolemaios'un kitabı bir bilim başyapıtıdır. Çok kesin, şaşmaz ve karmaşık olan bu kitap, gökyüzündeki gezegenlerin rastlantısal gibi görünen hareketlerini, insan gözünün gözlem yapma yeteneğinin sınırları düşünüldüğünde, neredeyse mutlak bir kesinlikle öngörebilen matematiksel bir astronomi sistemi sunar. Bu, Pythagoras'ın sezgisinin doğru olduğunun kanıtıdır. Matematik, dünyayı açıklamayı ve geleceği öngörmeyi sağlar: Gezegenlerin gelişigüzel ve düzensizmiş gibi görünen hareketleri, Ptolemaios'un Yunan astronomların yüzyıllardır sürdürdüğü çalışmaların sonuçlarını özetleyerek sistematik bir biçimde ve ustalıkla ortaya koyduğu matematik formülleri kullanılarak kesin olarak öngörülebilir olur. Bugün bile biraz çabayla Ptolemaios'un kitabını açıp tekniklerini öğrenerek, örneğin Mars'ın *gelecekteki* konumunu *hesaplayabiliriz*. Bugün, yani bu formüllerin yazıldığı tarihten iki bin yıl sonra... Bu büyünün gerçekten olanaklı olduğunun anlaşılması modern bilimin temelidir, bunun için de Pythagoras'a ve Platon'a az şey borçlu değiliz.

Antik dönem biliminin çöküşünden sonra Akdeniz çevresinde hiç kimse Ptolemaios'u ya da antik dönem biliminin, Eukleides'in *Stoikheia*'sı [Öğeler] gibi büyük felaketten kurtulmuş az sayıdaki büyük kitabını anlama becerisine sahip olmadı. Çok sayıda ticari ve kültürel alışveriş sayesinde Yunan bilgi birikiminin ulaşmış oldu-

ğu Hindistan'da bu kitaplar okunup anlaşılabiliyordu. Bu bilgi Hindistan'dan Batı'ya, onu anlayabilen ve koruyabilen bilge Arap ve Pers bilimciler sayesinde geri döndü. Ama astronomi bin yıldan fazla bir süre boyunca ileriye önemli bir adım atamadı.

Aşağı yukarı Floransalı Poggio'nun Lucretius'un el yazmasını bulduğu zamanlarda, İtalyan hümanizminin coşkulu havasıyla ve antik metinlerle sarhoş olmuş genç bir Polonyalı, önce Bologna sonra da Padova'ya öğrenci olarak geldi. İmzasını Latince atıyordu: Nicolaus Copernicus. Genç Copernicus, Ptolemaios'un *Almagest*'ini inceledi ve hayran oldu. Yaşamını astronomi yaparak geçirmeye ve büyük Ptolemaios'un izinden gitmeye karar verdi.

Zaman çok uygundu ve Copernicus, Ptolemaios'tan bin yıldan fazla bir süre sonra, Hint, Arap ve Pers astronomların kuşaklar boyunca yapamadığı sıçramayı gerçekleştirdi: Ptolemaios'un sistemini yalnızca öğrenmekle, uygulamakla, cilalamakla yetinmedi, onu ayrıntıyla ve derinlemesine değiştirme cesareti göstererek adamakıllı iyileştirdi. Copernicus, dünyanın etrafında dönen gökcisimlerini tarif etmek yerine güneşin merkezde olduğu ve dünyanın da diğer gezegenlerle birlikte güneşin etrafında döndüğünü anlattığı, Ptolemaios'un *Almagest*'inin gözden geçirilmiş ve düzeltilmiş bir tür uyarlamasını yazacaktı.

Böylece –diye umuyordu Copernicus– hesaplamalar daha da iyi sonuç verecekti. Doğruyu söylemek gerekirse, Ptolemaios'unkilerden çok daha iyi sonuç vermiyorlardı, tersine sonunda biraz daha kötü sonuç bile verdiler. Yine de bu iyi bir fikirdi. Copernicus'un sisteminin işe yaraması için bir sonraki kuşaktan Johannes Kepler'i beklemek gerekecekti. Gökyüzündeki cisimlerin konumlarının hassas gözlemleri üzerinde kılı kırk yararcasına ve sabırla, deli gibi çalışan Kepler, yeni ve basit matematik kurallarının gezegenlerin güneş çevresindeki hareketini,

antik dönemdekilerden bile daha hassas biçimde kesin olarak tarif ettiğini kanıtladı. Yıl 1600'dü ve ilk kez bin yıldan fazla bir süre önce İskenderiye'de başarıldığından daha çok şey başarılmış oluyordu.

Kepler kuzeyin soğuğunda gökteki hareketleri hesaplarken yeni bilim İtalya'da, Galileo Galilei'yle uçuşa geçti. Taşkın, polemikçi, kavgacı, çok bilgili, çok zeki ve yaratıcılıkla dolup taşan tam bir İtalyan olan Galileo, Hollanda'dan yeni bir icat, bir teleskop ısmarladı ve insanlık tarihini değiştiren bir şey yaptı: Onu gökyüzüne doğru çevirdi.

Biz insanların hayal edemeyeceği şeyler gördü: Satürn çevresindeki halkalar, Ay'daki dağlar, Venüs'ün evreleri, Jüpiter'in uyduları... Bunların her biri Copernicus'un düşüncesini daha akla yatkın kılıyordu. Bilimsel gereçler insanlığın miyop gözlerinin, o güne kadar hayal edilenden çok daha büyük ve çeşitli bir dünyaya açılmasını sağlıyordu.

Ama Copernicus sisteminin doğruluğuna ikna olan, bu yüzden de dünyanın diğerleri gibi bir gezegen olduğuna inanan Galileo'nun parlak fikri, Copernicus'un ortaya koyduğu kozmik dolanımdan mantıklı bir çıkarım yapmak oldu: Gökyüzündeki hareketler kesin matematik kurallarına uyuyorsa ve Dünya da diğerleri gibi bir gezegense, bu nedenle de gökyüzünün bir parçasıysa, o zaman Dünya üzerinde de cisimlerin hareketlerini yöneten kesin matematik kurallarının olması gerekirdi.

Doğanın akılcılığına ve doğanın matematik yoluyla anlaşılabileceğine ilişkin Pythagorasçı-Platoncu hayale güvenen Galileo, cisimlerin dünyada serbest bırakıldıklarında, yani düştüklerinde nasıl hareket ettiklerini araştırmaya karar verdi. Var olması gerektiğine inandığı bir matematik yasasını denemeler yaparak bulmaya çalıştı.

İnsanlık tarihinde ilk kez bir *deney* yaptı: Deneysel bilim Galileo'yla doğdu. Deney basitti: Cisimleri serbest düşmeye bıraktı, yani Aristoteles'in doğal dediği hareketlerini izlemeyi ve düşme hızlarını hassas biçimde ölçmeyi denedi.

Sonuç çok çarpıcıydı: Cisimler, her zaman sanıldığı gibi, sabit bir hızla düşmüyordu. Bunun yerine hızları düşme esnasında düzenli olarak artıyordu. Sabit olan düşme hızı değil, ivme, yani hızın değişme hızıydı. Ayrıca bu ivme tüm cisimler için aynıydı. Galileo bunu ölçtü ve 9,8 m/s^2 olduğunu buldu, yani düşen bir cismin hızı saniyede 9,8 m/s artıyordu. Bu sayıyı aklınızda tutun. Bu, dünyadaki nesneler hakkında keşfedilmiş ilk matematik yasasıdır: Nesnelerin düşme yasası ($x(t) = \frac{1}{2}at^2$). O zamana dek yalnızca gökyüzündeki gezegenlerin hareketiyle ilgili matematiksel yasalar bulunmuştu. Matematiksel mükemmellik böylece yalnızca gökyüzüne ait bir şey olmaktan çıkmış oldu.

Ama daha büyük sonucun gelmesine henüz zaman vardı, bu sonuca ilk ulaşansa büyük Isaac Newton oldu. Newton, Galileo ile Kepler'in sonuçlarını derinlemesine inceledi ve bunları birleştirerek gizli hazineyi buldu. Akıl yürütmesini, modern bilimin temellerini atan büyük kitabı *Doğal Felsefenin Matematiksel İlkeleri*'nde anlattığı "küçük ay" fikrini kullanarak nasıl anlattığını kendi kaleminden okuyalım.

Varsayalım ki –diye yazar Newton– Dünya'nın Jüpiter gibi pek çok uydusu olsun. Böylece gerçek Ay'ın yanı sıra başka ayların da olduğunu varsayalım, özellikle de çok alçak bir yörüngede, diyelim ki dağların zirvesinden ancak biraz yüksekte dünyayı sıyırarak geçen küçük bir ay düşünelim. Bu küçük ay hangi hızla hareket eder? Kepler'in bulduğu yasalardan birine göre yörüngenin çapı ile

dönüş süresinin periyodu birbirine bağlıdır.[1] Ay'ın yörüngesinin çapını (Antikçağ'da Hipparkhos ölçmüştü) ve periyodunu (1 ay) bildiğimiz için basit bir oran hesabıyla küçük ayın periyodunu hesaplayabiliriz. Oran hesabı bir buçuk saatlik bir devir sonucunu verir: Küçük ay dünyanın etrafında her bir buçuk saatte bir tur atar.

Şimdi, yörüngede dönen bir cisim bir doğru üzerinde hareket etmez: Hızının yönü sürekli değişir, her hız değişikliği de bir ivmedir. Küçük ayın yörüngesinde olduğu çemberin merkezine doğru bir ivmesi vardır. Yörüngenin çapı ile hızı bilindiği için bu ivmeyi hesaplamak kolaydır ($a=\frac{v^2}{r}$). Newton da bu basit hesabı yapmıştır, sonuç da tamı tamına... saniyede 9,8 m/s^2 çıkmıştır!

Yere düşen cisimlerin Galileo'nun ölçtüğü ivmesiyle aynı sayı!

Rastlantı mı? Olamaz, diye akıl yürütür Newton. *Sonuç* aynıysa –aşağıya doğru saniyede 9,8 m/s^2'lik bir ivme– *nedenin* de aynı olması gerekir. Bu nedenle küçük ayın yörüngede dönmesini sağlayan neden, cisimlerin yere düşmesini sağlayan nedenle aynı olmalıdır.

Cisimlerin düşmesine neden olan şeye "kütle çekimi" [yerçekimi] diyoruz. O zaman küçük ayın Dünya'nın çevresinde dönmesini sağlayan da bu kütle çekimidir. Bu kütle çekimi olmasaydı küçük ay doğrudan uzaklara kaçardı. Ama o zaman gerçek Ay da Dünya'nın çevresinde kütle çekimi tarafından çekildiği için dönüyor olmalı! O zaman Jüpiter'in uyduları da Jüpiter tarafından çekildik-

1. Dönüş periyodunun karesi yörünge çapının küpüyle orantılıdır. Bu yasanın yalnızca Güneş çevresindeki gezegenler için değil (Kepler), Jüpiter'in uyduları için de geçerli olduğu kanıtlanmıştır (Huygens). [Aslında bu hesaplamanın ilk kez 1626'da Godfield Wendilin tarafından yapıldığı söylenir. (Ç.N.)] Newton tümevarımla bunun Dünya'nın hayalî uyduları için de geçerli olması gerektiğini varsaydı. Oran sabiti, yörüngesinde dönülen cisme bağlıdır. Bunun için küçük ayın periyodunun hesaplanmasında kullanılan değerler Ay yörüngesinin verileridir.

leri için, gezegenler de Güneş tarafından çekildikleri için Güneş etrafında döner! Bu çekim olmasaydı her bir gökcismi düz bir doğrultuda uçup giderdi. O zaman evren cisimlerin bir doğru üzerinde hareket ettikleri, birbirlerini "kuvvetler" aracılığıyla çektikleri bir uzaydır ve her bir cismin diğer herhangi bir cismi çektiği evrensel bir çekim kuvveti vardır.

Muazzam bir görüş biçimlenmiş olur. Binlerce yıldan sonra bir anda gökyüzü ile yeryüzü arasındaki ayrım, cisimlerin Aristoteles'in varsaydığı "doğal düzeyler"i ve evrenin merkezi ortadan kalkar, serbest bırakılan şeyler doğal yerlerine gitmez, hep düz bir çizgide hareket eder.

Varsayımsal küçük ay üzerinde yaptığı basit bir hesap, Newton'ın çekim kuvvetinin nasıl etki ettiğini ve bü yüklüğünü açıklamasını sağlar ($F=G\frac{M_1M_2}{r^2}$), bu kuvvet bugün "Newton sabiti" denen ve G'yle gösterilen bir değerle hesaplanır. Newton, çekim kuvvetinin hem yeryüzünde hem gökyüzünde eşit etki yaptığını anlar. Yeryüzünde cisimlerin düşmesine, gökyüzündeyse gezegenlerin ve uyduların yörüngede dönmesine neden olur. Kuvvet her iki durumda da aynı kuvvettir.

Bu, tüm Ortaçağ boyunca egemen olan dünya görüşünün, Aristotelesçi evrenin düşünsel şemasının tamamen çökmesi anlamına gelir. Dante'nin evrenini düşünün örneğin: Dünya, Aristoteles'teki gibi evrenin merkezinde, gökkürelerle çevrili bir toptu. Artık değil... Evren, yıldızlarla dolu, merkezi ve sınırları olmayan sonsuz bir uzaydır. Bir başka cismin yarattığı kuvvet saptırmadığı sürece serbest biçimde ve düz bir çizgide hızla hareket eden maddesel cisimlerle doludur. Antikçağ'ın atomculuğuna gönderme, gündelik terimlerle ifade edilmiş olsa da, Newton'da çok belirgindir:

Bana, Tanrı'nın evrenin başlangıcında maddeyi, belirli boyutlarda ve biçimlerde, belirli özelliklerde ve uzaya göre belirli oranlarda, katı, kütleli, sert, nüfuz edilemez ve hareketli parçacıklardan oluşturmuş olması mümkün görünüyor...[1]

Newton mekaniğinin dünyası basittir ve Resim 2.1 ve 2.2'de özetlenmiştir. Bu, Demokritos'un geri dönen dünyasıdır. İçinde etkileşimde bulunan parçacıkların sonsuza dek büyük hızla hareket ettiği tekdüze muazzam bir uzaydan başka bir şey olamayan bir dünya... Leopardi'nin şarkısını söyleyeceği dünya:

> Ama durup bakarken ardındaki bitmez
> tükenmez boşluklara, insan ötesi sessizlik,
> sınırsız huzura; dalıp giderim düş dünyama [...][2]

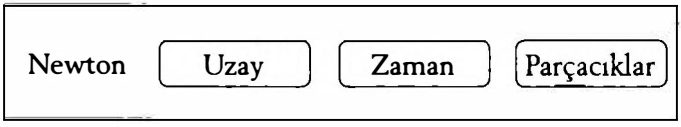
Ama artık bu dünya görüşü Demokritos'unkinden çok daha güçlüdür çünkü yalnızca dünyayı bir düzene sokmaya çalışmak için bir imge değildir, aynı zamanda Pythagoras'ın mirası ile İskenderiye astronomisinin matematiksel fiziğinin büyük geleneğini matematik aracılığıyla birleştirir. Newton'ın dünyası, Demokritos dünyasının matematik diliyle ifade edilmiş halidir.

Newton yeni fiziğin antik dönem bilimine çok şey borçlu olduğunu hiç çekinmeden kabul eder. Örneğin *The System of The World*'ün [Dünya'nın Sistemi] ilk satırları Copernicus devriminin temelinde (doğru olarak) antik dönemin olduğu saptamasını yapar: "Evrenin en yüksek yerlerinde sabit yıldızların hareketsiz durduğu ve Dünya'nın Güneş etrafında döndüğü görüşü, felsefecile-

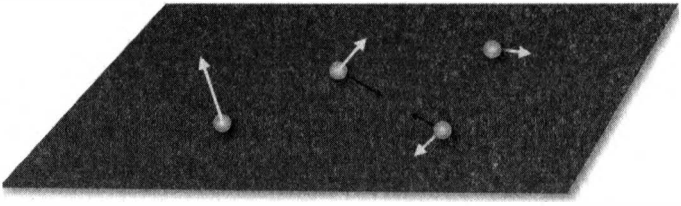
1. Isaac. Newton, *Opticks* (1704), İtalyanca çev. *Scritti di ottica*, UTET, Torino 1978.

2. Giacomo Leopardi, "Sonsuzluk", *Şarkılar*, çev. Necdet Adabağ, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 2016, s. 51. (Ç.N.)

rin çok eskiye dayanan bir düşüncesidir." Ama geçmişte kimin ne öne sürdüğü konusunda kafası biraz karışıktır ve ilgili ilgisiz saydığı adlar arasında Filolaos, Sisam'lı Aristarkhos, Anaksimandros, Platon, Anaksagoras, Demokritos ve (!) "çok bilge Roma kralı Numa Pompilius" da vardır.



Resim 2.1. Evren nelerden oluşur?



Resim 2.2. Newton'ın dünyası: Uzay ve zaman içinde hareket eden ve kuvvetler tarafından birbirlerini çeken parçacıklar.

Newtoncı yeni düşünce yapısının, tüm beklentileri aşan bir güçte olduğu ortaya çıktı. Tüm 19. yüzyıl ve günümüz teknolojisi çok büyük ölçüde Newton formüllerine dayanır. Aradan üç yüzyıl geçmesine karşın Newton formülleri sayesinde bugün köprüler, trenler, gökdelenler, motorlar ve hidrolik sistemler inşa edebiliyoruz, uçakları nasıl uçurabileceğimizi biliyoruz, hava tahminlerini hesaplayabiliyoruz, bir gezegenin varlığını, daha onu görmeden öngörebiliyoruz ve Mars'a uzay gemileri gönderebiliyoruz. Modern dünya, yolu Newton'ın küçük ayına düşmüş olmasaydı doğamazdı.

Bu, yeni ve müthiş bir evren görüşü, Voltaire'in ve

Kant'ın Aydınlanma hareketinin coşkuyla kabul edeceği bir düşünme yöntemi, geleceği hesaplamak için somut bir yol oldu. Diğer tüm bilimler için bir mihenk taşı, bir model oldu. Tüm bunlar Newtoncı büyük düşünce devriminin sonucu oldu, olmaya da devam ediyor.

Gerçekliği anlamak için gerekli anahtar ortaya çıkmış gibi görünür: Evren yalnızca, akan zaman içinde bir kuvvet aracılığıyla birbirlerini çeken parçacıkların hızla hareket ettiği sonsuz büyüklükteki bir uzaydan yapılmıştır. Her şey bu düzene indirgenebilir görünür. Bu hareketleri yöneten kesin denklemler elimizdedir. Bu denklemlerin de son derece etkili sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Daha 19. yüzyılda, Newton'ın gelmiş geçmiş en akıllı ve en uzak görüşlü insanlardan biri olmakla kalmayıp aynı zamanda, dünyada yalnızca tek bir temel yasalar sistemi olduğu ve bunu keşfetme şansı ona denk geldiği için dünyanın en şanslı insanlarından biri olduğu yazılıyordu. Her şey çok açık gibiydi.

Ama gerçekten hepsi bu kadar mı?

Michael: alanlar ve ışık

Newton, denklemlerinin doğada var olan *bütün* kuvvetleri açıklamadığını çok iyi biliyordu. Nesneleri itmek ve çekmek için kütle çekiminden başka kuvvetler de olmalıydı. Cisimler yalnızca düşerken hareket etmez. Newton'ın yanıtsız bıraktığı ilk şey, bu yüzden *diğer* kuvvetleri anlamak oldu. Çevremizde olup biteni belirleyen diğer kuvvetlerin anlaşılması için 19. yüzyılı beklemek gerekti; bu kavrayış, beraberinde iki büyük sürpriz getirdi.

İlk sürpriz, doğada gözlemlenebilen neredeyse tüm olayların, çekim kuvvetinin yanı sıra bugün "elektromanyetik" kuvvet dediğimiz *tek bir* kuvvet tarafından daha yönlendirilmesiydi. Katı cisimleri oluşturmak için maddeyi birleştiren, moleküllerdeki atomları ve elektronları atom-

larla bir arada tutan kuvvet, işte bu kuvvettir. Kimyanın, dolayısıyla da canlı maddenin işlemesini sağlar. Algıladığımız dünyaya ilişkin bilgiyi büyük bir hızla ileterek beynimizdeki nöronlar üzerine etki eden kuvvet budur. Kayan bir cismi durduracak sürtünmeyi doğuran, paraşütçülerin yumuşak biçimde yere inmesini sağlayan, elektrik motorları ve içten yanmalı motorları[1] döndüren, lambaları yakan ve radyo dinlememizi vs. sağlayan kuvvet de budur.

Anlattığım öykü açısından son derece önemli ikinci sürpriz, bu kuvvetin nasıl işlediğini açıklığa kavuşturmak için Newton dünyasında yapılan önemli bir değişikti: Modern fizik ve bu kitabın geri kalanını anlamak için odaklanılacak en önemli kavram olan "alan" kavramı, bu değişiklikten doğdu.

Elektromanyetik kuvvetin nasıl işlediğini anlayan yine başka bir, hatta iki İngiliz oldu: Bilim dünyasının en zıt çifti Michael Faraday ve James Clerk Maxwell (Resim 2.3).



Resim 2.3. Michael Faraday ve James Clerk Maxwell.

1. Yanmalı motorlarda açığa çıkan enerji kimyasal enerjidir, dolayısıyla sonuçta bu da elektromanyetik özelliktedir.

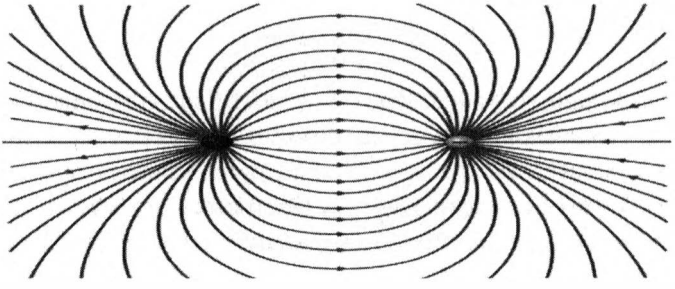
Michael Faraday herhangi bir örgün eğitim almamış, yoksul bir Londralıydı; önce bir kitap ciltleme atölyesinde çalışmış, sonra bir laboratuvarda çalışırken dikkat çekmiş, güven kazanmış ve 19. yüzyıl fiziğinin en parlak deneycisi ve en uzak görüşlü insanı olana dek yükselmişti. Matematik bilmezdi, içinde neredeyse hiç denklemin olmadığı harika bir fizik kitabı yazmıştı. O, fiziği aklının gözüyle görüyor ve dünyalar yaratıyordu. James Clerk Maxwell ise soylu bir aileden gelen zengin bir İskoç'tu ve yüzyılın en büyük matematikçilerinden biriydi. Toplumsal kökenlerinin ötesinde, aralarında düşünce tarzı olarak derin bir uçurum olsa da birbirlerini anlamayı başardılar ve birlikte, iki farklı dehayı birleştirerek modern fiziğe giden yolu açtılar.

18. yüzyılın başlarında elektrik ve manyetizma hakkında bilinenler ancak birkaç eğlencelik numarayla sınırlıydı: Kâğıtları çeken cam çubuklar ve birbirlerini iten ya da çeken mıknatıslardan başka pek bir şey yoktu. Elektrik ve manyetizma araştırmaları 18. ve 19. yüzyıllar boyunca yavaş ilerledi. Faraday, Londra'da, elektrik bobinleri, iğneler, bıçaklar ve demir kafeslerle dolu bir laboratuvarda çalışıyor, elektrik ve manyetizma yüklü cisimlerin birbirlerini nasıl itip çektiklerini araştırıyordu. İyi bir Newtoncı olarak herkes gibi o da yüklü ya da mıknatıslanmış cisimler arasında etki eden kuvvetin sahip olduğu özellikleri anlamaya çalışıyordu. Ama elleriyle bu nesnelerle yakın temas içinde çalışarak yavaş yavaş modern fiziğin temelinde yer alan bir sezgiye ulaştı. Yeni bir şeyler "gördü".

Faraday'in sezgisi şuydu: Newton'ın yaptığı gibi, birbirlerinden uzaktaki cisimler arasında doğrudan etkisi olan kuvvetler var olduğu düşünülmemelidir. Bunun yerine, elektrik ve manyetizma yüklü cisimlerle değişime uğrayan ve kendisi de elektrikli ve manyetik cisimler üzerinde (itme ve çekme yoluyla) etkide bulunan, uza-

yın her tarafına yayılmış gerçek bir şey düşünülmelidir. Faraday'in sezinlediği bu şeye bugün "alan" diyoruz.

Öyleyse "alan" nedir? Faraday onu, uzayı dolduran, (sonsuz derecede) ince çizgiler demeti olarak hayal etmişti. Çevremizdeki her şeyi dolduran devasa görünmez bir örümcek ağı... Bu çizgilere "kuvvet çizgileri" adını vermişti çünkü bu çizgiler bir biçimde "kuvvet taşıyordu": Birbirlerini çeken ve iten halatlar gibi elektrik kuvvetini ve manyetik kuvveti çevreye taşıyorlardı (Resim 2.4).



Resim 2.4. Uzayı kaplayan alan ve alanın etkileştiği elektrik yüklü iki cisim. İki cisim arasındaki kuvvet, alanın "kuvvet çizgileri" tarafından "taşınır".

Elektrik yükü olan bir nesne (örneğin ovulmuş bir cam çubuk) çevresindeki elektriksel ve manyetik alanları saptırır, bu alanlar da içlerindeki her bir yüklü nesne üzerine etki eden bir kuvvet yaratır. Dolayısıyla, belirli bir mesafedeki iki yük *doğrudan* birbirini ne çeker ne de iter, bu durum ikisinin arasındaki bir mecra aracılığıyla gerçekleşir.

Elinize iki mıknatıs alıp biraz yaklaştırdığınızda, birbirini çekme ve özellikle de itme kuvvetlerini denediğinizde, Faraday'in sezgisinin aynısını, mıknatıslar arasındaki alanın etkileri aracılığıyla "hissederek" deneyimlemek pek zor değildir.

Bu, Newton'ın iki cisim arasında uzaktan etki eden kuvvet kavramından çok farklı bir düşüncedir. Ama bu fikir Newton'ın da hoşuna giderdi. Newton'ın kendi bulduğu bu uzaktan etki konusunda kafası karışıktı. Dünya bu kadar uzaktaki Ay'ı nasıl çekebilirdi? Güneş, Dünya'ya hiç dokunmadan onu nasıl çekebilirdi? Bir mektupta şöyle yazmıştı:

> Cansız, katı bir maddenin, maddesel olmayan bir şeyin aracılığı olmadan, arada bir temas olmaksızın başka maddeyi etkilemesi ve üzerinde etkisinin olması anlaşılabilir bir şey değildir.[1]

Hatta biraz ileride şöyle yazar:

> Kütle çekimi kuvvetinin maddenin doğasında doğuştan var olması olasılığı, böylece bir nesnenin boşlukta bir başka şeyin aracılığı olmaksızın, uzaktan bir başkası üzerinde etkili olması [...] bana öyle saçma geliyor ki felsefi konuları düşünme becerisine sahip bir insanın bunu asla kabul edebileceğini sanmıyorum. Çekim kuvvetine bazı yasalara göre hareket eden bir etmen neden oluyor olmalı, ama ne tür bir etmen olduğunu okuyucularının değerlendirmesine bırakıyorum.[2]

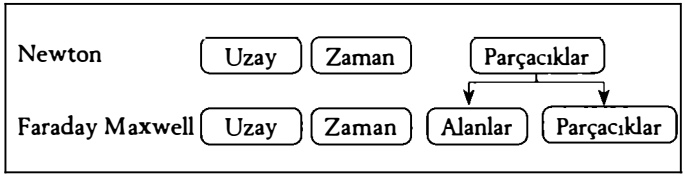
Newton burada, sonraki yüzyıllarda bilimin en büyük zaferi olarak alkışlanan kendi çalışmasını saçmalık olarak nitelendiriyor! Kütle çekimi kuvvetinin uzaktan etkisinin ardında başka bir şey olduğunun farkına varıyor ama bunun ne olduğu hakkında bir fikri yok, problemi de "*okuyucularının değerlendirmesi*"ne bırakıyor!

Newton'ın mekanik ve evrensel kütle çekimi yasalarının keşfi gibi muazzam sonuçlar karşısında bile kendi sonuçlarının sınırlarının farkında olması, tam anlamıyla

1. Isaac Newton, *Letters to Bentley*, Kessinger (MT), 2010. Horace Standish Thayer, *Newton's Philosophy of Nature* içinde, Hafner, New York, 1953, s. 54.
2. A.y.

bir dâhi olmasının sonucu. Newton'ın kuramı o kadar iyi işler, o kadar yararlı olur ki iki yüzyıl boyunca kimse onu sorgulamaya zahmet etmez. Ta ki Newton'ın değerlendirmesine bıraktığı "okuyucu" Faraday, cisimlerin uzaktan birbirlerini nasıl çektiklerini ve ittiklerin anlamak için bir çözüm bulana dek... Einstein da daha sonra Faraday'in çözümünü Newton'ın kütle çekimine uygulayacaktır.

Bu yeni "alan" kavramını ortaya koyan Faraday, basit ve zarif Newtoncı ontolojiden radikal biçimde ayrılır: Dünya artık yalnızca zaman aktıkça uzayda hareket eden parçacıklardan oluşmaz. Yeni bir oyuncu sahneye çıkar: Alan. Faraday attığı adımın öneminin farkındadır. Bu "kuvvet çizgileri"ni ve bunların gerçek şeyler olup olmadığını sorgulayan kitabında çok güzel satırlar vardır. Şüpheler ve değerlendirmelerden sonra gerçek oldukları sonucuna varır ama bu sonucu bilimin en derin problemleriyle karşı karşıya kalındığında gereken "tereddüt"le[1] ortaya koyar. Newtoncılığın iki yüzyıl kesintisiz süren başarısından sonra dünyanın yapısını değiştirmekte olduğunun farkındadır (Resim 2.5).



Resim 2.5. Evren nelerden oluşur?

Maxwell bu fikirde bir altın madeni saklı olduğunu çabucak anlar. Faraday'in yalnızca sözcüklerle açıkladığı

1. Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, Cilt 3, Bernard Quaritch, London, 1839-1855, s. 436-437.

sezgisini bir sayfa tutan denklemlere çevirir.[1] Bunlar Maxwell denklemleridir. Denklemler elektrik alanı ile manyetik alanın davranışını açıklar, bunlar "Faraday çizgileri"nin matematiksel ifadesidir.[2]

Bugün Maxwell denklemleri, bir antenin, bir elektrik motorunun veya bir bilgisayarın tasarlanması gibi elektrikle ve manyetizmayla ilgili tüm olayların tanımlanması için her gün kullanılmaktadır. Bitmedi: Daha sonra bu denklemlerin (elektrik kuvvetleriyle bir arada tutulan) atomların nasıl davrandığını ya da bir taşı oluşturan maddelerinin birbirlerine nasıl yapıştığını veya güneşin işleyişini ve aslında aklın almayacağı kadar çok sayıda olayın açıklanmasına yaradığı bulundu. Çekim kuvveti ve daha pek az şey dışında, gördüğümüz neredeyse her şey Maxwell denklemleriyle çok iyi açıklanır.

Bu kadarla da kalmaz. Bir de belki gelmiş geçmiş en güzel bilimsel buluş vardır: Denklemler ışığın doğasını da açıklar.

Maxwell, Faraday çizgilerinin tıpkı deniz dalgaları gibi titreşip dalgalanabildiğini fark eder. Faraday çizgilerinin dalgalanmaları büyük bir hızla hareket eder... hem de tam da ışık hızında! Bu ne demektir? Maxwell anlamıştır: Işığın Faraday çizgilerinin dalgalanmalarından başka bir şey olmadığı anlamına gelir! Faraday ve Maxwell yalnızca elektriğin ve manyetizmanın nasıl işlediğini anlamakla kalmamış, bir diğer sonuç olarak ışığın da ne olduğunu kavramıştır.

Biz çevremizdeki dünyayı renkli görürüz. Renk nedir? Basitçe söylemek gerekirse ışığı oluşturan elektroman-

1. Maxwell'in özgün makalesindeki denklemler bir sayfa kadar tutuyordu. Bugün aynı denklemler yarım satırda ifade edilebiliyor: $dF=0$, $d*F=J$. Bunun nedenini sonra göreceğiz.

2. Alanı uzayın her noktasında bir vektör (küçük bir ok) olarak gözünüzde canlandırdığınızda, bu ok Faraday çizgisinin o noktadaki yönüdür, yani Faraday çizgisine teğettir, okun uzunluğuysa Faraday çizgilerinin o noktadaki yoğunluğuyla orantılıdır.

yetik dalgaların frekansıdır (dalgalanma hızıdır). Dalgalar daha hızlı titreşirse ışık daha mavi olur. Daha yavaş titreşirlerse daha kırmızı olur. Gördüğümüz biçimiyle ışık, gözlerimizde farklı frekanstaki elektromanyetik dalgaları ayırt edebilen algılayıcılardan gelen sinirsel sinyallere verdiğimiz psikofiziksel tepkidir.

Faraday'in laboratuvarındaki bobinler, kafesler ve iğneler arasındaki kuvveti tanımlamak için doğmuş denklemlerinin ışığı ve renkleri açıkladığını fark ettiğinde Maxwell neler hissetmişti acaba?

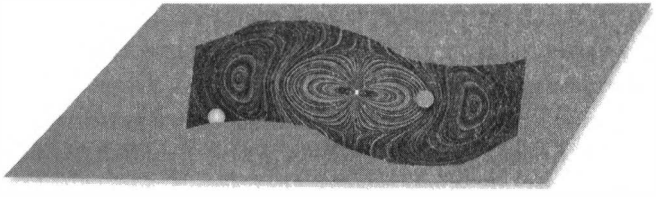
Işık, esinti altındaki bir göl gibi hafifçe dalgalanan Faraday çizgilerinin oluşturduğu örümcek ağının hızlı titreşiminden başka bir şey değildir. Dolayısıyla gerçekte, Faraday çizgilerini "görmediğimiz" doğru değildir. *Yalnızca* titreşen Faraday çizgilerini görürüz. "Görmek" ışığı algılamak demektir, ışık da Faraday çizgilerinin hareketidir. Hiçbir şey, onu taşıyan bir şey olmazsa uzayda bir yerden bir yere atlamaz. Sahilde oynayan bir çocuk görürsek, bunun nedeni yalnızca onunla bizim aramızda, onun imgesini bize kadar ulaştıran titreşen çizgiler olmasıdır. Dünya ne kadar harika değil mi?

Buluş olağanüstüdür ama dahası da var. Son buluşun insanlık için eşi benzeri olmayan somut bir değeri vardır. Maxwell, denklemlerin Faraday çizgilerinin çok daha düşük frekanslarda, yani ışığınkinden daha yavaş titreşebileceklerini de öngördüğünün farkına varır. Daha önce hiç kimsenin görmediği, elektrik yüklerinin hareketiyle oluşan, kendileri de elektrik yüklerinin hareketine neden olan *başka* dalgalar da olmalıdır. Bu nedenle bir elektrik yükünü *burada* yaratıp *öteye* taşıyacak bir dalga oluşturmak mümkün olmalıdır. Yalnızca birkaç yıl sonra, Maxwell'in kuramsal olarak öngördüğü bu dalgalar (Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından) ortaya çıkarılacaktır, bundan birkaç yıl sonra da Marconi bunlarla ilk radyoyu yapacaktır.

Tüm modern iletişim teknolojisi –radyo, televizyon, telefon, bilgisayar, GPS, Wi-Fi, internet vs.– Maxwell'in öngörülerinin bir uygulamasıdır; Maxwell denklemleri iletişim mühendislerinin tüm hesaplarının temelidir. İletişim hızına dayanan tüm çağdaş uygarlık, aklının gözüyle çizgiler gören –düşünceleri canlı bir hayal gücüyle araştıran– Londralı yoksul bir kitap ciltçisinin ve tüm bunları denklemlere çeviren ve bu çizgiler üzerindeki dalgaların gezegenin bir ucundan diğer ucuna ışık hızında haberler taşıyabileceğini anlayan becerikli bir matematikçinin sezgilerinden doğmuştur.

Günümüz teknolojilerinin tümünün temelinde "keşfedilmemiş" fiziksel bir nesne –elektromanyetik dalgalar– vardır: Bunlar önce Faraday'in bobinler ve iğnelerle yaptığı gözlemleri bir düzene soktuğu sezgisiyle tutarlı doğru matematiksel tanımları bulan Maxwell tarafından matematik yardımıyla "öngörülmüştü". Bu, kuramsal fiziğin olağanüstü gücüdür.

Dünya değişmiştir: Artık uzaydaki parçacıklardan değil, uzayda hareket eden parçacıklar ve alanlardan oluşur (Resim 2.6). Bu, önemsiz bir değişim gibi görünür ama on, yirmi yıl sonra dünya vatandaşı genç bir Yahudi, Michael Faraday'in ateşli hayal gücünün bile ötesine geçecek ve bundan Newton dünyasını daha da derinden altüst edecek sonuçlar çıkaracaktır.



Resim 2.6. Faraday ve Maxwell'in dünyası: Zaman aktıkça uzayda hareket eden parçacıklar ve alanlar.

İKİNCİ KISIM

DEVRİMİN BAŞLANGICI

20. yüzyıl fiziği Newtoncı dünya imgesini kökten değiştirdi. Bu değişikliklerin yararları bugün büyük ölçüde kanıtlanmış durumda ve pek çok teknolojinin temelinde yer alıyor. Dünya anlayışımızın önemli ölçüde derinleşmesinin kaynağında iki büyük kuram vardır: genel görelilik ve kuantum mekaniği.

Her ikisi de bizden dünyaya ilişkin geleneksel düşüncelerimizi cesaretle tartışmaya açmamızı ister: Genel görelilik kapsamında uzay ve zamanla, kuantum kapsamında madde ve enerjiyle ilgili olarak.

Bu bölümde her iki kuramın da fizik açısından anafikirlerini açıklamaya ve kavramsal açıdan yarattıkları devrimin önemine ışık tutmaya çalışarak, onları ayrıntılarıyla ortaya koyacağım. 20. yüzyıl fiziğinin büyüsü burada başlar. Onları incelemek ve derinlemesine anlamaya çalışmak heyecan verici bir serüvendir.

Kuantum kütle çekimini araştırmak için çıkılan yolun başlangıcında bu iki kuram vardır. Bu iki temel direğe, göreliliğe ve kuantuma dayanarak ilerlemeye çalışıyoruz.

3

ALBERT

Albert Einstein'ın babası İtalya'da elektrik santralları kuruyordu. Albert küçük bir çocukken Maxwell denklemleri yazılalı daha on-yirmi yıl olmuştu ama İtalya'da Endüstri Devrimi başlamıştı bile; babasının kurduğu türbinler ve transformatörler bu denklemlere dayanıyordu. Yeni fiziğin gücü çok açıktı.

Albert asi bir çocuktu. Ebeveynleri liseyi okuması için onu Almanya'da bırakmıştı ama o Alman okulunu çok katı, sıkıcı ve militarist buluyordu; okul otoritesiyle çatışmaya girmiş ve eğitimini bırakmıştı. Ebeveynlerinin peşinden İtalya'ya, Pavia'ya gitmişti, zamanını aylaklık ederek geçiriyordu. Ebeveynler gençler için kesinlikle en iyi zaman geçirme yönteminin aylaklık olduğunu çok ender anlar. Sonra okumaya İsviçre'ye gitti ama başta istediği Zürih Politeknik'e girmeyi başaramadı. Üniversite yıllarından sonra üniversitede bir iş bulamadı ve sevdiği kızla birlikte yaşayabilmek için Bern Patent Ofisi'nde bir iş bulmak zorunda kaldı.

O zamanlar bir fizik mezunu için bu çok ahım şahım bir iş değildi ama Albert'in düşünmek ve çalışmak için bolca zamanı oluyordu. O da düşünüyor ve çalışıyordu. Zaten daha çocukluğundan beri hep böyle yapmıştı: Okulda öğretilenlerle ilgilenmek yerine Eukleides'in "Öğeler"ini ve Kant'ın *An Usun Eleştirisi*'ni okuyordu.

Einstein yirmi beş yaşında üç makale yazıp *Annalen der Physik*'e gönderdi. Her üçü de birer Nobel Ödülü'nü ve daha fazlasını hak eder. Her üçü de günümüzdeki dünya anlayışımızın temel direğidir. İlk makaleden daha önce söz etmiştim. Bu, genç Albert'in atomların boyutlarını hesapladığı ve Demokritos'un düşüncelerinin doğru olduğunu, maddenin atomlardan yapıldığını yirmi üç yüzyıl sonra kanıtladığı makalesidir.

İkincisi Einstein'ın en ünlü makalesidir: Bu, görelilik kuramını sunduğu makaleydi, kitabın bu bölümü de görelilik kuramına ayrılmıştır.

Aslında iki görelilik kuramı vardır. Yirmi beş yaşındaki Einstein'ın gönderdiği zarfın içinde bunlardan ilki vardı: Bugün İtalya'da "sınırlı görelilik", başka yerlerde genellikle "özel görelilik" denen kuram. Özel görelilik Einstein'ın daha büyük kuramı olan genel göreliliğe geçmeden önce ortaya koyduğu, uzay ve zamanın yapısına ilişkin önemli bir açıklamaydı.

Özel görelilik çok incelikli ve kavramsal olarak zor bir kuramdır. Genel görelilikten daha zor sindirilebildiğini sanıyorum. Aşağıdaki küçük bölümü kavramak zor gelirse, okuyucunun cesareti kırılmasın. Sunduğu kavramlar, bize ilk kez, Newtoncı dünya görüşünde yalnızca eksik bir şeyler olduğunu değil, aynı zamanda dünyayı anlamak istiyorsak, bu görüşün düşünme alışkanlıklarımıza ters gelecek biçimde kökten değiştirilmesi gerektiğini de gösterir. Bize sezgisel olarak doğru gelen kavramların değiştirilmesi için atılan ilk adımdır.

Uzatılmış şimdiki zaman

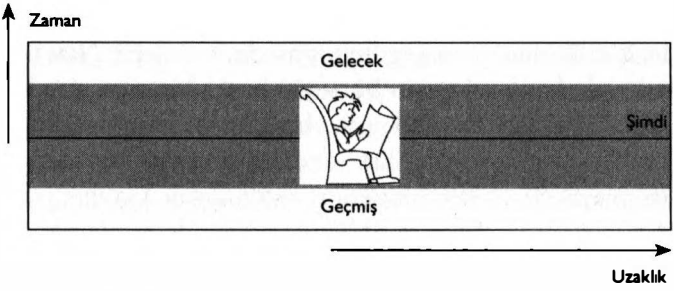
Newton ve Maxwell'in kuramları arasında hemen göze çarpmayan çelişkiler varmış gibi görünür. Maxwell denklemleri bir hız belirler: ışık hızını. Ama Newton me-

kaniği sabit bir hızın varlığıyla bağdaşmaz çünkü Newton denklemlerine giren şey hep ivmedir, hız değil. Newton fiziğinde hız her zaman bir şeyin başka bir şeye *göre* hızıdır. Dünyanın biz farkında olmadan da hareket edebileceğini çünkü bizim "hız" dediğimiz şeyin her zaman "dünyaya göre" hız olduğunu vurgulayan Galileo'ydu. Hızın *göreli* bir kavram olduğu söylenir. Yani bir nesnenin kendi, *öz* hızı yoktur, yalnızca bir başka cisme göre bir hızı vardır. 19. yüzyılda olduğu gibi bugün de fizik öğrencilerine öğretilen budur. Ama bu doğruysa, o zaman Maxwell denklemleriyle belirlenen ışık hızı neye göre bir hızdır?

Bir olasılık ışık hızını göreli olarak belirleyen evrensel bir madde olmasıdır. Ama bu maddenin ne gibi etkileri olduğu somut biçimde anlaşılmaz, çünkü Maxwell denklemleri zaten bu maddeden bağımsızmış gibi görünür. Özellikle 19. yüzyıl sonunda dünyanın bu varsayımsal maddeye göre hızını ölçmek için ışık hızını kullanan deneylerinin hepsi başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Einstein bu karışıklığı çözmek için ona doğru yolu gösteren şeyin belirli deneyler olmadığını savunmuştu; bunun yerine basitçe Maxwell denklemleri ile Newton mekaniği arasındaki ilişkiyi düşünmenin ve Maxwell'in kuramının, sonuçta, Newton ve Galileo'nun buluşlarının özüyle, yani hızın yalnızca göreli bir kavram olmasıyla tutarlı olup olmayacağını sorgulamanın yardımcı olduğunu öne sürmüştü.

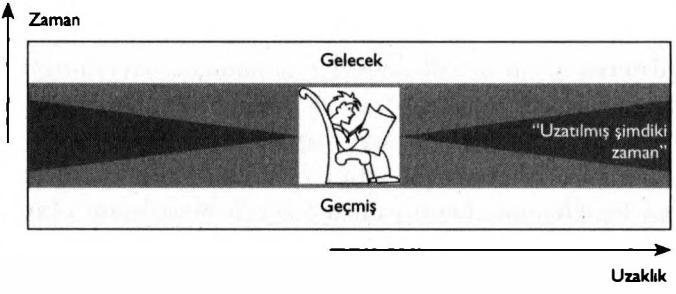
Bu düşüncelerle yola çıkan Einstein şaşkınlık verici bir buluşa ulaştı. Bunun ne olduğunu anlamak için, sevgili okur, okuduğun âna göre geçmişteki, şimdiki zamandaki ve gelecekteki tüm olayları düşün ve Resim 3.1'deki gibi düzenlendiklerini hayal et.



Resim 3.1. Einstein'dan önce uzay ve zaman.

Einstein'ın buluşu, bu çizimin yanlış olduğudur. Gerçekte olaylar Resim 3.2'deki gibidir.

Her bir olayın geçmişi ile geleceği arasında (örneğin, tam şu anda, bulunduğun yerde okurken senin için geçmiş ile gelecek arasında) o olayın bir "ara bölge"si, bir "uzatılmış şimdiki zaman"ı, ne geçmiş ne gelecek olan bir bölge bulunur. Özel görelilik kuramı budur.



Resim 3.2. "Uzay-zaman"ın yapısı. Her gözlemci için "uzatılmış şimdiki zaman" geçmiş ile gelecek arasındaki ara bölgedir.

Şu anda sana göre ne geçmiş ne de gelecek olan bu "ara bölge"nin süresi[1] çok kısadır ve Resim 3.2'de göste-

1. Bir gözlemciye göre uzam cinsinden uzaktaki olayların toplamı.

rildiği gibi sana olan uzaklığa bağlıdır: Senden ne kadar uzak olursa süresi de o kadar uzun olur. Burnundan birkaç metre ötede, sevgili okuyucu, senin için ne geçmiş, ne gelecek olan "ara bölge"nin süresi birkaç nanosaniye, yani saniyenin milyarda biridir: Neredeyse yok sayılabilecek, fark edebileceğimizden çok daha kısa bir süre (bir saniyedeki nanosaniyelerin sayısı 30 yıldaki saniyelerin sayısına eşittir). Okyanusun öte yanı için bu "ara bölge"nin süresi saniyenin binde biridir, yine zaman algılama eşiğimizin, yani duyularımızla ayırt edebileceğimiz, saniyenin yaklaşık onda biri düzeyindeki en kısa zaman süresinin oldukça altındadır. Ama uzatılmış şimdiki zamanın aydaki süresi birkaç saniye, Mars'ta on beş dakikadır. Mars'ta tam şu anda olmuş bitmiş ve daha gerçekleşecek olan olaylar vardır ama bizim için ne geçmişte kalmış ne de gelecekte gerçekleşecek olayların olduğu, on beş dakikalık bir süre söz konusudur.

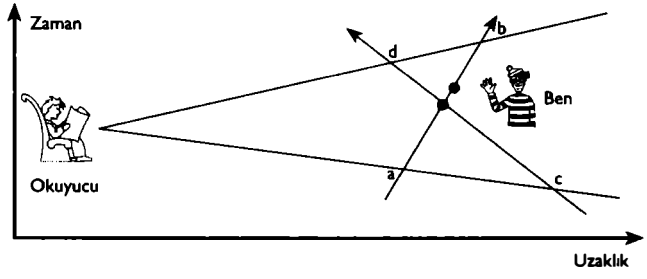
Bunlar başka bir şeydir. Bu başka şeyin daha önce farkına hiç varmadık çünkü burada, yakınımızda bu "başka şey" çok kısa sürer, biz de onu algılamak için zihinsel olarak yeteri kadar hızlı değiliz. Ama vardır ve kesinlikle gerçektir.

Burası ile Mars arasında tatmin edici bir sohbet gerçekleştirilemez. Eğer ben Mars'taysam, sen de buradaysan, ben sana bir soru sorarım, sen benim ne söylediğimi duyar duymaz bana yanıt verirsin ama senin yanıtın benim soruyu sormamdan on beş dakika sonra gelir. Benim bu on beş dakikam bana yanıt verdiğin âna göre ne geçmiş ne gelecek olan zamandır. Einstein'ın anladığı temel nokta, bu on beş dakikanın kaçınılmaz olduğudur; bunu kısaltmanın hiçbir yolu yoktur. Uzay ve zamanın olaylarının dokusuna işlemiştir: Kısaltılması, geçmişe bir mektup yollayamayacağımız anlamına gelecek biçimde olanaksızdır.

Garip ama gerçek. Sydney'deki insanların bize göre baş aşağı yaşamalarının garip ama gerçek olması gibi...

İnsan zamanla alışır ve her şey normal ve çok mantıklı gelmeye başlar. Uzay ve zamanın yapısı böyledir.

Bu da, "tam şu an" diye bir şey olmadığı için, Mars'taki bir olayın "tam şu an"da olduğunu söyleyemeyeceğimiz sonucunu doğurur (Resim 3.3).[1] Teknik terimlerle ifade edilecek olursa, Einstein'ın "mutlak eşzamanlılık" diye bir şey olamadığını, yani evrende hepsi "şimdi" var olan bir olaylar grubu olmadığını anladığı söylenebilir. Bizim "şimdi"miz yalnızca burada vardır. Evrendeki olaylar grubunu peş peşe ilerleyen şimdiki zamanların birbirlerini izlemesi olarak tanımlamak doğru bir tanımlama değildir; Resim 3.2'deki gibi daha karmaşık bir yapısı vardır. Resim, fizikte "uzay-zaman" denen, bir olaya göre geçmişin ve geleceğin ama aynı zamanda "ne geçmiş, ne gelecek" olan, bir an değil, bir süre olan şeyin toplamını gösterir.



Resim 3.3. Eşzamanlılığın göreliliği.

1. Kurnaz bir okuyucu benim on beş dakikamın *ortasındaki* ânın kendi cevabıyla eşzamanlı olarak kabul edilebileceğini söyleyerek itiraz edebilir. Fizik eğitimi almış bir okuyucu bunun eşzamanlılığı tarif eden "Einstein Konvansiyonu" olduğunu bilecektir. Ama eşzamanlılığın bu tanımı, benim nasıl hareket ettiğime bağlıdır, dolayısıyla iki olay arasındaki eşzamanlılığın değil, yalnızca belirli cisimlerin hareketine göre eşzamanlılığı tanımlar. Resim 3.3'te, bir top, gözlemcinin geçmişinden çıkıp geleceğine girdiğim, *a* ve *b* noktalarının orta noktasında bulunur. Diğer top, farklı bir rotada hareket halinde olmam durumunda gözlemcinin geçmişinden çıkıp geleceğine girdiğim, *c* ve *d* noktalarının orta noktasındadır. Her iki top da, eşzamanlılığın bu tanımına göre, okuyucu için eşzamanlıdır; oysa bunlar birbirini izleyen durumlardır. Her bir top okuyucu için eşzamanlıdır ama iki farklı harekete "göreli" olarak. "Görelilik" terimi buradan gelir.

Andromeda gökadasında bu "uzatılmış şimdiki zaman"ın bize göre süresi iki milyon yıldır. Bu iki milyon yıl boyunca olan biten her şey bize göre ne geçmiş ne gelecektir. Andromeda üzerinde barışçıl ileri bir uygarlık yaşasaydı ve bir noktada bizi ziyaret etmek için bir uzay gemisi filosu göndermeye karar verseydi, filonun şu anda yola çıkıp çıkmadığını sormanın hiçbir anlamı olmazdı. Anlamlı olabilecek tek soru bu filodan ilk sinyali aldığımız zaman sorulabilirdi.

Genç Einstein'ın 1905'te uzay-zamanın yapısıyla ilgili bu keşfinin ne gibi somut sonuçları vardır? Gündelik yaşamımızla ilgili doğrudan hiçbir sonucu yoktur. Ama dolaylı sonuçlar açısından, oldukça da ciddi sonuçları vardır. Resim 3.2'deki gibi, uzay ile zamanın birbirine sıkı sıkıya bağlı olması, Newton mekaniğinin incelikli bir biçimde ve eksiksiz olarak yeniden yazılmasını gerektirdi, Einstein da bunu 1905'te ve 1906'da hızla tamamladı. Bu yeniden yazımın ilk sonucu yalnızca biçimseldir: Yeni mekanikte elektrik alanı ile manyetik alan, zamanın ve uzayın, bir uzay-zaman kavramı altında birleşmesi gibi, bugün "elektromanyetik alan" dediğimiz bir kavramda birleşir. Maxwell'in bu iki alan hakkında yazdığı karmaşık denklemler, bu yeni dille yazıldığında son derece basitleşir.

Ama kuramın asıl ciddi sonuçlar yaratan bir başka yönü vardır. Zaman ile uzayın, elektrik alanı ile manyetik alanın birleşmesi gibi *enerji* ile *kütle* kavramları da yeni mekanikte aynı biçimde birleşir. 1905'ten önce doğada *iki* temel ilkenin kesin olduğu düşünülürdü: kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu. Kütlenin korunumu, kimyacılar tarafından bütün tepkimelerde doğrulanmıştı. Enerjinin korunumu da doğrudan Newton denklemlerinden çıkarılmış ve yasaların en genellerinden ve ihlal edilemezlerinden biri olarak görülmüştü. Ama Einstein,

tıpkı elektrik alanı ile manyetik alanın aynı alanın, uzay ile zamanın aynı uzay-zaman kavramının iki farklı yüzü olması gibi, enerji ile kütlenin de aynı şeyin iki farklı yüzü olduğunun farkına varır. Gerek kütlenin gerek –o zamanlar anlaşıldığı biçimiyle– enerjinin tek başına korunmadığını anlar. Biri diğerine dönüşebilir: İki değil, *tek bir* korunum ilkesi vardır. Korunan şey kütle ile enerjinin toplamıdır, her biri ayrı ayrı değil. Bir başka ifadeyle: Enerjiyi kütleye veya kütleyi enerjiye çeviren süreçler var olmalıdır.

Hızlı bir hesap Einstein'ın bir gram kütlenin dönüştürülmesiyle ne kadar enerji edilebileceğini anlamasını sağlar. Ünlü $E = mc^2$ formülüyle ifade edilen sonuç çok önemlidir: Bir gramlık bir maddenin dönüştürülmesiyle elde edilen enerji inanılmaz büyüktür: Milyonlarca bombanın birlikte patlamasına eşit, aylarca bir kenti aydınlatmak ya da bir ülkedeki endüstrinin çarklarını döndürmek için yeterli olacak ya da Hiroşima'daki gibi bir saniye içinde milyonlarca insanın ölümüne yetecek kadar büyük bir enerji...

Genç Einstein'ın kuramsal tahminleri insanlığı yeni bir çağa taşımıştı: Nükleer enerji çağına. Yeni olanaklar ve yeni tehlikelerle dolu bir çağa... Bugün asi ve kurallara uymayan bir gencin zekâsı sayesinde, yakında bu gezegende yaşayacak on milyar insanın evlerini aydınlatacak araçlarımız var. Başka yıldızlara doğru uzayda yolculuk etmek için de... Ya da birbirimizi yok etmek ve gezegeni tahrip etmek için de... Bu, yapacağımız tercihlere ve bizi temsil etme görevini vereceğimiz yöneticilere bağlı.

Bugün Einstein'ın kavradığı uzay-zaman yapısı derinlemesine inceleniyor, laboratuvarda sürekli olarak deneylerle sınanıyor ve kesin olarak benimsenmiş durumda. Zaman ve uzay Newton'dan beri düşünüldüklerinden biraz farklıdır. Fark, "uzay"ın tek başına var olmama-

sından kaynaklanır. Resim 3.2'deki "uzatılmış uzay" içinde diğerlerinden daha çok "şimdiki uzay" diye anılmayı hak eden özel bir "dilim" yoktur. Evrende "şu anda" olmakta olan her şeyin toplamı olan sezgisel "şimdiki zaman" düşüncemiz, körlüğümüzün bir sonucudur: Çok kısa zaman aralıklarını fark edemeyiz.

Bu, dünyanın düz olduğunu sanmaya benzer: Dünyanın düz olduğunu düşünüyorduk çünkü duyularımızın ve hareket yeteneğimizin sınırları nedeniyle burnumuzun ucundan biraz ötesini göremiyorduk. Çapı bir kilometre olan bir göktaşı üzerinde yaşıyor olsaydık onun bir küre olduğunu hemen fark ederdik. Beynimiz ve duyularımız daha hassas olsaydı ve zamanı kolaylıkla nanosaniye düzeyinde ayırt etseydik, her yöne uzanan bir "şimdiki zaman" düşüncesine hiçbir zaman ulaşmaz, geçmiş ile gelecek arasındaki bu ara bölgenin varlığını kolayca anlardık. "Burada ve şimdi" demenin bir anlamı olduğunu ama tüm evrende "şu anda olmakta olan" olayları tanımlamak için "şimdi" demenin anlamsız olduğunu fark ederdik. Bu, gökadamızın Andromeda gökadasından daha mı yukarıda yoksa daha mı aşağıda olduğunu sormaya benzer: Anlamsız bir sorudur çünkü "daha yukarıda" ve "daha aşağıda" terimleri, evrendeki iki cisim için değil, yalnızca yeryüzündeki iki şey için geçerlidir. Evrenin herhangi bir yerindeki iki cisim arasında her zaman bir "daha yukarıda" ve "daha aşağıda" olma durumu yoktur. Evrende olan herhangi iki olay arasında da bir "önce" ve "sonra" yoktur.

Annalen der Physik, Einstein'ın bunları açıkladığı makaleyi yayımladığında fizik dünyası üzerindeki etki çok güçlü oldu. Maxwell denklemleri ile Newton fiziği arasında bulunan görünürdeki farklar iyi biliniyordu ama kimse bunları nasıl çözeceğini bilmiyordu. Einstein'ın hayranlık verici ve zarif çözümü herkesi şaşırttı. Sert bir fizik profesörünün Einstein'ın makalesini sallayıp, "Yeni

Arkhimedes doğdu!" diye bağırarak odasından Krakow Üniversitesi'nin eski loş koridorlarına fırladığı anlatılır.

Einstein'ın 1905'te özel göreliliği sunmasıyla attığı adımın yarattığı heyecana karşın, bu onun en büyük zaferi değildir. Einstein'ın gerçek başyapıtı, on yıl sonra, 35 yaşındayken yayımladığı görelilik kuramlarının ikincisi, *genel görelilik* kuramıdır.

"Genel görelilik", kuramsal fiziğin gelmiş geçmiş en güzel kuramı, kuantum kütle çekiminin iki temel direğinin ilki ve bu kitabın öyküsünün özüdür. 20. yüzyıl yeni fiziğinin gerçek ve büyük büyüsü, sevgili okuyucu, burada başlar.

Kuramların en güzeli

Einstein özel görelilik kuramını yayımladıktan sonra tanınan bir fizikçi olmuş, pek çok üniversiteden teklifler almıştı. Ama onu rahatsız eden bir şey vardı: Özel görelilik, kütle çekimiyle ilgili bildiklerimizle uyuşmuyordu. Einstein, kuramı hakkında bir özet yazarken bunun farkına vardı ve yüce Newton babanın kadim ve görkemli "evrensel çekim kuvveti"nin de yeni görelilik düşüncesiyle uyumlu olabilmesi için gözden geçirilmesinin gerekli olup olmadığını sorgulamaya başladı.

Problemin kaynağını anlamak çok kolaydır: Newton nesnelerin neden düştüğünü ve gezegenlerin neden döndüğünü açıklamaya çalışmıştı. Tüm nesneleri birbirlerine çeken bir "kuvvet" hayal etmişti: "kütle çekimi kuvveti". Bu kuvvetin, aralarında hiçbir şey olmayan, birbirlerinden uzaktaki nesneleri nasıl çektiği bilinmiyordu: Daha önce gördüğümüz gibi, Newton'ın kendisi de birbirine değmeyen cisimler arasında uzaktan etki eden bir kuvvet düşüncesinde eksik bir şeyler olduğundan ve dünyanın ayı çekebilmesi için ikisi arasında kuvvet iletimine aracı-

lık edecek bir şeyin olması gerektiğinden kuşkulanıyordu. Kütle çekimi kuvveti için değil ama elektrik kuvveti ile manyetik kuvvet için çözümü, iki yüz yıl sonra alan kavramını keşfeden Faraday bulmuştu. Elektrik alanı ile manyetik alan, elektrik kuvveti ile manyetik kuvveti "çevreye taşır".

Bu noktada, mantıklı bir insan için kütle çekiminin de Faraday çizgilerine sahip olması gerektiği açıktır. Benzer biçimde, Güneş ile Dünya arasındaki ve Dünya ile düşen cisim arasındaki çekim kuvvetinin de bir "alan"a, bu kez "kütle çekimi alanı"na bağlı olması gerektiği açıktır. Faraday ve Maxwell'in, kuvveti "çevreye taşıyan" şeyin ne olduğu sorusuna bulduğu çözüm yalnızca elektriğe değil, mantıksal olarak kütle çekimi kuvvetine de uygulanabilir olmalıdır. "Kütle çekimsel Faraday çizgileri"nin nasıl hareket ettiğini tanımlayabilecek bir kütle çekimi alanı ve Maxwell denklemlerine benzer denklemler olmalıdır. Yüzyılın ilk yıllarında bu, yeterince mantıklı herkes için, yani yalnızca Albert Einstein için, çok açıktı.

Çocukluğundan beri babasının kurduğu elektrik santrallerinin rotorlarını çeviren elektromanyetik alana hayran olan Einstein "kütle çekimi alanı"nın nasıl oluşturulabildiğini ve hangi denklemlerin onu tanımladığını araştırmaya koyuldu. Probleme gömüldü. Çözmesi on yılını alacaktı. Çılgınca araştırmalarla, denemelerle, yanlışlarla, kafa karışıklıklarıyla, göz kamaştırıcı fikirlerle, yanlış fikirlerle, yanlış denklemlerle yayımlanan bir dizi uzun makaleyle, hatalarla, gerilimle dolu bir on yıl... Sonunda, Kasım 1915'te tamamlanmış çözümünü yayımladı: "Genel görelilik kuramı" adını verdiği yeni bir kütle çekimi kuramı onun başyapıtı oldu. Ona "bilimsel kuramların en güzeli" adını veren, Sovyetler Birliği'nin en önemli kuramsal fizikçisi Lev Landau oldu.

Kuramın güzelliğinin kaynağını anlamak çok zor de-

ğil. Einstein, kütle çekimi alanının matematiksel çerçevesini icat etmeyi denemek ve denklemleri tahmin etmek yerine Newton'ın kuramının derinliklerindeki bir başka çözülmemiş soruya el attı.

Newton, Demokritos'un nesnelerin *uzay*da hareket ettikleri fikrine geri dönmüştü. Uzay evren için büyük, boş bir kap, katı bir kutu olmalıydı. Nesnelerin, bir kuvvet tarafından saptırılmadıkları sürece düz bir çizgide hızla hareket ettikleri devasa bir çerçeve... Ama dünyanın içinde bulunduğu bu kap, bu "uzay" neden oluşur? Uzay nedir?

Bizim için uzay fikri oldukça basit görünür ama böyle görünmesinin nedeni, her şeyden öte, Newton fiziğine alışkın olmamızdır. Düşünülecek olursa, boş uzay deneyimlerimizin bir parçası değildir. Aristoteles'ten Descartes'a dek, yani iki bin yıl boyunca, Demokritos'un uzayın farklı, nesnelerden ayrı bir varlık olduğu düşüncesi hiçbir zaman mantıklı bulunmamıştır. Descartes gibi Aristoteles için de nesnelerin uzamı vardır ama uzam yalnızca nesnelerin bir özelliğidir: Uzamı olan bir nesne yoksa uzam da yoktur. Suyu bir bardaktan boşaltabilirim ama içine hava dolar. Siz hiç gerçekten boş bir bardak gördünüz mü?

İki şey arasında *hiçbir şey* yoksa, diye akıl yürütür Aristoteles, hiçbir şey yoktur. Hem hiçbir şey olmamak hem de aynı zamanda bir şey, yani uzay olmak nasıl olabilir? İçinde parçacıkların hareket ettiği bu "boş uzay" nedir? Bir şey midir yoksa hiçbir şey midir? Eğer hiçbir şeyse, yoktur, onsuz da yapabiliriz. Bir şeyse, tek özelliğinin orada öylece durup hiçbir şey yapmamak olması mümkün müdür?

Bir "şey olma" ve "bir şey olmama" arasında kalan boş uzay düşüncesi düşünürleri antik dönemden beri rahatsız etmişti. Atomların, içinde hızla hareket ettikleri dün-

yasının temeline boş uzayı koyan Demokritos, bu sorun konusunda hiç de açık değildi: Bu uzayının "var olmak ile var olmamak" arasında duran bir şey olduğunu söylemişti; Demokritos dolu ve boş kavramlarının var olduklarını, birini "olan" diğerini "olmayan" olarak nitelendirerek kabul etmişti.[1] Olan atomlardı. Uzay "olmayan"dı. Ama var olan bir "olmayan"... Bundan daha anlaşılmaz bir şey bulmak kolay değildir.

Demokritosçu uzayı yeniden canlandıran Newton, konuyu uzayın Tanrı'nın *duyu merkezi* olduğunu söyleyerek çözmeyi denemişti. Ama kimse Newton'ın Tanrı'nın *duyu merkezi*yle ne demek istediğini anlamamıştı, herhalde kendisi de öyle; hiç şüphesiz, *duyu merkezi* olsun olmasın, etkili güzel anlatımlar için kullanmak dışında bir Tanrı'ya pek itibar etmeyen Einstein için bu açıklama hiç de ikna edici değildi.

Bize Newtoncı uzay fikri tanıdık gelir; ama bir zamanlar dünyanın yuvarlak olduğu düşüncesi de başta çok insanı rahatsız etmişti. Newton, Demokritosçu uzay kavramının canlandırılması fikrine karşı direnci kırmak için az uğraşmadı; başta kimse onu ciddiye almıyordu. Yalnızca her zaman doğru öngörüler veren denklemlerinin olağanüstü etkililiği eleştirmenleri susturmuştu. Ama felsefecilerin Newtoncı uzay kavramının akla yatkınlığı konusundaki kuşkuları sürüyordu, felsefecileri severek okuyan Einstein da bunun farkındaydı. Newtoncı uzay kavramının kavramsal zorlukları konusu üzerinde ısrarla duran felsefecilerden biri, Einstein'ın itirazsız kabul ettiği gibi onu etkilemiş olan ve atomlara inanmayan Ernst Mach'tı. Bir konuda uzak görüşlü olabilen birinin başka bir konuda ne kadar dar görüşlü olabileceğinin güzel bir örneği...

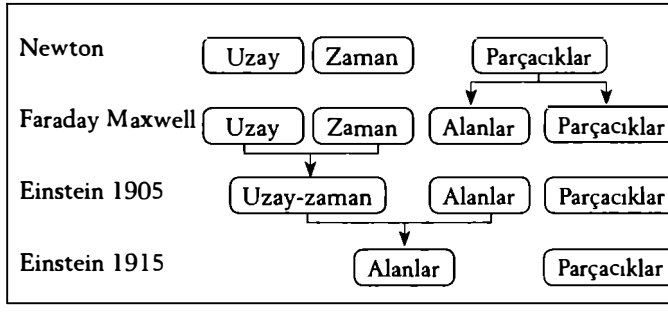
1. Simplicius, *Aristotelis Physica*, 28, 15.

Einstein böylece bir değil, iki problem ele alır. İlki: Kütle çekimi alanı nasıl tanımlanır? İkincisi: Newton uzayı nedir?

Einstein'ın insanlığın düşünce tarihindeki en parlaklarından biri olan dâhice fikri ortaya çıkar: Kütle çekimi alanı, ya bize bu kadar gizemli görünen Newton uzayının kendisiyse? Newton uzayı ya kütle çekimi alanından başka bir şey değilse?

Basit, çok güzel ve göz kamaştırıcı bu fikir genel görelilik kuramıdır.

Dünya, uzay + parçacıklar + elektromanyetik alan + kütle çekimi alanından oluşmaz. Dünya parçacıklar ve alanlardan oluşur, o kadar; uzayı fazladan bir öğe olarak hesaba katmak gerekmez. Newton uzayı kütle çekimi alanıdır. Ya da tersi, aynı biçimde kütle çekimi alanı da uzayın ta kendisidir (resim 3.4).

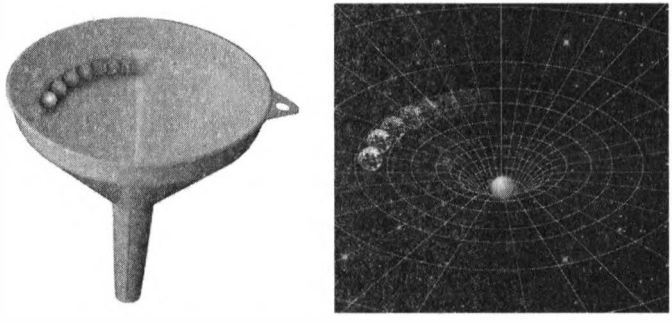


Resim 3.4. Evren nelerden oluşur?

Bununla birlikte, düz ve sabit olan Newton uzayından farklı olarak bir alan olan kütle çekimi alanı, Maxwell alanı ve Faraday çizgileri gibi hareket eden, dalgalanan ve denklemlerle açıklanabilen bir şeydir.

Bu, dünyanın çok etkileyici ölçüde basitleştirilmesi-

dir. Uzay artık maddeden farklı bir şey değildir. Dünyanın "maddi" unsurlarından biridir, elektromanyetik alanın kardeşidir. Dalgalanan, eğrilen, kıvrılan, bükülen bir olgudur. Kaskatı ve görünmez bir yapı içinde bulunmuyoruz: Esnek bir yumuşakçanın içine gömülüyüz. Güneş, çevresindeki uzayı büker, dünya da onun etrafında, gizemli bir kuvvet tarafından çekildiği için değil, eğrilen bir uzayda bir doğru üzerinde hızla yol aldığı için döner. Tıpkı bir huni içinde dönen bir misket gibi: Huninin merkezinden kaynaklanan gizemli "kuvvetler" yoktur, misketin dönmesini sağlayan huninin çeperinin eğri olmasıdır. Uzay da eğri olduğu için gezegenler güneş etrafında döner, cisimler yere düşer (resim 3.5).



Resim 3.5. Dünya, Güneş'in etrafındaki uzay-zaman eğri olduğu için Güneş'in çevresinde döner. Bir huninin eğri çeperinde dönen misket gibi...

Biraz daha kesin bir ifadeyle söylemek gerekirse, eğrilen uzay değildir, on yıl öncesinde Einstein'ın bir peş peşe gelen zamanlar dizisi değil, bütünlüklü bir yapı olduğunu gösterdiği uzay-zamandır.

Düşünce budur. Einstein'ın tek sorunu bunu somutlaştıracak denklemleri bulmaktır. Uzay-zamanın bu eğriliği nasıl tanımlanabilir?

19. yüzyılın en büyük matematikçisi, "matematikçilerin prensi" Carl Friedrich Gauss, tepeler gibi iki boyutlu eğrilerin ya da Resim 3.6'daki gibi yüzeylerin alanlarını tanımlamak için gerekli matematik hakkında makaleler yazmıştı.



Resim 3.6. (İki boyutlu) eğri bir yüzey.

Sonra da yetenekli bir öğrencisinden bunları üç ve daha çok boyutlu eğri uzaylara uyarlamasını istemişti. Öğrencisi Bernhard Riemann tamamen işe yaramaz türden görünen, çok ağır bir doktora tezi yazmıştı. Tezin vardığı sonuca göre eğri bir uzayın özellikleri, bugün Riemann eğriliği denen ve simgesi R_{ab} olan bir matematiksel nesne yardımıyla elde edilebilir. Ovalar, tepeler ve dağların olduğu bir görünüm düşünürseniz, yerin R_{ab} cinsinden eğrilik değeri, "eğriliği olmayan" düz ovalarda sıfır, vadiler ile tepelerin olduğu yerde sıfırdan farklı, dağların zirvelerinde, yani yerin en az düz olduğu yerde en yüksek olur. Riemann'ın tezinde üç ve dört boyutlu uzaylar da aynı yöntemle tanımlanır.

Einstein, Riemann matematiğini kendisinden daha iyi anlayan arkadaşlarına açıklatarak, büyük zorlukla öğrenir ve uzay-zamanın Riemann eğriliği R_{ab}'nin maddenin enerjisiyle orantılı olduğunu gösteren bir denklem yazar. Yani: Uzay-zaman maddenin yoğun olduğu yerde daha çok eğrilir. Hepsi bu kadar. Denklem yarım satır uzunluğundadır, başka bir şey yoktur. Yalnızca bir görüş ve bir denklem...

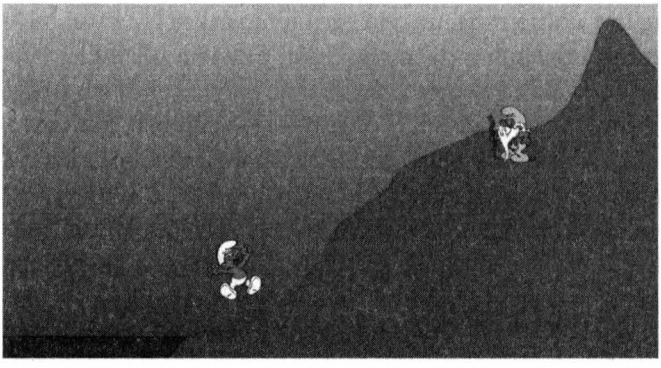
Bununla birlikte bu denklemin içinde göz kamaştırıcı bir evren keşfedilir. Bu kuramın büyülü zenginliği de gözler önüne serilir. Bir delinin hezeyanları gibi görünen bir dizi hayalî öngörü... 1980'lerin başında bile neredeyse kimse bu inanılmaz öngörülerin önemli bir bölümünü tam anlamıyla ciddiye almıyordu. Ama birbiri ardına hepsi deneylerle kanıtlandı. Birkaçına göz atalım.

İlk olarak, Einstein Güneş gibi bir kütlenin, çevresindeki uzayın eğriliği üzerinde, bu eğriliğin de gezegenlerin hareketi üzerinde yaptığı etkileri yeniden hesaplar. Gezegenlerin Kepler ve Newton denklemleriyle öngörülen hareketlerini tekrar elde eder ama tam olarak değil: Güneş'in yakınlarında, uzayın eğriliğinin etkisi Newton kuvvetinin etkisinden daha güçlüdür. Einstein özellikle, Güneş'e en yakın gezegen olan ve dolayısıyla kendi kuramıyla Newton'ın kuramının öngörüleri arasındaki tutarsızlığın en yüksek olduğu Merkür'ün hareketini hesaplar ve bir fark bulur: Merkür yörüngesinin Güneş'e en yakın olduğu nokta her yıl Newton'ın öngördüğünden 0,43 saniyelik bir yay farkıyla yer değiştirir. Bu, çok küçük bir farktır ama astronomların daha sonra ölçebileceği ölçeklerdedir; öngörüler de gözlemlerle karşılaştırıldığında karar kesindir: Merkür, Newton kuvveti tarafından değil, genel görelilik tarafından öngörülen bir rota izler. Tanrıların hızlı habercisi, ayakları kanatlı tanrı [Mercurius] Newton'a değil, Einstein'a hak verir.

Einstein'ın denklemi sonra, bir yıldızın çok yakınında uzayın nasıl eğrildiğini tarif eder. Bu eğrilik nedeniyle ışık bükülür. Einstein güneşin ışığı büktüğünü öngörür. 1919'da bunun ölçümü yapılır ve ışığın tam olarak öngörüldüğü kadar saptığı ölçülür.

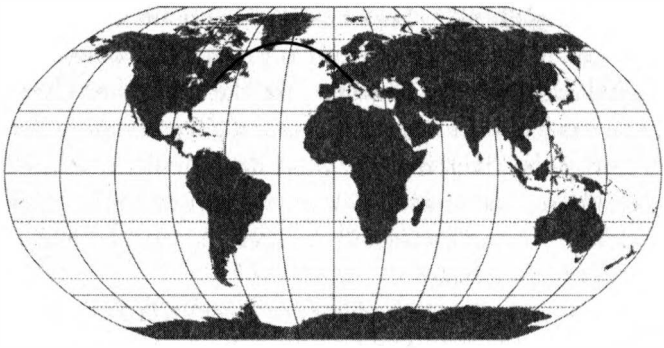
Ama eğrilen yalnızca uzay değildir, zaman da eğrilir. Einstein yeryüzünde daha yüksekte, daha alçaktaki bir noktadan daha hızlı geçtiğini öngörür. Bu da ölçülür ve doğru çıkar. Bugün pek çok laboratuvarda çok hassas sa-

atlerimiz var ve aralarında birkaç santimetrelik bir yükseklik farkı olan noktalarda bile bu son derece garip etkiyi ölçebiliyoruz. Biri yere, biri masanın üzerine, iki saat koyun; yerdeki saat, masadaki saatten saha az süre geçtiğini gösterir. Neden? Çünkü zaman evrensel ve sabit bir şey değildir, yakındaki kütlelere göre uzar veya kısalır: Tüm kütleler gibi dünya da, kendisine yakın noktalarda uzay-zamanı eğrilterek zamanı yavaşlatır. Biri dağda, diğeri deniz kenarında yaşayan ikizler, bir dahaki karşılaşmalarında, birbirine göre az da olsa farklı oranda yaşlandıklarını görür (Resim 3.7).



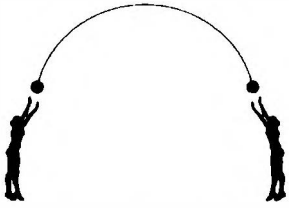
Resim 3.7. İkiz kardeşlerden biri zamanını deniz kenarında, diğeri dağda geçirir. Buluştuklarında dağda yaşayan ikiz daha yaşlıdır. Bu, zamanın kütle çekiminin etkisiyle uzamasıdır.

Bu etki, nesnelerin neden düştüğüne ilişkin yeni bir açıklama getirme olanağı verir. Bir dünya haritası üzerinde Roma'dan New York'a giden bir uçağın rotasına bakarsanız, bunun doğru bir çizgi olarak görünmediğini görürsünüz: Uçak Kuzey Kutbu'na doğru bir yay çizer. Neden? Dünya yuvarlak olduğu için daha kuzeyden gitmek, aynı enlem üzerinde gitmekten daha kısadır. Daha kuzeyde boylamlar arası uzaklık daha kısadır, bu nedenle "zaman kazanmak" için kuzeye çıkmak işe yarar (Resim 3.8).



Resim 3.8. Daha kuzeyde iki boylam arasındaki uzaklık daha azdır.

Yukarı doğru atılan bir top da aynı nedenle aşağıya geri döner: Daha yukarıda "zaman kazanır" çünkü daha yukarıda zaman farklı bir hızla akar. Her iki örnekte de, uçak ve top eğri bir uzayda (ya da uzay-zamanda) "doğrusal" bir yol izler (Resim 3.9).[1]



Resim 3.9. Daha yüksekte zaman daha hızlı geçer.

1. Uçak ve top eğri bir yüzeyde jeodezik bir rota [eğri bir yüzeyde iki nokta arasındaki en kısa yolu] izler. Top örneğindeki rota geometrisi, $\Phi(x)$'in Newton potansiyeli olduğu $ds^2 = (1 - 2\Phi(x))\, dt^2 - dx^2$ denklemiyle verilir. Bu nedenle kütle çekimi alanının etkisi sonuçta zamanın genleşmesine indirgenir. (Kuramı bilen okuyucu ilginç +/- değişimini fark edecektir: Fiziksel rota, özel görelilik çerçevesinde her zaman olduğu gibi, zamanı en yüksek değere çıkaran rotadır.)

Bununla birlikte kuramın öngörüleri, bu küçük etkilerin çok ötesine geçer. Bütün yıldızlar, yakıt olarak kullandıkları hidrojenin tümünü yaktıklarında söner. Geriye kalan madde, ısının yarattığı basınca dayanamaz ve kendi ağırlığıyla çöker. Bu olay yeterince büyük bir yıldızda gerçekleştiğinde, madde çok büyük ölçüde ezilir, çevresindeki uzay da kendi içine çökecek ölçüde eğrilir. Kara delikler böyle oluşur.

Ben üniversitedeyken kara delikler gizemli bir kuramın pek de inanılmayan sonuçları olarak görülürdü. Bugün gökyüzünde yüzlercesi gözlemleniyor ve astronomlarca ayrıntılı biçimde inceleniyor. Bu kara deliklerin Güneş'imizden yaklaşık bir milyon kez daha büyük kütleye sahip olan bir tanesi gökadamızın merkezinde yer alıyor, biz de çevresinde dönen yıldızları ve çok yakınından geçtikleri için kütle çekimi kuvvetinin etkisiyle parçalanan bazılarının kalıntılarını gözlemleyebiliyoruz.

Dahası, kuram uzayın deniz yüzeyi gibi dalgalandığını, bu dalgalanmanın da televizyon seyretmemizi sağlayan elektromanyetik dalgalara benzediğini öngörür. Bu "kütle çekimi dalgaları"nın etkileri gökyüzünde, enerji kaybederek bu dalgaları yayan, bu nedenle de yavaş yavaş birbirine yaklaşan ikiz yıldızlarda gözlenir.[1] Gözlemlenen etkiler, kuramının öngörüleriyle inanılmaz bir hassasiyetle örtüşür: Yüz milyarda birlik bir hassasiyetle. [İki kara deliğin birbirine düşmekte olmasından kaynaklanan kütle çekimi dalgaları 2015 sonlarında Dünya üzerindeki bir anten yardımıyla ölçülmüştür; sonuçlar 2016 başında açıklandığında tüm dünya yine şaşkınlıktan dona-

1. PSR B1913+16 ikiz sistemine ait gözlemler, birbiri çevresinde dönen bu iki yıldızın kütle çekimi dalgaları yaydıklarını gösterir. Bu gözlem Russell Hulse ve Joseph Taylor'a 1993'te Nobel Ödülü getirmiştir.

kalmıştır. Einstein'ın çılgınca öngörülerinden biri daha kesinlikle doğru çıkmıştır.][1]

Buna bir de, evrendeki uzayın genişlemekte olduğu ve bunun sonucu olarak da, evrenin 14 milyar yıl önce kozmik bir patlamadan doğduğu öngörüsü eklenir; doğrulanmış olan bu öngörüden de biraz aşağıda söz edeceğim.

Tüm bu çok sayıdaki karmaşık olgu –ışık ışınlarının bükülmesi, Newton kuvvetinin değişmesi, saatlerin yavaşlaması, kara delikler, kütle çekimi dalgaları, evrenin genişlemesi, Büyük Patlama vb.– uzayın hareketsiz ve cansız bir kutu olmadığı, içerdiği maddelerin ve alanlarınki gibi bir dinamiği, bir "fiziği" olduğu anlaşıldıktan sonra ortaya çıkmıştır. "Uzay"ının böyle müthiş bir geleceğinin olacağını bilseydi herhalde Demokritos da keyifle gülümserdi. Onun buna "olmayan" (*δὲν* [*den*]) dediği doğrudur. Ama onun "olmak" derken kastettiği maddeydi; onun için "olmayan"ın, boşluğun, "belirli bir fiziği (*φύσιν* [*füsin*]) ve kendi varlığı vardır."[2]

Faraday'in sunduğu alan kavramı, matematiğin müthiş gücü veya Gauss ve Riemann'ın geometrisi olmadan, bu "belirli fizik" çok muğlak kalır. Yeni kavramsal araçlar ve matematikle donanmış olan Einstein bunu tanımlayan denklemler yazar ve Demokritosçu boşluğun "belirli fiziği" içinde, evrenlerin patladığı, uzayın çıkışı olmayan deliklere gömüldüğü, zamanın bir gezegene yaklaşıldıkça yavaşladığı, yıldızlararası uzay arasındaki sonsuzluğun denizin yüzeyi gibi dalgalandığı, renkli ve şaşırtıcı bir dünya bulur.

1. Bu tümce, kitabın 2016'da basılan İngilizce çevirisine eklenmiştir. Carlo Rovelli, *Reality Is Not What It Seems*, çev. Simon Carnell, E. Segre, Penguin Random House, Londra, 2016, s. 72. (Ç.N.)

2. Plutarkhos, *Adeversus Colotem*, 4, 1108 ve müteakip sayfalar; "*φύσιν*" sözcüğü "bir şeyin doğası" anlamına da gelen "doğa" demektir.

Bunların hepsi kulağa ilk anda "bir budalanın bir çılgınlık kriziyle anlattığı masallar" gibi gelebilir. Oysa bu, bulanık gündelik yavanlığımızdan biraz daha az örtük gerçekliğe bir göz atıştır. Düşlerle aynı malzemeden yapılmışa benzeyen ama yine de her günkü muğlak düşlerimizden daha gerçek olan bir gerçekliktir. Üstelik yalnızca çok basit bir sezginin sonucudur: Uzay-zaman ve kütle çekimi alanı aynı şeydir. Bazı okuyucularım çözemeyecek olsa da buraya alıntılamaktan kendimi alamadığım basitlikte bir denklemle ifade edilir. En azından muhteşem basitliğini görsünler isterim:

$$R_{ab} - \frac{1}{2}Rg_{ab} + \Lambda g_{ab} = 8\pi G T_{ab}$$

1915'te denklem daha da basitti çünkü henüz, daha sonra söz edeceğim gibi, Einstein'ın iki yıl sonra eklediği $+\Lambda g_{ab}$ terimi yoktu. R_{ab}, Riemann eğriliğine bağlıdır ve Rg_{ab}'la birlikte uzay-zamanın eğriliğini belirler; T_{ab} maddenin enerjisini gösterir; G, Newton'ın bulduğu ve kütle çekimi kuvvetini belirleyen sabittir.

Hepsi bu. Bir görüş, bir denklem, işte o kadar.

Matematik mi fizik mi?

Fizikle devam etmeden önce, matematikle ilgili bazı gözlemler için biraz ara vermek isterim. Einstein büyük bir matematikçi değildi. Hatta matematik ona zor gelirdi. Bunu kendi de yazmıştı. 1943'te ona matematikten zorlandığını yazan 9 yaşındaki Barbara adlı bir kız çocuğuna şöyle yanıt vermişti: "Matematikte çektiğin sıkıntılardan endişeye kapılma; seni temin ederim ki benimkiler hâlâ seninkilerden büyük."[1] Kulağa şaka gibi geliyor

1. Alice Calaprice, *Sevgili Einstein*, çev. İrem Gültan, Affectum Libris Yayınevi, İstanbul, 2015, s. 116. (Ç.N.)

ama Einstein şaka yapmıyordu. Matematik konusunda başkalarından yardım alırdı: Marcel Grossmann gibi sabırlı sınıf arkadaşlarına ve dostlarına anlattırırdı. Göz kamaştırıcı olan, onun fizik konusundaki sezgisiydi.

Kuramını tamamlayacağı yıl kendini tarihin en büyük matematikçilerinden biri olan David Hilbert'le rekabet ederken buldu. Einstein, Göttingen'de, Hilbert'in de dinleyiciler arasında olduğu bir konferans vermişti. Hilbert, Einstein'ın önemli bir buluş yapmak üzere olduğunu hemen anlamıştı; fikri kavramış, Einstein'ı yakalamak ve kuramın doğru denklemlerini ilk yazan kişi olmak için işe koyulmuştu. İki dev arasındaki yarışın son düzlüğü, sonucun yalnızca birkaç gün farkla belli olduğu nefes kesici bir finişe sahne oldu: Einstein, Berlin'de haftada bir, Hilbert'in sonuca ondan önce ulaşacağından endişelenerek her defasında farklı denklemler sunduğu halka açık konferanslar veriyordu. Denklemler hep hatalı çıkıyordu. Sonunda kıl payı farkla kazanan Einstein oldu, doğru denklemleri bulan o olmuştu.

Hilbert de aynı denklemler üzerinde çalışmasına karşın, büyük bir kibarlık örneği göstererek Einstein'ın zaferini hiç tartışmadı. Hatta Einstein ile matematik arasındaki veya belki de genelde fizik bilimi ile matematik arasındaki zor ilişkiyi mükemmel biçimde ifade eden kibar ve güzel bir tümce yazdı. Kuram için gerekli olan matematik dört boyutlu geometriydi ve Hilbert şöyle yazmıştı: "Göttingen[1] sokaklarındaki herhangi bir çocuk dört boyutlu geometriyi Einstein'dan daha iyi anlar. Buna karşın çalışmayı sonuca ulaştıran matematikçiler değil, Einstein olmuştur."

Neden? Çünkü Einstein'ın, dünyanın nasıl olduğuna ilişkin benzersiz bir *hayal gücü* ve onu zihninde "gör-

1. Hilbert'in çalıştığı Göttingen, zamanının en önemli geometri okulunun merkeziydi.

me" yetisi vardı. Onun için denklemler sonra gelirdi; denklemler gerçekliği hayal etme gücünü somutlaştırmaya yarayan bir dildi. Einstein için genel görelilik kuramı bir denklemler dizisi değildir, dünyanın, daha sonra güçlükle denklemlere aktarılmış zihinsel bir imgesidir.

Kuramın anafikri, basit olarak, uzay-zamanın eğrilmesidir. Fiziksel uzay-zaman yalnızca iki boyutlu olsaydı ve biz de bir düzlemde yaşasaydık, "fiziksel uzayın bükülmesi"nin ne demek olduğunu kolayca hayal edebilirdik. Bu, içinde yaşadığımız fiziksel uzayın düz bir masa gibi olmadığı, dağları, vadileri olan bir yüzey olduğu anlamına gelirdi. Ama içinde yaşadığımız dünya iki değil, üç boyutludur. Hatta zaman da katılırsa dört boyutludur. Dört boyutlu eğri bir uzay hayal etmek karmaşıktır çünkü ortak içgüdülerimizde fiziksel uzay-zamanın içinde kıvrılabileceği "daha büyük bir uzay"a ilişkin doğal bir sezgi yoktur. Ama Einstein'ın hayal gücü, sıkıştırılabilen, uzatılabilen, eğrilebilen ve çevremizdeki uzay-zamanı oluşturan, içine gömülü olduğumuz bu kozmik denizanasını kolayca sezebilir. Einstein'ın kuramı ortaya koyan ilk insan olması bu görüş açıklığı sayesinde oldu.

Sonunda Hilbert ile Einstein arasında biraz gerilim yaşandı. Einstein'ın (önceki alt bölümün sonunda yer alan) denklemini kamuoyuna sunmasından birkaç gün önce, Hilbert bir dergiye aynı sonuca kıl payı yaklaştığını gösteren bir makale göndermişti, bilim tarihçilerinin kafaları bugün bile bu iki fen bilimi devinin katkılarını değerlendirmek konusunda karışıktır. Einstein'ın, kendisinden daha büyük ve daha güçlü olan Hilbert'in kuramın oluşturulmasında kendine fazla pay çıkarmasından endişelendiği zamanlarda, ikisi arasında bir soğukluk yaşandı. Ama Hilbert genel görelilik kuramını ilk bulanın kendisi olduğunu hiçbir zaman öne sürmeyecekti, ilk olma tartışmalarının ruhları sıkça –oldukça sıklıkla– zehirlediği bilim dün-

yası gibi bir dünyada, ikisi aralarındaki her türlü gerginliğe son vererek çok güzel bir bilgelik dersi verdi: Einstein, Hilbert'e, süreci kendisinin derinden nasıl algıladığına ilişkin duygularını özetlediği çok güzel bir mektup yazdı:

> Aramızda, kaynağını artık araştırmak istemediğim, tatsızlık gibi bir şeyin doğduğu bir zaman oldu. Bunun üzerimde yarattığı hoşnutsuzlukla mücadele ettim ve onu tam anlamıyla yendim. Sizi artık gölgelenemez bir dostlukla düşünüyorum, sizden de benim için aynını yapmanızı diliyorum. Bu dünyanın rezilliklerinin dışında bir yol bulabilmiş bizim gibi iki dostun, birbirinde sevinç kaynağı olmak dışında bir şey bulamaması çok yazık olur.[1]

Evren

Denklemlerini yayımladıktan iki yıl sonra, Einstein onları olabilecek en büyük ölçekte düşünerek evren uzayını tanımlamak için kullanmayı denemeye karar verdi. Bu konuda da harika fikirleri vardı.

İnsanlar binlerce yıl boyunca evrenin sonsuz mu sınırlı mı olduğunu merak etti. Her iki hipotez de karmaşıktır. Sonsuz bir evren çok akla yatkın görünmez: Örneğin sonsuzsa, bir yerlerde mutlaka aynı kitabı okuyan senin gibi bir okuyucu vardır (sonsuz gerçekten çok büyüktür ve onu birbirlerinden farklı şeylerle doldurmak için yeteri kadar atom birleşimi yoktur). Hatta sana eş sonsuz sayıda bir okuyucu grubu vardır. Ama bir sınırı varsa, bu sınır nasıl bir şeydir? Diğer tarafta hiçbir şey yoksa sınırın ne anlamı olur? Pythagorasçı felsefeci Arkhytas daha MÖ 6. yüzyılda, Taranto'da şöyle yazmıştı:

1. Albrecht Fölsing, *Einstein: A Biography* içinde yer alan mektup, Penguin, Londra, 1998, s. 337.

Kendimi göğün en üst katında, yani sabit yıldızların olduğu yerde bulsam, elimi ya da bir sopayı bunun ötesine uzatabilir miyim, uzatamaz mıyım? Uzatamayacak olmam mantıksızdır; ama eğer uzatırsam, nesne ya da uzay olan bir öte var olacaktır. Adım adım sonuna kadar aynı biçimde giderek ve aynı soruyu sorarak her zaman bu böyle devam edecektir; her zaman da sopanın uzatılabileceği başka bir şey olacaktır.[1]

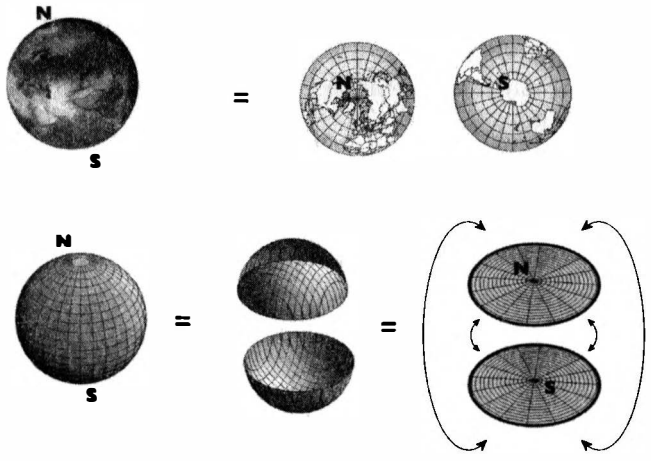
O zamandan beri, sonsuz bir uzayın saçmalığı ile evrenin bir sınırı olması saçmalığı seçeneklerinin, bir çözümü mümkün kılamayacakları düşünülüyordu.

Oysa, diye akıl yürütür Einstein, aslında ne yardan ne serden geçmemiz gerekir: Evren aynı zamanda hem sonlu hem sınırsız olabilir, tıpkı sonsuz değil de sonlu olan ama kendisini sınırlayan bir kenarı olmayan yeryüzü gibi. Bu, doğal olarak, eğri bir şey söz konusuysa gerçekleşir (yeryüzü eğridir), genel görelilik kuramının uzayı da tam da bu anlamda eğridir. Sonuç olarak belki de evrenimiz sonludur ama bir sınırı yoktur.

Yeryüzünde hep düz bir çizgide yürümeye koyulursam sonsuza dek yürümez, başlangıç noktama geri dönerim. Evrenimiz de böyle olabilir: Bir uzay gemisiyle hep aynı doğrultuda gidersem, evrende bir tur atıp Dünya'ya geri dönerim. Buna benzer sonlu ama bir sınırı olmayan üç boyutlu bir uzaya "3-küre" [dört boyutlu uzayın üç boyutlu "yüzeyi" olan dört boyutlu hiperküre] denir.

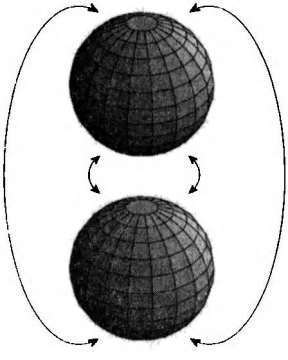
3-kürenin nasıl bir şey olduğunu anlamak için olağan küreye, bir topun ya da dünyanın yüzeyine bakalım. Dünya'nın yüzeylerini bir düzlemde temsil etmek için genellikle kıtalar çizilirken yapıldığı gibi iki yuvarlak çizilir (Resim 3.10).

1. Francesco Paolo De Ceglia (ed.), *Scienziati di Puglia: Secoli V a.C.-XXI, Parte 3*, Adda, Bari 2007, s. 18.

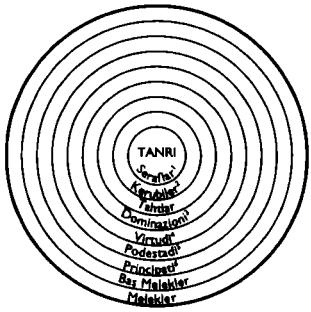


Resim 3.10. Bir küre, kenarlarından yapıştırılmış iki daire olarak temsil edilebilir.

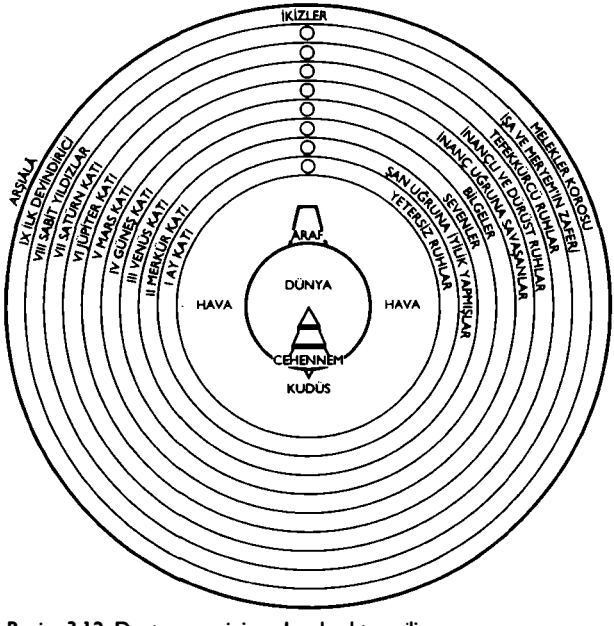
Güney Yarımküre'deki birinin, kendi yarımküresinden çıkmak üzere hangi yöne giderse gitsin, kendisini Kuzey Yarımküre'de bulması nedeniyle, bir anlamda Kuzey Yarımküre'yle "kuşatılmış" olduğuna dikkat edin. Ama elbette tersi de doğrudur. Her bir yarımküre diğerinin çevresini "kuşatırken" aynı zamanda onun tarafından "kuşatılmış" durumdadır. Bir 3-küre aynı biçimde temsil edilebilir: Kenarlarından yapıştırılmış iki top gibi (Resim 3.11).



Resim 3.11. Bir 3-küre kenarlarından yapıştırılmış iki küre olarak temsil edilebilir.



MELEKLER HİYERARŞİSİ



Resim 3.12. Dante evreninin geleneksel temsili.

1. Yüksek dereceli melekler. (Y.N.)
2. Büyük melekler. (Y.N.)
3. Egemenler. (Y.N.)
4. Erdemliler. (Y.N.)
5. Güçlüler. (Y.N.)
6. Prenslikler. (Y.N.)

Bir toptan çıkıldığında diğerine girilir (haritalandırma işlemindeki iki yuvarlaktan birinden çıkıldığında diğerine girilmesi gibi), bu nedenle topların her biri diğer topun çevresini "kuşatırken" onun tarafından kuşatılır. Einstein'ın fikri, sonuç olarak, uzayın bir 3-küre olabileceğidir: Sonlu bir hacmi olan (iki topun hacimlerinin toplamı) ama sınırı olmayan bir şey...[1]

3-küre, Einstein'ın 1917 tarihli çalışmasıyla evrenin sınırı problemine önerdiği çözümdür. Bu çalışma modern kozmolojinin, çok büyük ölçekte gözlemlenen görünen tüm evrenin araştırılmasının yolunu açmıştır. Buradan evrenin genişlediği, Büyük Patlama kuramı, evrenin doğuşu problemi vs. doğmuştur. Tüm bunlardan 8. Bölüm' de ayrıntılarıyla söz edeceğim.

Bu bölümü kapatmadan önce Einstein'ın uzayın 3-küre olduğu düşüncesine ilişkin bir gözlem daha paylaşmak isterim. Ne kadar inanılmaz görünse de, aynı fikir bambaşka bir kültür evreninden bir başka dâhinin daha aklına gelmişti: Dante Alighieri'nin. Dante "Cennet"te bize, merkezinde küre biçimli dünyanın olduğu, çevresinde gökkürelerin bulunduğu Aristoteles dünyasının izinden giden Ortaçağ dünyasına ait görkemli görüşünü sunar (Resim 3.12).

Dante, Beatrice'yle birlikte yaptığı hayalî yolculuğunda, dış küreye varana dek bu gökkürelere çıkar. Oraya vardığında altında dönen gökküreleri ve en altta, merkezde dünyanın yer aldığı evreni izler. Ama sonra biraz daha yukarı bakar ve ne görür? Devasa melek küreleriyle çevrilmiş bir ışık noktası görür, yani kendi ifadesiyle bizim evrenimizi "kuşatan" ve onun tarafından "kuşatılan" muazzam bir top! Dante'nin "Cennet"in XXVII. Kanto'sundaki dizeleri şöyledir: "[...] ilmek gibi sararlar burayı onun

1. Bildiğimiz küre, R^3'te $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ denklemiyle ifade edilen noktalar grubudur. 3-küreyse R^4'te $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = 1$ denklemiyle ifade edilir.

ötekileri sarması gibi,"[1] yine son "çember"le ilgili olarak XXX. Kanto'da: "[...] içerdiğince içerildiği izlenimi veren," der.[2] Işıklı nokta ve melek küreleri evreni kuşatır ve evren tarafından kuşatılır! Bu, 3-kürenin birebir tanımıdır.

Dante evreninin okul kitaplarında yer alan temsilleri (önceki resimdeki gibi) genellikle melek kürelerini gök-kürelerden ayrı gösterir. Ama Dante iki topun birbirini "kuşatıp" birbiri tarafından "kuşatıldığını" söyler. Bir başka ifadeyle Dante'nin 3-küre hakkında açık bir geometrik sezgisi vardır.[3]

"Cennet"in evreni bir 3-küre gibi tasvir ettiğini ilk fark eden, 1979'da Amerikalı matematikçi Mark Peterson oldu. Dante araştırmacılarının genellikle 3-küre kavramını yakından bilmemesi doğaldır. Bugün her fizikçi ve matematikçi Dante'nin evren tanımındaki 3-küreyi kolaylıkla tanıyabilir.

Kulağa bu denli modern gelen böyle bir fikre Dante nasıl sahip olmuş olabilir? Bence bu, her şeyden önce büyük şairimizin derin zekâsı sayesinde mümkün oldu. *İlahi Komedya*'nın büyüleyiciliğinin en önemli kaynaklarından biri, onun bu derin zekâsıdır. Ama bu biraz da Dante'nin, evrenin sonsuz uzayının Eukleides geometrisinin düz uzayı olduğuna hepimizi ikna eden Newton'dan önce yazmış olması sayesinde oldu. Dante, Newtoncı eğitimimizin neden olduğu sezgi kısıtlamalarından bağımsızdı.

Dante'nin bilim kültürü temelde öğretmeni ve yol göstericisi Brunetto Latini'nin öğretilerine dayanıyordu;

1. Dante, *İlahi Komedya*, "Cennet", XXVII. Kanto, dize 112-113, çev. Rekin Teksoy, Oğlak Yayınları, İstanbul, 1988, s. 756. (Ç.N.)

2. Agy., "Cennet", XXX. Kanto, dize 10-11, s. 775. (Ç.N.)

3. Bu görüşe, Dante'nin "küreler"den değil "daireler"den söz ettiğini söyleyerek karşı çıkanlar vardır. Ama itiraz çok yerinde değildir; Brunetto Latini kitabında şöyle yazar: "Bir yumurta kabuğu gibi bir daire." Öğretmeni için olduğu gibi Dante için de "daire", küreleri de içine alacak biçimde yuvarlak olan her şeyi işaret eder.

ondan bize, hoş bir eski Fransızca-İtalyanca karışımı dille yazılmış, Ortaçağ bilgi dağarcığının bir tür ansiklopedisi olan keyifli yapıtı *Li Livres dou Trésor* [Hazine Kitapları] kaldı. Brunetto *Li Livres dou Tresor*'da dünyanın küresel olduğunu ayrıntılı olarak anlatır. Ama bunu –günümüz okuyucuları için ilginç bir biçimde– "dışsal" değil, "içsel" geometri çerçevesinde yapar. Yani dışarıdan bakan birinin baktığında göreceği gibi, "Dünya bir portakal gibidir," diye yazmaz; bunun yerine, "Yeterince uzun bir zaman dörtnala giden iki atlı, öbür tarafta karşılaşır," diye yazar. "Yürümeye başlayan ve hep yürüyen biri, denizler tarafından durdurulmazsa, yeryüzünde yola çıktığı yere geri döner," vs. yazar. Yani dışsal değil, hep içsel bir bakış açısı ortaya koyar. Dünya'ya dışarıdan bakan birinin değil, onun üzerinde yürüyen bir insanın bakış açısını benimser. İlk bakışta bu, Dünya'nın bir top gibi olduğunu açıklamanın gereksiz biçimde karmaşık bir yolu gibi gelebilir. Brunetto neden basitçe Dünya'nın bir portakal gibi olduğunu söylemez? Bununla birlikte üzerinde düşünüldüğünde, bir karınca bir portakal üzerinde yürürse, bir noktada kendisini baş aşağı bulur ve düşmemek için ayaklarındaki vantuzlarla portakala iyice yapışması gerekir. Halbuki yeryüzünde yürüyen bir yolcu kendini hiçbir zaman baş aşağı durumda bulmaz, hiçbir zaman da Dünya'ya bağlı kalmak için vantuzlara ihtiyaç duymaz. Brunetto'nun açıklamaları sonuçta o kadar da aptalca değildir.

Şimdi düşünün bir: Öğretmeninden gezegenimizin yüzeyinin, hep aynı doğrultuda yürüyünce aynı noktaya dönüldüğü biçimde olduğunu öğrenen birinin bir adım öteye gidip tüm evrenin yapısının, hep aynı doğrultuda uçarak aynı noktaya geri dönüleceğini düşünmesi o kadar da zor değildir: 3-küre "zıt yönlere giden iki kanatlı atlının öbür tarafta karşılaşacağı" bir uzaydır. Daha teknik terimlerle ifade edilecek olursa: Dünya'nın, Brunetto Latini'nin *Li Livres dou Tresor*'da sunduğu geometrik ola-

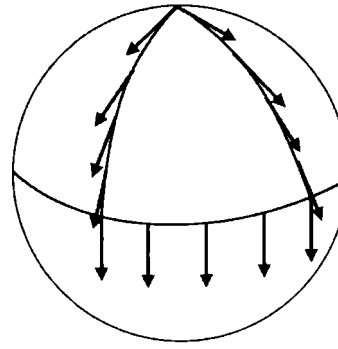
rak dışsal (dışarıdan görüldüğü gibi) değil, içsel (içeriden görüldüğü gibi) olan geometri tanımı, "küre" kavramını iki boyutludan üç boyutluya doğru genelleştirmek için kesinlikle uygun bir tanımdır. Bir 3-küreyi tanımlamanın en iyi yöntemi onu "dışarıdan görmeye" çalışmak yerine, içinde hareket edildiğinde ne olduğunu tanımlamaktır.

Şimdiye dek Gauss'un, eğrilerin yüzeylerini tanımlamak için tasarladığı, Riemann'ın da üç ve daha çok boyutlu uzayları tanımlamak için genelleştirdiği yöntemi açıklamak istemedim. Ama artık söyleyebilirim: Aslında bu fikir Brunetto Latini'ye aittir. Bu, eğri bir uzayı, "dışarıdan bakarak" yani bir başka uzay içine nasıl eğrildiğini söylemek yerine, yalnızca bu uzay *içinde* kalarak hareket eden ve ölçüm yapan birinin ölçebilecekleri çerçevesinde tanımlama düşüncesidir. Örneğin, sıradan bir kürenin yüzeyi –Brunetto'nun gözlemlediği gibi– tüm "düz" çizgilerin aynı uzaklığı (Ekvator'un uzunluğu) kat ettikten sonra çıkış noktalarına geri döndüğü bir yüzeydir. Bir 3-küre bu özelliklere sahip üç boyutlu bir uzaydır.

Einstein uzay-zamanı, "daha büyük bir başka uzay içine" kıvrılması anlamında eğrilmiş değildir. İçsel geometrisinin, yani –dışarıdan bakmaya gerek kalmadan uzayın *içinde* kalarak gözlemlenebilen– noktaları arasındaki uzaklıklar ağı olma durumunun düz bir uzayınkiyle aynı olmaması anlamında eğridir. Pythagoras teoreminin, yeryüzündeki gibi geçerli olmadığı bir uzaydır.[1]

Bir uzayın eğriliğini dışarıdan bakmadan, onun içinde kalarak anlamanın, aşağıda anlatılacaklar için önemli olan bir yöntemi vardır. Kuzey Kutbu'nda olduğunuzu ve elinizde ileriyi gösteren bir okla Ekvator'a kadar yürüdüğünüzü düşünün. Ekvator'a vardığınızda okun yö-

1. Kuzey Kutbu ile Ekvator üzerinde seçilecek iki uygun noktayla, üç açısı da dik açı olan bir eşkenar üçgen oluşturulabilir; bir düzlemde bunu yapmak olanaksızdır.



Resim 3.13. Eğri bir uzayda bir halka (*loop*) boyunca taşınan bir ok, başlangıç noktasına vardığında sapmış olur (paralel taşıma).

nünü değiştirmeden sola dönün. Ok bu kez sağınızda kalacak biçimde hâlâ güneyi gösterir. Ekvator boyunca doğuya doğru yürüyün, sonra oku çevirmeden tekrar kuzeye dönün, ok bu kez arkanızı gösteriyor olacaktır. Kuzey Kutbu'na geri döndüğünüzde kapalı bir döngü, halka veya ilmek –İngilizcede *loop*– yapmış olacaksınız ve ok da yola çıktığınızda gösterdiği yönü göstermiyor olacak (Resim 3.13). Okun bir döngü boyunca edindiği dönüş açısı eğriliğin ölçüsüdür.

Eğriliği uzayda bir döngü yaparak ölçme yöntemine biraz ileride geri döneceğim. Bunlar ilmek kuramının ilmekleri olacak.

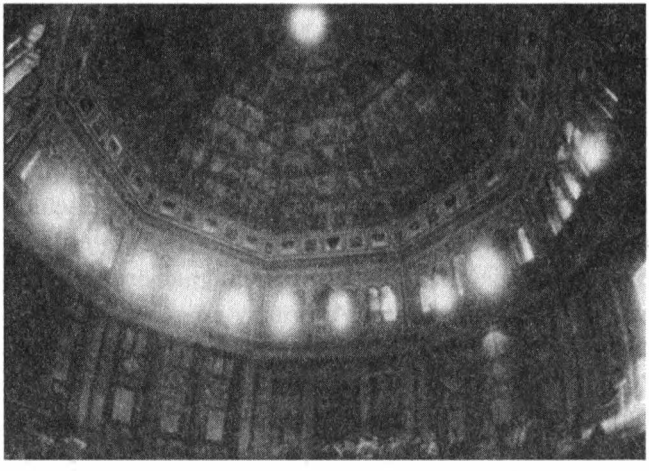
Dante, Floransa'dan 1301'de San Giovanni Vaftizhanesi'nin mozaikleri tamamlanırken ayrıldı. Cimabue'nin ustası Coppo di Marcovaldo'nun eseri olan ve cehennemi tasvir eden, (bir Ortaçağ insanı için) dehşet verici bu mozaik genellikle Dante'nin esin kaynaklarından biri olarak gösterilir (Resim 3.14).

Bu kitabı yazmaya başlamadan kısa bir süre önce, beni yazmaya ikna eden arkadaşım Emanuela Minnai'yla birlikte vaftizhaneye gittim. Vaftizhaneye girince ve yukarı bakınca, (Melekler, Başmelekler, Principati, Podestati, Virtudi, Dominazioni, Tahtlar, Kerubiler, Seraflar olmak



Resim 3.14. Coppo Marcovaldo'nun San Giovanni (Floransa) Vaftizhanesi'nde yer alan ve cehennemi tasvir eden mozaiği.

üzere her bir düzeydeki adları yazılı) dokuz melek düzeyiyle çevrili (kubbenin en üst noktasındaki kandilden kaynaklanan) bir ışık noktası görülür. "Cennet"in ikinci küresinin yapısının tamamen aynısıdır. Vaftizhanenin zemininindeki bir karınca olduğunuzu ve herhangi bir yöne doğru yürüdüğünüzü hayal ederseniz, duvara çıkmak için hangi yönü seçerseniz seçin, sonunda çatıya, meleklerle çevrili ışık noktasına ulaşacağınızı fark edebilirsiniz: Işık noktası ve melekler Vaftizhane'nin geri kalan süslemelerini kuşatır, aynı zamanda onlar tarafından kuşatılmıştır (Resim 3.15).



Resim 3.15. Floransa'daki San Giovanni Vaftizhanesi'nin içi.

13. yüzyıl sonunda her Floransa yurttaşı gibi Dante de, kentinin inşa etmekte olduğu muhteşem mimari yapıttan çok etkilenmiş olmalı. Vaftizhanenin onun için yalnızca Coppo di Marcovaldo'nun "Cehennem"iyle değil, tüm evren mimarisiyle de esin kaynağı olduğunu sanıyorum. "Cennet", dokuz melek halkası ve ışık noktasıyla birlikte, iki boyutlu bir yapıyı üç boyutluya çevirerek bu yapıyı birebir yeniden yaratır. Öğretmeni Brunetto da daha önce, Aristoteles'in küresel evrenini tasvir ettikten sonra, bunun ötesinde tanrısal mekânın olduğunu eklemiş, Ortaçağ ikonografisi de cenneti çevresinde melek küreleri olan bir Tanrı olarak hayal etmişti. Sonuçta Dante'nin yaptığı, Einstein'ın 3-küresini altı yüzyıl öncesinden öngörerek, evrenin sınırlarına ilişkin kadim problemi çözen tutarlı bir mimari bütünlük içinde, vaftizhanenin iç yapısının çağrışımlarını izleyip zaten var olan parçaları bir araya getirmekten başka bir şey değildi. Genç Einstein'ın İtalya'daki düşünsel aylaklıkları sırasında "Cennet"le karşılaşıp karşılaşmadığını ve büyük şairimizin dizginlenemez hayal gücünün, onun evrenin sonlu ama sınırsız olduğu sezgisine doğrudan etki edip etmediğini bilmiyorum. Ama doğrudan bir etki var olsa da olmasa da, bu örneğin hem büyük bilimin hem büyük şiirin benzer biçimde ileri görüşlü olduklarını ve bazen aynı sezgilere ulaşabildiklerini gösterdiğini sanıyorum. Kültürümüzün bilim ile şiiri birbirinden ayırması çok anlamsız çünkü her ikisi de dünyanın karmaşıklığını ve güzelliğini görmemizi sağlıyor.

Dante'nin 3-küresi hiç şüphesiz bir düş içindeki belli belirsiz bir sezgidir. Einstein'ın 3-küresi matematiksel bir biçim alır, Einstein da onu denklemlerine yerleştirir. Etkileri çok farklıdır. Dante duygularımızın derinliklerine dokunarak bizi derinden etkilemeyi başarır. Einstein bizi evrenimizin kaynağına taşıyan bir yol açar. Ama her

ikisi de düşünce tarihinin en güzel ve en önemli yolculuklarından biridir.

Şimdi Einstein'ın denklemine 3-küre düşüncesini eklemeyi denediği 1917'ye geri dönelim. Bu noktada bir zorlukla karşılaşır. Evrenin hareketsiz ve değişmez olduğuna inanmaktadır ama denklemleri bunun mümkün olmadığını söyler. Neden olduğunu anlamak hiç de zor değil. Her şeyin birbirini çektiği göz önünde tutulursa, evrenin sonunda kendi içine çökmemesi ve genişlemesi için tek yol budur, tıpkı bir futbol topunun yere düşmesini engellemek amacıyla onu yukarı doğru fırlatmak için tek yolun bu olması gibi. Top ya yukarı ya aşağı gider, havada asılı kalamaz.

Einstein kendi denklemlerinin ortaya koyduklarına inanmamak için bin dereden su getirir. Evrenin ya büzülmekte ya genişlemekte olduğu gibi kuramının öngördüğü şeylerin kanıtlarını kabul etmemek için sonunda saçma sapan fizik yanlışları yapar (üzerinde çalıştığı denklemin kararsız bir denklem olduğunu fark etmez). Sonunda teslim olmak zorunda kalır: Haklı olan kuramıdır, kendi değil. Aslında aynı yıllarda astronomlar tüm gökadaların bizden uzaklaştıklarını fark etmiştir. Evren, Einstein denklemlerinin tam anlamıyla öngördüğü gibi gerçekten de genişlemektedir. Denklemler bu genişlemenin geçmişte nasıl gerçekleştiğini açıklar. Bunun sonucunda evrenin tamamının yaklaşık 14 milyar yıl önce çok sıcak tek bir noktada yoğun bir biçimde bulunması gerekir. Bu noktada devasa bir "kozmik" patlamayla genişlemiştir. (Burada "kozmik" sözcüğü mecazi anlamda kullanılmamıştır. Gerçekten de "kozmik" bir patlamadır.) Bu, "Büyük Patlama" denen şeydir.

Bir kez daha başta kimse inanmaz. Einstein'ın kendisi de kuramının bu aşırı sonuçlarını kabul etmekte isteksiz olduğunu gösterir. Bu sonuçlardan kurtulmak için kendi

denklemlerinde değişiklikler yapar. İlk alt bölümün sonunda verilen denklemdeki Λg_{ab} terimi bunun için eklenmiştir. Ama Einstein yanılıyordu: Eklenen terim doğrudur ve evrenin genişlediği sonucundan kaçınmayı sağlamaz.

Bugün genişlemenin gerçek olduğunu biliyoruz. Einstein'ın denklemlerinin öngördüğü tüm senaryonun kesin kanıtı, 1964'te iki Amerikalı radyoastronom Arno Penzias ve Robert Wilson'ın, tüm evrene yayılmış, sonradan tamamen patlama ânındaki büyük ısının kalıntısı olduğu ortaya çıkan bir ışınımı rastlantı eseri keşfetmeleri oldu. Kuram, akla hayale sığmayacak öngörüleriyle bile bir kez daha doğru görünür.

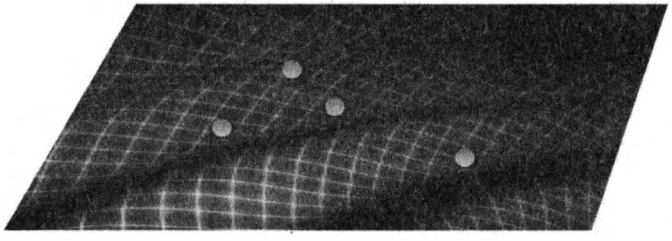
Mozart'ın *Requiem*'i, *Odysseia*, *Sistina Şapeli*, *Kral Lear* gibi bizi yoğun biçimde duygulandıran mutlak başyapıtlar vardır. Görkemlerinin değerini takdir edebilmek için uzunca bir eğitim süresi gerekebilir. Ama bunun ödülü saf güzelliktir. Dünyaya yepyeni bir bakış açısıyla bakmak için gözlerimizi açarlar. Albert Einstein'ın başyapıtı, genel görelilik kuramı da bunlardan biridir.

Riemann matematiğini anlamak ve Einstein denklemini tam anlamıyla okumak için tekniğe hâkim olmak amacıyla bir eğitim süreci gerekir. Kendini bu işe adamak ve emek vermek gerekir ama bu, Beethoven'ın son dönem yaylı çalgılar dörtlülerinin incelikli güzelliğini hissetmek için gerekenden daha azdır. Her durumda, gösterilen çaba her şeye değer: Bilim de sanat da, dünyanın enginliğini, derinliğini, güzelliğini anlamak için bize yeni bakış açıları kazandıran yeni bir şey öğretir. Büyük bir fizik yapıtı, büyük bir müzik yapıtı gibidir: Doğrudan yüreğe hitap eder ve gözümüzü nesnelerin güzelliğine, derinliğine ve basitliğine açar.

Bir şeyler anlamaya başladığımda yaşadığım duyguyu hatırlıyorum. Yazdı. Üniversitenin son sınıfında Ak-

deniz'in Yunan güneşi altında Calabria'da bir sahilde, Condofuri'deydim. Kenarlarını farelerin kemirdiği bir kitap üzerinde çalışıyordum; Bologna'daki üniversite derslerimin can sıkıcılığından kurtulmak için sığınmaya gittiğim Umbria tepelerindeki yıkık dökük ve biraz da hippi tarzı evde geceleri bu zavallı hayvancıkların deliklerini kapatmak üzere o kitabı kullanırdım. Ara sıra gözlerimi kitaptan kaldırıp denizin pırıltılarına bakıyordum; Einstein'ın hayalinde canlandırdığı uzay ve zamanın eğrilmesini görür gibi oluyordum. Bir büyü gibiydi; sanki bir arkadaşım gizli bir olağanüstü gerçeği kulağıma fısıldamış, daha basit ve daha derin bir düzeni ortaya çıkarmak için gerçeğin üzerindeki örtüyü birdenbire çekivermişti.

Dünyanın yuvarlak olduğunu ve bir topaç gibi delicesine döndüğünü öğrendiğimizden beri gerçekliğin bize göründüğü gibi olmadığını anladık. Gözümüze her yeni parçası iliştiğinde de yeni duygular yaşarız. Bir örtü daha kalkar. Uzay-zaman bir alandır, evren yalnızca alanlardan ve parçacıklardan oluşur, uzay ve zaman ayrılamaz (Resim 3.16). Einstein'ın attığı adım belki de benzersiz bir adımdır.



Resim 3.16. Einstein'ın dünyası: başka alanlar üzerinde hareket eden alanlar ve parçacıklar.

1953'te bir ilkokul öğrencisi Albert Einstein'a şöyle yazar: "Sınıfımızda evren konusunu işliyoruz. Bence evreni incelemek eğlenceli. Doğduğunuz için çok mutluyum çünkü siz olmasanız evrenle ilgili şu anda bildiğimiz kadar çok şey biliyor olmayacaktık."[1]

Ben de öyle hissediyorum.

1. *Sevgili Einstein*, s. 192 (Ç.N.)



4

KUANTUMLAR

20. yüzyıl fiziğinin iki temel direği, genel görelilik ile kuantum mekaniği arasında bir uçurum vardır. Genel görelilik yoğun bir mücevherdir: Tek bir zihnin yarattığı, önceki buluşları birleştirme çabasına dayanan, kütle çekimi, uzay ve zamana dair basit, tutarlı ve kavramsal açıdan net bir görüştür. Kuantum mekaniği ya da "kuantum kuramı" ise tersine, radyasyon yoğunluğu ölçümleri, ışığın metaller üzerindeki etkileri ve atomlar üzerine yapılan çalışmalar gibi pek çok insanın katıldığı ve çeyrek yüzyıl süren deneylerin sonuçlardan doğmuştur. Kuram benzersiz bir deneysel başarı elde etmiş ve (yazmak için kullandığım bilgisayar gibi) son zamanlarda gündelik yaşamımızı değiştiren uygulamaların doğmasını sağlamıştır, ne var ki doğumundan bir yüzyıl sonra bile gizem ve anlaşılmazlık sisleri içinde kalmıştır.

Bu bölümde bu kuramın nasıl doğduğunu, sonra dayandığı üç temel düşüncenin, taneciklilik, belirsizlik ve ilişkisellik kavramlarının nasıl yavaş yavaş ortaya çıktığını anlatarak garip fiziksel içeriğini açıklamaya çalışacağım. Bölümün sonunda bir özet verip bu üç fikrin bir sentezini yapmayı deneyeceğim.

Bir kez daha Albert

Kuantum mekaniğinin, sanki yoğun düşünce yüzyılını açarmış gibi, tam 1900 yılında doğduğu söylenir. Alman fizikçi Max Planck sıcak bir kutu içinde denge durumunda bulunan elektrik alanı hesaplar. Deney sonuçlarını doğru olarak yansıtan bir formül elde edebilmek için ona anlamsız görünen bir hileye başvurmak zorunda kalır: Elektrik alanının enerjisinin "kuantumlar", yani enerji paketleri, topakları biçiminde dağıldığını hayal eder. Planck paketlerin sığalarının yani büyüklüklerinin elektromanyetik dalgaların frekansına (yani rengine) bağlı olduğunu varsayar. ν frekansına sahip dalgalar için Planck her bir kuantumun, yani paketin

$$E = h\nu$$

denklemiyle verilen bir enerjisi olduğunu düşünür.

Kuantum mekaniğinin bu ilk formülünde h, bugün "Planck sabiti" dediğimiz yeni bir sabittir. Bu, ν frekansına (rengine) sahip ışık için her bir enerji "paketi" içinde ne kadar enerji olduğu belirleyen sabittir. h sabiti tüm kuantal olayların ölçeğini belirler.

Enerjinin sonlu paketlerden oluştuğu düşüncesi o zamanlar bilinen her şeyle çatışıyordu: Enerjinin kesiksiz bir biçimde değiştiği düşünülürdü ve onu tanecikler-den oluşurmuş gibi ele almak için bir neden yoktu. Örneğin salınan bir sarkacın salınım genliğiyle belirlenen bir enerjisi vardır. Bir sarkaç neden başka bir genlikte değil de yalnızca belirli bir genlikte salınabilsin ki? Max Planck için bu, nasıl olduğu kesinlikle bilinmeyen ama işe yarayan –yani laboratuvar ölçümlerine uyan– bir hesaplama numarasıydı.

Planck'ın "enerji paketleri"nin gerçek olduğunu anlayan, beş yıl sonra –yine– Einstein oldu. 1905'te *Anna-*

len der Physik'e gönderdiği üç makalenin sonuncusunun içeriği buydu. Kuantum mekaniğinin gerçek doğum tarihi budur.

Einstein makalede ışığın gerçekten de taneciklerden, ışık parçacıklarından oluştuğunu gösterir. Bunu, kısa süre önce gözlemlenmiş ilginç bir olaydan yola çıkarak yapar: fotoelektrik olay. Işık çarptığında zayıf bir elektrik akımı oluşturan, yani elektron yayan bazı maddeler vardır. Örneğin yaklaştığımızda kapıları açan fotoelektrik hücrelerin [fotosellerin] yapımında bu maddeler kullanılır. Bu çok tuhaf değildir çünkü ışık enerji taşır (örneğin ısıtır), bu enerji de elektronları atomlarından "dışarı fırlatır", onları iter.

Ama yine de ortada garip olan bir şey var: Işığın enerjisi azsa olayın olmamasını, enerji yeterliyse olmasını beklemek bize daha mantıklı gelebilirdi. Ama öyle değil: Gözlemlenen şey, olayın ışığın *frekans*ının yüksek olduğu zaman gerçekleştiği ama *frekans* düşükse gerçekleşmediğidir. Yani ışığın şiddetine (enerjiye) değil, ışığın rengine (frekansa) bağlı olarak gerçekleşir ya da gerçekleşmez. Einstein, Planck'ın, sığasının frekansa bağlı olduğu "enerji paketleri" fikrini yeniden ele alır ve olayın bunların gerçek olması durumunda açıklanabileceğini anlar.

Bunun nedenini anlamak zor değil. Işığın tanecikli bir biçimde, enerji taneleri biçiminde geldiğini düşünün. Bir tanecik bir elektrona çarpar. Elektron çok tanecik varken değil, ona çarpan bir tekil taneciğin çok miktarda enerjisi varsa atomundan dışarı fırlatılacaktır. Planck'ın hipotezindeki gibi, her bir taneciğin enerjisini kendi frekansı belirliyorsa, olay yalnızca frekans yeterince yüksekse, yani tekil enerji taneciklerinin enerjisi yeterince çoksa gerçekleşir ama çevrede çok enerji varsa gerçekleşmez. Bu, dolu yağdığında arabamızın hasar görmesinin düşen

dolu sayısının toplamına değil, tekil dolu tanelerinin boyutuna bağlı olmasına benzer. Çok sayıda dolu tanesi yağmış olabilir ama bütün dolu taneleri küçükse bir hasar vermezler. Aynı biçimde, ışık çok şiddetli, yani enerjisi çok olsa bile, tekil ışık taneciklerinin sığaları çok küçükse, yani ışığın frekansı çok düşükse, elektronlar atomlarından dışarı fırlatılmaz. Bu, fotoelektrik olayın olup olmamasını belirleyen şeyin neden ışığın şiddeti değil de rengi olduğunu açıklar. Bu basit akıl yürütmeyle Einstein, Nobel Ödülü kazandı. (Bir şeyleri başkaları anladıktan sonra anlamak kolaydır. Zor olan onları ilk anlayan olmaktır.)

Bugün bu enerji paketlerine ya da ışık paketlerine, Yunanca *φῶς* (ışık) [fos] sözcüğünden türetilen "fotonlar" diyoruz. Fotonlar ışık taneleri ya da "ışık kuantumları"dır. Çalışmanın girişinde Einstein şöyle yazar:

> Bana öyle geliyor ki, flüoresans, katot ışınlarının üretimi ve bir kutudan yayılan elektromanyetik ışınım ile ışığın yayınımı ve dönüşümü ile benzer olaylara ilişkin gözlemler, ışık enerjisinin uzayda süreksiz biçimde dağıldığı varsayıldığında daha iyi anlaşılabilir. Bu noktada bir ışık ışınının enerjisinin uzayda kesiksiz biçimde yayılmadığı, uzaydaki noktalarda yer alan belirli sayıda "enerji kuantumları"ndan oluştuğu, bölünmeden hareket ettikleri ve bir birim olarak üretilip soğurulduklan varsayımını göz önünde tutuyorum.[1]

Basit ve açık olan bu satırlar kuantum kuramının gerçek doğum belgesidir. Girişte yer alan, Faraday'in ya da Newton'ın tereddütlerini veya Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin ilk sayfalarındaki şüphesini anımsatan, "Bana öy-

1. Albert Einstein, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", *Annalen der Physik*, Sayı 17 içinde, 1905, s. 132-148.

le geliyor ki..." ifadesine dikkat edin. Gerçek deha attığı adımların ne kadar önemli olduğunun farkında olur ama her zaman kuşku duyar.

Einstein'ın, 1. Bölüm'de söz ettiğim, her ikisi de 1905' te tamamlanan Brown hareketi üzerine çalışmaları ile ışık kuantumları hakkındaki bu çalışması arasında açık bir ilişki vardır. Einstein ilkinde atom hipotezini, yani maddenin tanecikli yapısını kanıtlamayı başarmıştı. İkincisinde bu hipotezi ışığa uyguladı: Işığın da tanecikli bir yapısı olması gerekirdi.

Einstein'ın çalışması başta meslektaşları tarafından parlak bir gencin gençlik şımarıklığı olarak görüldü. Herkes Einstein'ı genel görelilik kuramı için takdir ediyordu ama foton fikrinin garip olduğunu düşünüyordu. Işığın elektromanyetik alanın bir dalgası olduğuna tamamen ikna olmalarının üzerinden çok geçmemişti, bir dalga nasıl olurdu da taneciklerden oluşabilirdi? Einstein'a Berlin'de bir kürsü açılması için Alman bakana tavsiye mektubu yazan zamanın en büyük fizikçileri, gencin fotonlar düşüncesi gibi aşırılıklarını affettirecek ölçüde parlak olduğunu yazıyordu. Birkaç yıl sonra fotonların varlığını anlayıp ona Nobel Ödülü veren meslektaşları da aynı insanlardı. Küçük ölçekte, ışık bir yüzeye parçacık çisentisiymiş gibi ulaşır. Işığın aynı zamanda *hem* bir elektromanyetik dalga *hem* bir foton sürüsü olduğunun anlaşılması için kuantum mekaniğinin tamamen oluşturulması gerekecekti. Ama yeni kuramın ilk tuğlası yerine konmuştu: Işık dahil, *her* şeyin temelinde *taneciklilik* vardır.

Niels, Werner ve Paul

Planck kuramın gerçek babasıysa Einstein da onu dünyaya getiren ve büyüten ebeveynidir. Ama genellikle çocuklarda olduğu gibi kuram da sonra kendi yoluna gitti, Einstein ise artık onu tanıyamaz oldu.



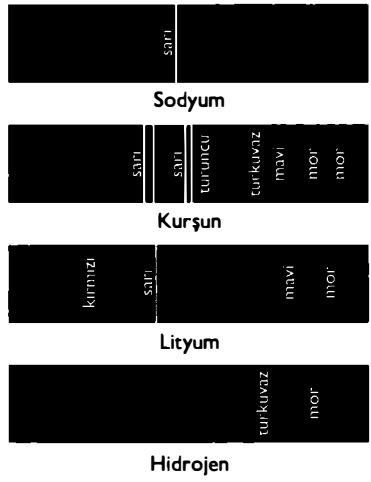
Resim 4.1. Niels Bohr.

1910'lar ve 1920'ler boyunca kuramın gelişimine yön veren, Danimarkalı Niels Bohr oldu (Resim 4.1). Bohr yüzyıl başında hakkında bir şeyler anlaşılmaya başlanan atomların yapısını inceliyordu. Deneyler bir atomun küçük bir güneş sistemi gibi olduğunu göstermişti: Kütle, merkezdeki bir çekirdekte yoğunlaşmıştı, hafif elektronlar da, az çok güneş çevresindeki gezegenler gibi bu çekirdek çevresinde dönüyordu. Ama bu fikir maddenin basit bir özelliğini dikkate almıyordu: renkli olmasını.

Tuz beyazdır, karabiber siyahtır, kırmızıbiber kırmızıdır. Neden? Atomlardan yayılan ışık ayrıntılı olarak incelendiğinde elementlerin kendilerine özgü renkleri olduğu görülür. Anımsıyor musunuz? Maxwell renklerin ışığın frekansı olduğunu bulmuştu. Öyleyse ışık maddelerden belirli bir frekansla yayılır. Bir maddeyi diğerlerinden ayıran frekans grubuna o maddenin "spektrum"u denir.

Bir "spektrum" belirli bir maddenin yaydığı ışığın (örneğin bir prizma yardımıyla) farklı renklere ayrıştırılan ince çizgiler kümesidir. Bazı elementlerin spektrumları Resim 4.2'de gösterilmiştir.

Pek çok maddenin spektrumu yüzyıl başında fizik laboratuvarlarında incelenmiş ve listelenmişti, ama kimse bir maddenin neden şu ya da bu biçimdeki bir spekt-



Resim 4.2. Bazı elementlerin spektrumları.

ruma sahip olduğunu anlayamıyordu. Bu çizgilerin konumunu belirleyen şey neydi?

Renk ışığın frekansıdır, yani Faraday çizgilerinin titreşim hızıdır. Faraday çizgileri de ışığı yaratan elektrik yüklerinin titreşmesiyle belirlenir, madde için bu yük, atomlar çevresinde dönen elektronlardan meydana gelir. Bu nedenle spektrumlar incelenerek çekirdek çevresindeki elektronların nasıl titreştiği anlaşılabilir; tersi de doğrudur, bir elektronun, çekirdeğin çevresindeki dönme frekansı hesaplanarak, kuramsal olarak, her bir atomun spektrumu hesaplanabilir ve böylece öngörülebilir. Söylemesi kolay ama bunu aslında kimse başaramıyordu. Hatta bu olanaksız görünüyordu çünkü Newton mekaniğine bakılırsa, bir elektron, çekirdeği çevresinde *herhangi* bir hızda dönebilirdi, bundan dolayı da *herhangi* bir frekansta bir ışık yayabilirdi. Ama o zaman, bir atomdan yayılan ışık neden tüm renkleri içermez de az sayıda belirli bazı renklere sahiptir? Atom spektrumları neden bir renk sürekliliği değildir de birbirlerinden ayrı birkaç çizgiden olu-

şur? Neden, sürekli olmak yerine teknik jargonda [ayrık, kesintili, kesikli anlamına gelecek biçimde] "yalınık"tırlar. Fizikçiler bu sorulara onlarca yıl boyunca yanıt veremedi. Bohr bir yol buldu, ama çok garip hipotezler öne sürmek pahasına.

Bohr, atomlardaki elektronların enerjilerinin de yalnızca "kuantumlaştırılmış" belirli değerler alabilirlerse her şeyin açıklanabileceğini anladı. Bunlar tıpkı birkaç yıl öncesinde Planck ve Einstein'ın ışık kuantumlarının enerjisi için varsaydığı gibi belirli bazı değerlerdi. Bir kez daha anahtar sözcük *taneciklilik*ti ama ışığın değil, atomlardaki elektronların enerjisinin tanecikliliği. Doğanın tanecikli yapısının çok daha yaygın bir şey olduğu anlaşılmaya başlamıştı.

Bohr elektronların çekirdekten yalnızca belirli "özel" uzaklıklarda, yani ölçeği Planck sabiti h tarafından belirlenen belirli özel yörüngelerde var olabileceğini ve belirli ölçüde enerjileri olan bir yörüngeden diğerine "sıçrayabileceği"ni varsaydı. Bunlar şu ünlü "kuantum sıçramaları"dır. Bu iki hipotez, Bohr'un 2013'te yüzüncü yılı kutlanan "atom modeli"ni tanımlar. Bu iki (doğrusunu söylemek gerekirse garip ama basit) varsayımla Bohr bütün atomların spektrumlarını hesaplamayı, hatta daha gözlemlenmemiş spektrumları bile doğru olarak öngörmeyi başardı. Bu basit modelin deneysel başarısı gerçekten şaşırtıcıydı. Bu varsayımlarda, o günlerde madde ve dinamikle ilgili tüm düşüncelere ters olsalar da hiç şüphesiz gerçek olan bir şeyler vardı. Ama neden hep belirli yörüngeler vardı? Elektronların "sıçraması" ne anlama geliyordu?

Yüzyılın en parlak genç beyinleri Bohr'un Kopenhag'daki enstitüsünde, atom dünyasının anlaşılmaz davranışlarının keşmekeşini bir düzene sokmak ve bundan tutarlı bir kuram yaratmak için bir araya gelmişti. Araştırma uzun ve yorucuydu, gizemin kapısını açmak için gerekli anahtarı bulansa çok genç bir Alman'dı.



Resim 4.3. Werner Heisenberg.

Werner Heisenberg (Resim 4.3) kuantum mekaniğinin denklemlerini ilk kez yazdığında, Einstein'ın üç büyük makalesini yazdığı yaşta, yirmi beş yaşındaydı. Bunu da insanı sersemleten fikirlere dayanarak yapmıştı.

Heisenberg'in sezgisi bir gece Kopenhag Fizik Enstitüsü'nün arkasındaki parkta yürürken doğdu. Genç Werner, parkta düşünceli düşünceli yürüyordu. Park karanlıktı (yıl 1925'ti). Yalnızca oraya buraya soluk bir ışık veren sokak lambaları vardı. Işık adacıkları birbirlerinden büyük karanlık alanlarla ayrılmıştı. Heisenberg birden oradan geçen bir adam gördü. Aslında tam anlamıyla geçtiğini görmedi; bir lambanın altında ortaya çıktığını, sonra karanlıkta kaybolduğunu ve kısa süre sonra bir başka lambanın altında tekrar ortaya çıktığını ve yeniden karanlıkta kaybolduğunu gördü. Böylece onu bir ışık topundan diğerine, gecenin karanlığında yok olana dek izledi. Heisenberg adamın "hiç şüphesiz" gerçekten yok olup ortaya çıkmadığını, düşünce yardımıyla adamın bir lambadan diğerine giden gerçek rotasını yeniden oluş-

turmayı hayal etmenin mümkün olduğunu düşündü. Ne de olsa bir adam büyük, iri, ağır bir şeydi ve büyük, iri ve ağır şeyler öyle bir kaybolup bir görünmezdi.

Ah! Şu büyük, iri ve ağır olan nesneler kaybolup yeniden belirmez de... elektronlar hakkında ne biliyoruz ki? Heisenberg'in beyninde çakan şimşek buydu. Ya bu "hiç şüphesiz" olan şey, elektronlar gibi küçük nesneler için geçerli değilse? Ya bir elektron gerçekten de bir kaybolup bir ortaya çıkıyorsa? Ya bir yörüngeden diğerine gerçekleşen şu gizemli "kuantum sıçramaları", nasıl olduğu bilinmeden, spektrum hesaplarını tutturmaya yararsa? Ya bir elektron, başka şeylerle girdiği iki etkileşim arasında, kelimenin tam anlamıyla, *hiçbir yerde* bulunmuyorsa?

Ya bir elektron yalnızca başka bir şeyle etkileşime girdiğinde, yani çarpıştığında ortaya çıkıyorsa ve bir etkileşim ile diğeri arasında hiçbir kesin konuma sahip değilse? Ya herhangi bir anda kesin bir konuma sahip olmak yalnızca, az önce karanlıkta bir hayalet gibi geçen ve gecenin içinde yok olan adam gibi büyük, iri ve ağır bir şey olunduğunda elde edilen bir şeyse?..

Buna benzer hezeyanları ciddiye almak için yirmili yaşlarda olmak gerekir. Bunlardan dünyaya ilişkin bir kuram çıkarmayı düşünmek için de yirmili yaşlarda olmak gerekir. Belki de doğanın derin yapısını başkalarından daha iyi anlayabilmek için de yine yirmili yaşlarda olmak gerekir. Tıpkı zamanın herkes için aynı hızda akmadığını anlayan Einstein ve o Danimarka gecesindeki Heisenberg gibi... Belki de otuzlu yaşlardan sonra insan kendi sezgilerine güvenemiyordur.

Heisenberg bir duygu ateşine tutulmuş biçimde eve döndü ve hesap yapmaya daldı. Bu hesaplamalardan kısa süre sonra beklenmedik bir kuram ortaya çıkacaktı: parçacıkların herhangi bir andaki konumları yoluyla değil, bazı belirli anlarda, bir başka şeyle etkileştikleri anlardaki konumlarıyla tanımlandığı hareketlerinin temel bir tasviri.

Bu, kuantum mekaniğinin ikinci tuğlasıydı ve en zor anahtardı: Her şeyin ilişkisel olması. Elektronlar her zaman var olmaz. Yalnızca etkileştiklerinde var olurlar. Bir noktada bir şeye çarptıklarında maddeleşirler. Bir yörüngeden diğerine yaptıkları "kuantum sıçramaları" gerçek olabilmeleri için tek yoldur: Bir elektron, bir etkileşimden diğerine yapılan sıçramaların toplamıdır. Kimse ona dokunmadığında bir elektron hiçbir yerde değildir. Heisenberg elektronun konumu ve hızını yazmak yerine sayı tabloları hazırladı. Elektronun olası etkileşimlerini temsil eden bu sayı tablolarını çarptı, böldü ve hesapları, tıpkı bir büyücünün sihirli hesap boncuğundan gelirmiş gibi, yapılan tüm gözlemlerle mükemmel biçimde uyuştu. Bunlar kuantum mekaniğinin ilk gerçek denklemleridir. O günden beri bu denklemler hep doğru çıkmıştır ve doğru çıkmaya da devam etmektedir. İnanması zor ama bugüne dek *hiç* yanılmadılar.

Sonunda Heisenberg'in ilk çalışmasını inceleyerek yeni kuramı ele alan ve ondan bütün bir matematiksel ve biçimsel yapı çerçevesi oluşturan yine yirmi beş yaşındaki bir başka genç oldu: Pek çokları tarafından Einstein'dan sonra 20. yüzyılın en büyük fizikçisi kabul edilen İngiliz Paul Adrien Maurice Dirac (Resim 4.4).



Resim 4.4. Paul Dirac.

Bilim çevrelerindeki büyük itibarına karşın Dirac, Einstein'dan çok daha az tanınır. Bunun bir nedeni yönteminin çok incelikli bir soyutlamaya sahip olmasıysa, bir başka nedeni de sarsıcı kişiliğidir. Sessiz, içe kapanık, duygularını ifade edemeyen, tanıdıklarının yüzlerini sık sık unutan, hatta normal bir sohbeti ve basit soruları anlamayı bile beceremeyen Dirac, otizmin sınırlarındaydı, hatta belki de o sınırı aşmıştı.[1]

Bir konferansı sırasında bir meslektaşı, "Şu formülü anlamadım," diyerek araya girdi. Dirac kısa bir süre duraksadıktan sonra hiç istifini bozmadan devam etti. Oturum başkanı konuşmasını kesti ve ona soruya cevap vermek isteyip istemeyeceğini sordu. Dirac ise içtenlikle şaşırarak şöyle dedi: "Soru mu? Hangi soru? Meslektaşım bir açıklamada bulundu. ("Bu formülü anlamadım" bir durum açıklamasıdır, bir soru değil...) Bu kibir değildi: Doğanın herkesin gözünden kaçan sırlarını gören adam, örtük dili kavrayamıyor, kendi benzerlerini anlayamıyor, her tümceyi sözlük anlamıyla kabul ediyordu.[2] Ama kuantum mekaniği onun ellerinde, doğal olmayan sezgiler

1. Fen bilimciler arasında (sosyal bakımdan çok gelişmiş mükemmel biliminsanları var olsa da) otizmin şu ya da bu ölçüde belirgin biçimleri oldukça yaygındır. Otizmin gündelik yaşama (çok fazla) etki etmeyen hafif bir biçimine Asperger sendromu denir. Otizm koşulları ile bilimsel beceri arasındaki ilişki psikologlar tarafından incelenmiştir (örneğin bkz. Baron-Cohen vd., "The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence for Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians", *The Journal of Autism and Developmental Disorders*, Sayı 31/1 içinde, 2001, s. 5-17.). Bilimsel çalışma, özellikle de kuramsal bilim öncelikle büyük bir odaklanma yeteneğinin yanı sıra kendi düşüncelerinin peşinden tutkuyla gitmeyi gerektirir. Bu yetenekler otistik kişilerde, genellikle empati ve sosyalleşme becerilerinin düşük olması pahasına yaygın olarak görülür. İnsanların garipliklerini tedavi etmek, genellikle onları kişiliklerinden yoksun bırakmak ve yeteneklerini değerlendirmelerini engellemek anlamına gelir.

2. Dirac'in sarsıcı kişiliğini ortaya koyan güzel bir yaşamöyküsü için bkz. Graham Farmelo, *L'uomo più strano del mondo. Vita segreta di Paul Dirac, il genio dei quanti*, İtalyanca çev. Raffaello Cortina, Milano 2013.

keşmekeşinden, yarım yamalak hesaplardan, belirsiz metafizik tartışmalardan ve nasıl olduğu bilinmeden iş gören denklemlerden kurtulup mükemmel bir mimariye dönüşüyordu: hantal olmayan, basit ve çok güzel ama inanılmaz ölçüde soyut bir yapıya.

Yaşlı Bohr onun için, "Dirac tüm fizikçiler arasında en saf ruha sahip olan fizikçidir," diyordu. Onun fiziği bir şarkı gibi keskin ve açıktır. Dünya ona göre nesnelerden meydana gelmez, bize neyin göründüğünü ve görünen şeylerin nasıl davrandığını anlatan soyut matematiksel çerçevelerden oluşur. Mantık ile sezginin büyülü bir karşılaşması. Einstein da ondan çok etkilenmişti; onun hakkında şöyle diyordu: "Dirac'le ilgili sorunlarım var. Deha ile delilik arasındaki bu baş döndürücü yolda denge içinde yoluna devam etmek korkunç bir çaba."

Dirac'in kuantum mekaniği bugün herhangi bir mühendisin, kimyacının veya moleküler biyoloğun kullandığı veya göndermede bulunduğu kuantum mekaniğidir. Bu fizik kapsamında her nesne soyut bir uzayla[1] tanımlanır ve kütle gibi, hiç değişmeyen değerler gibi kendine özgü değerler dışında hiçbir özelliği yoktur. Konumu, hızı, açısal momentumu, elektrik potansiyeli vs. yalnızca bir başka nesneyle karşılaştığında gerçeğe bürünür. Belirsiz olan yalnızca, Heisenberg'in anladığı gibi konumu değildir, bir etkileşim ile bir sonraki arasında geçen sürede nesnenin *hiçbir* değişkeni belirli değildir. Kuramın *ilişkisel* yönü evrensel hale gelir.

Bir nesne birdenbire bir başka nesneyle etkileşerek görünür olduğunda, fiziksel bir değişken (hız, enerji, momentum, açısal momentum...) *herhangi* bir değer almaz. Yalnızca bazı belirli değerler alabilir, başkalarını alamaz.

1. Bir Hilbert uzayı.

Dirac bir fiziksel değişkenin alabileceği değerlerin hepsini hesaplamak için bir yöntem sunar.[1] Bu değerler atomların yaydığı ışığın spektrumlarına benzer. Maddelerin ışığının ayrıştığı "spektrumlar"ın çizgilerine benzer biçimde, bu olayın ilk belirtisi olan, bir değişkenin alabileceği belirli değerler grubuna bugün "bir değişkenin spektrumu" adını veriyoruz. Örneğin çekirdeklerin çevresindeki elektronların yörünge çapı yalnızca belirli değerler alabilir; bu değerler Bohr'un hipotezindeki değerlerdir.

Kuram ayrıca bir sonraki etkileşimde değişkenin spektrumun hangi değerinde ortaya çıkacağı hakkında da bilgi verir, ama yalnızca bir olasılık olarak. Elektronun nerede ortaya çıkacağını kesin olarak bilmeyiz ama burada ya da şurada ortaya çıkacağının *olasılığını* hesaplayabiliriz. Bu, en azından ilkesel olarak geleceği kesin şekilde öngörebileceğimiz Newton kuramına göre radikal bir değişikliktir. Kuantum mekaniği olasılık kavramını nesnelerin değişiminin merkezine koyar. Rastlantısallığın atom düzeyinde etkili olduğunun bulunması, bu *belirsizlik* özelliği, kuantum mekaniğinin temelindeki üçüncü tuğladır. Newton fiziği, başlangıç koşullarını iyi bilmemiz ve hesaplamaları yapabilecek durumda olmamız durumunda geleceği kesin olarak öngörmeyi sağlarken, kuantum mekaniği bir olayın yalnızca *olasılığını* hesaplamamıza izin verir. Çok küçük ölçekteki bu belirsizlik, doğanın bir özelliğidir. Bir elektronun sağa ya da sola gideceği önceden belirlenmiş değildir, bunu gelişigüzel biçimde yapar. Dünyanın makro ölçekte belirlenebilir olmasının nedeni, yalnızca bu rastlantısallığın, mik-

1. Bunlar söz konusu fiziksel değişkene özgü matematiksel işlem teriminin özdeğeridir [eigen değeri]. Bu nedenle anahtar öneme sahip denklem özdeğerli denklemdir.

ro ölçekteki bu gelişigüzelliğin gündelik yaşamda fark edilebilmek için çok küçük olan dalgalanmalar yaratmasıdır.

Dirac'in kuantum mekaniği böylece iki şeye izin verir. İlk olarak fiziksel bir değişkenin *hangi* değerleri alabileceğinin hesaplanmasını sağlar. Buna "bir değişkenin spektrumunun hesaplanması" denir, nesnelerin doğasının temelinde yer alan taneciklilği yansıtır ve son derece geneldir: Her fiziksel değişken için geçerlidir. Hesaplanan değerler bir değişkenin, nesnenin (atom, elektromanyetik alan, molekül, sarkaç, taş, yıldız...) bir başka şeyle etkileşime girdiği anda alabileceği değerlerdir (*ilişkililik* ilkesi). Dirac kuantum mekaniğinin izin verdiği ikinci şey, bir nesnenin bir sonraki etkileşimde, bir değişkenin şu ya da bu değerde belirme olasılığının hesaplanmasıdır. Buna "*geçiş genliği*nin hesaplanması" denir. Bu olasılık, kuramın üçüncü anahtar özelliğini ifade eder: *belirsizlik* ilkesi, yani kesin öngörülerde bulunmak yerine yalnızca olasılıklara bağlı öngörülerde bulunmak.

Dirac kuantum mekaniği yalnızca değişkenlerin spektrumunu hesaplamak için bir yol ve bir etkileşim sırasında spektrumda belirebilecek şu ya da bu değerin olasılığını hesaplamak için bir yöntemdir. Hepsi bu kadar... Bir etkileşim ile diğeri arasında ne olduğu kuramda yer almaz.

Bir elektronu ya da herhangi başka bir parçacığı uzayın şu ya da bu noktasında bulma olasılığı, elektronu görme olasılığının en yüksek olduğu yerlerde yoğun olan yaygın bir bulut olarak düşünülebilir. Bazen bu bulutu gerçek bir nesneymiş gibi hayal etmek yararlı olur. Örneğin çekirdeği çevresindeki bir elektronu temsil eden bir bulut bize elektronun, ona bakmaya çalıştığımızda nerede ortaya çıkmasının daha kolay olduğunu

söyler. Okulda karşılaştıysanız eğer, bunlar atomik "orbitaller"dir.[1]

Kuramın ne kadar olağanüstü biçimde etkili olduğu kısa sürede ortaya çıkar. Eğer bugün bilgisayarlar yapıyorsak, ileri düzeyde bir kimya ve moleküler biyolojiye sahipsek, lazerlerimiz ve yarı iletkenlerimiz varsa, bunlar kuantum mekaniği sayesindedir. Onlarca yıl fizikçiler için sanki hep Noel'miş gibi geçti: Her yeni probleme kuantum mekaniğinin denklemlerinden elde edilen sonuçlar hızır gibi yetişiyordu, yanıtlar da hep doğru çıkıyordu. En gizemli görünen problemlere verilen yanıtlar bile... Bir örnek vermek yeterli olacaktır.

Çevremizdeki nesneler binlerce farklı maddeden oluşur ama kimyacılar 18. ve 19. yüzyıllar boyunca birkaç yüz basit elementin ve yalnızca bu elementler arasındaki bileşimlerin söz konusu olduğunu anlamıştı: Bunlar hidrojen, helyum ve oksijenden uranyum ve diğerlerine uzanan basit elementlerdir. Mendeleyev bu elementleri (ağır-

1. Elektronun bulunma olasılığı olduğu uzay noktalarını temsil eden "bulut", "dalga fonksiyonu" denen bir matematiksel nesneyle tanımlanır. Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger bu dalga fonksiyonunun zaman içinde nasıl değiştiğini gösteren bir denklem yazmıştı. Schrödinger "dalga"nın kuantum mekaniğinin garipliklerini açıklayabileceğini umuyordu: Denizdeki dalgalardan, elektromanyetik dalgalara dek dalgalar oldukça iyi anladığımız şeylerden biridir. Bugün bile kuantum mekaniğini, gerçekliğin bir Schrödinger dalgası olduğunu düşünerek anlamaya çalışanlar vardır. Ama gerek Heisenberg gerek Dirac bunun yanlış bir yol olduğunu hemen anlamıştı. Schrödinger dalgasını gerçek bir şey gibi düşünmek ve ona hak ettiğinden fazla önem vermek kuramı anlamaya yardım etmez, hatta işi daha da içinden çıkılmaz hale getirir. Fonksiyon fiziksel uzayda değil, sistemin olası tüm konfigürasyonlarından oluşan soyut bir uzayda yer alır, bu da onun tüm sezgisel gücünü yok eder.
Ama Schrödinger dalgasının gerçekliğin iyi bir imgesi olmamasının temel nedeni, elektronun başka bir şeyle çarpıştığında bir dalga gibi uzayda yayılmayıp bunun yerine yalnızca tek bir noktada bulunmasıdır. Bir elektron bir dalga gibi düşünülürse, bu dalganın her çarpışmada nasıl olup da ânında tek bir noktada yoğunlaştığını açıklamak gibi zor bir durumda kalınır. Schrödinger dalgası gerçekliği iyi temsil etmez: Elektronun nerede yeniden ortaya çıkacağını büyük bir hassasiyetle öngörmemizi sağlayan bir hesaplama aracıdır. Elektronun gerçekliği bir dalga değildir: Gerçekliği, bir Kopenhag gecesinde derin düşüncelere dalmış genç Heisenberg etrafta dolaşırken ışık adacıkları içinde ortaya çıkan adam gibi, bu belirme ve kesintili olma durumunda yatar.

lıklarına göre) sıraladı ve pek çok sınıfta asılı olan ve yalnızca yeryüzündeki değil tüm gökadalardaki her şeyi oluşturan elementlerin özelliklerini özetleyen ünlü "periyodik tablo"yu oluşturdu. Peki ama neden *bu* elementler var? Bu periyodik yapı nasıl ortaya çıkıyor? Neden her bir elementin belirli özellikleri var da başka özellikleri yok? Örneğin neden bazı elementler kolayca bileşik oluşturabiliyor da başkaları oluşturamıyor? Mendeleyev'in periyodik tablosunun ilginç yapısının sırrı nedir?

Peki, şimdi elektron orbitallerinin biçimini belirleyen kuantum mekaniği denklemini alın. Bu denklemin belirli sayıda çözümü vardır ve bu çözümler hidrojene, helyuma... oksijene... ve diğer elementlere birebir denk gelir! Mendeleyev'in periyodik tablosu tamamen bu çözümlere uygun yapılanmıştır. Elementlerin özellikleri ve diğer her şey bu denklemin çözümüne uygundur! Bir başka ifadeyle, kuantum mekaniği elementlerin periyodik tablosunun yapısının gizemini mükemmel biçimde çözer.

Pythagoras ve Platon'un dünyadaki tüm maddeleri tek bir formülle tanımlamaya ilişkin kadim düşü gerçekleşmiştir. Kimyanın sonsuz karmaşıklığı yalnızca tek bir denklemin çözümüyle ortaya konmuştur! Tüm kimya bu tek denklemden doğar. Bu da kuantum mekaniğinin çok sayıdaki uygulamalarından yalnızca biridir.

Alanlar ve parçacıklar aynı şeydir

Kuantum mekaniğinin genel formülünü tamamladıktan yalnızca birkaç yıl sonra Dirac bunun elektromanyetik alan gibi alanlara doğrudan uygulanabileceğini ve özel görelilikle tutarlı hale getirilebileceğini fark etti. (*Genel* görelilikle tutarlı kılmak çok daha zor olacaktı; sonraki bölümlerin konusu bu olacak.) Bunu yaparken bir adım daha öteye giderek doğayı tarif etmemizin çok daha basit bir yolunu da buldu: Newton tarafından kulla-

nılan parçacık kavramı ile Faraday'in ortaya koyduğu alan kavramının birleştirilmesi.

İki etkileşim arasında elektronlara eşlik eden olasılık bulutu bir alana benzer. Ama Faraday ve Maxwell'in alanları da taneciklerden, yani fotonlardan oluşur. Parçacıklar bir anlamda yalnızca uzayda yayılmış durumda değildir, alanlar da parçacıklar gibi etkileşimde bulunur. Faraday ve Maxwell tarafından ayrılan alan ve parçacık kavramları, sonunda kuantum mekaniğinde bir araya gelir.

Bunun kuram kapsamında gerçekleşmesi çok zarif biçimde olur. Dirac denklemleri her değişkenin alabileceği değerleri belirler. Bunlar Faraday çizgilerine uygulandıklarında bu enerjinin yalnızca belirli bazı değerler alabileceğini, başka bir değer alamayacağını söyler. Elektromanyetik alanın enerjisi yalnızca belirli değerler alabilir, dolayısıyla bir enerji *paketleri* kümesi gibi davranır. Bunlar Planck ve Einstein'ın enerji kuantumlarıyla tamamen aynıdır. Çember kapanır. Kuramın Dirac'in yazdığı denklemleri, Planck ve Einstein'ın sezgisel olarak bulduğu ışığın tanecikli yapıda olması kavramını doğrular.

Elektromanyetik dalgalar elbette Faraday çizgilerinin titreşimidir ama aynı zamanda, küçük ölçekte, bir foton sürüsüdür. Fotoelektrik olayda olduğu gibi bir başka şeyle etkileştiklerinde parçacık sürüleri gibi görünürler: Işık gözümüze tekil fotonlar olarak ayrı ayrı damlacıklar gibi çiseler. Fotonlar elektromanyetik alanın "kuantumları"dır.

Öte yandan elektronlar ve dünyayı meydana getiren tüm parçacıklar da bir alanın "kuantumları"dır: Bu, taneciklilige ve kuantum olasılıklarına uyan, Faraday ve Maxwell'inkine benzer bir "kuantum alanı"dır, Dirac de elektronların ve diğer temel parçacıkların alanlarının denklemini yazar.[1] Faraday'in ortaya koyduğu alan-parçacık ayrımı büyük ölçüde yok olur.

1. Dirac denklemi.

Kuantum mekaniğinin özel görelilikle tutarlı olan ve günümüz parçacık fiziğinin temeli sayılan genel biçimine "kuantum alan kuramı" denir. Fotonun elektromanyetik alanın kuantumları olduğu gibi parçacıklar da bir alanın kuantumlarıdır, tüm alanlar da etkileşimlerinde bu tanecikli yapıyı gösterir.[1]

20. yüzyıl boyunca temel alanların bir listesi yapılmıştır, bugün de kuantum alan kuramı kapsamında, kütle çekimi dışında[2] gördüğümüz her şeyi iyi tanımlayan "temel parçacıkların standart modeli" adında bir kurama sahibiz. Bu modelin geliştirilmesi geçtiğimiz yüzyılın büyük bir bölümünde fizikçileri meşgul etti ve Nicola Cabibbo, Luciano Maiani, Gianni Iona-Lasinio, Guido Altarelli, Giorgio Parisi ve ne yazık ki burada hepsine yer veremeyeceğim pek çok büyük İtalyan fen bilimcinin de yer aldığı başlı başına güzel bir buluş serüveni oldu. Ama şimdi öykünün bu bölümünü anlatmak gibi bir niyetim yok; varmak istediğim asıl nokta kuantum kütle çekimi. "Standart model" 1970'ler civarında tamamlandı. Uyarıldıklarında (elektronlar, kuarklar, muonlar, nötrinolar, Higgs parçacığı ve daha birkaç tane parçacık gibi) temel parçacıklar meydana getiren on beş kadar alanla birlikte elektromanyetik alan gibi çekirdek düzeyinde etki eden elektromanyetik kuvveti ve diğer kuvvetleri tanımlayan bazı alanlar vardır.

Standart model başlangıçta, genel görelilik ve Maxwell ve Dirac denklemlerinin hantal olmayan basitliğinden uzak olması ve biraz da yamalı bohça gibi görünmesinden dolayı çok ciddiye alınmadı. Ama beklentilerin tersine, öngörülerinin hepsinin doğruluğu kanıtlandı.

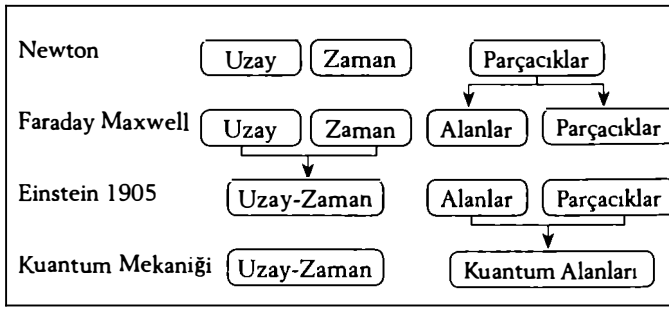
1. Bu, kuantum mekaniği ile özel göreliliğin sonucu olarak genelde doğrudur.

2. Standart modele indirgenemeyecekmiş gibi görünen bir olay vardır: "Karanlık madde." Astrofizikçiler ve kozmologlar evrende, standart modelin tarif ettiği türlere benzemeyen bir maddenin etkilerini gözlemliyor. Daha bilmediğimiz çok şey var.

Otuz yıldan daha uzun bir süredir parçacıklarla ilgi tüm deneyler onu doğrulamaktan başka bir sonuç vermedi. Bu deneylerin ilk ve en önemlileri arasında –İtalyan fizikçi Carlo Rubbia yönetimindeki bir ekip tarafından gerçekleştirilen– alanlardan birinin kuantumlarının (Z ve W parçacıklarının) bulunmasıyla sonuçlanan ve Rubbia'ya 1974'te Nobel Ödülü getiren deney oldu. En son örnekse 2013'te büyük heyecan yaratan Higgs bozonunun bulunmasıydı. Higgs bozonu alanlardan birinin, standart modele kuramın tutarlı olması için eklenmiş, biraz da yapaymış gibi duran bir parçacığıydı; oysa Higgs parçacığı, yani bu alanın "kuantumu" gözlemlendi ve standart modelin öngördüğü özelliklere sahip olduğu ortaya çıktı.[1] ("Tanrı parçacığı" olarak adlandırılması öyle aptalca ki yorum yapmaya bile değmez). Kısacası, kuantum mekaniğinin hassas kapsamı içinde kurulmuş olan "standart model"in, adı hak etmediği kadar az gösterişli olmasına karşın, bir zafer kazandığı ortaya çıktı.

Kuantum mekaniği alan/parçacıklarıyla bugün doğanın göz alıcı ölçüde iyi tarif eder. Dünya alanlar ve parçacıklardan değil, tek tip bir nesneden, kuantum alanından oluşmuştur. Artık zaman akışı içinde uzayda hareket eden parçacıklar yoktur, bunun yerine temel olayların uzay-zamanda yer aldığı kuantum alanları vardır. Dünya ilginç ama basittir (Resim 4.5).

1. Gazetelerde yer alan Higgs bozonunun "parçacıkların kütlesini açıkladığı" yönündeki ifadeleri çok ciddiye almamak gerekir. Parçacıkların kütlesi vardır, çünkü öyledir, Higgs bozonu da kütleyi açıklamak için hiçbir işe yaramaz. Bu teknik bir konudur: Standart model tutarlı olabilmek için bazı simetrileri temel alır, bu simetriler de yalnızca kütlesiz parçacıklara izin verirmiş gibi görünürken Higgs, bunların bugün kendi adını taşıyan alanla dolaylı yoldan etkileşime girmeleri koşuluyla, hem simetriye hem kütleye sahip olabileceğini fark etti. Dolayısıyla her alanın parçacığa sahip olabilmesi için kendi "Higgs parçacığı" olması gerekiyordu, bu da 2013'te bulundu.



Resim 4.5. Evren nelerden oluşur?

Kuantum 1: Bilgi sonludur

Sıra geldi kuantum mekaniğinin dünyaya ilişkin tam olarak ne söylediğini bir sonuca bağlamaya. Bu çok kolay bir iş değil çünkü kuantum mekaniği, kavramsal olarak çok açık olmayan ve bazı konuları hâlâ tartışmalı olan bir kuramdır, ama ilerlemek için biraz açıklık istenirse gerekli olacak bir alıştırmadır. Kuantum mekaniğinin nesnelerin doğasının üç yönünü anlamamızı sağladığını sanıyorum: taneciklilik, belirsizlik ve ilişkisellik. Bunlara biraz daha yakından bakalım.

Bunların birincisi doğada temel bir tanecikliliğin olmasıdır. Maddenin ve ışığın tanecikli yapıda olması kuantum mekaniğinin özüdür. Demokritos'un sezdiği madde tanecikliliğiyle tam olarak aynı şey değildir. Demokritos için atomlar küçük çakıltaşları gibiydi, oysa kuantum mekaniğinde parçacıklar bir kaybolup bir görünür. Ama dünyanın özünde tanecikli yapıda olmasının kökeni antik dönem atomculuğuna dayanır ve –yüz yıldan fazla bir süredir yapılan deneylerle, sağlam bir matematikle ve göz kamaştırıcı biçimde doğru öngörülerde bulunabilmesinden gelen büyük güvenilirliğiyle yerini perçinlemiş olan– kuantum mekaniği, Abdera'lı büyük felsefe-

cinin doğayla ilgili düşüncelerinin derinliğinin hakkının verilmesidir.

Fiziksel bir sistem üzerinde ölçümler yaptığımızı ve sistemin belirli bir durumda olduğunu bulduğumuzu varsayalım. Örneğin, bir sarkacın salınım genliğini ölçelim ve genliğin 5 ila 6 cm arasında bir değere sahip olduğunu bulalım (fizikte hiçbir ölçüm kesin değildir). Kuantum mekaniğinden önce, 5 ila 6 cm arasında genliğin sonsuz olası değeri olduğu için (örneğin 5,1 veya 5,101 ya da 5,101001...) sarkacın *sonsuz* sayıda hareket durumu içinde olma olasılığı olduğunu söylerdik: Sarkaç hakkındaki bilgisizliğimiz de hâlâ sonsuz ölçüde olurdu.

Buna karşın, kuantum mekaniği bize 5 ila 6 cm arasında genlik için *sonlu* sayıda olasılık olduğunu, bu nedenle de eksik bilgimizin *sonlu* olduğunu söyler.

Bu ifade tam anlamıyla genelleştirilebilir bir ifadedir.[1] Dolayısıyla kuantum mekaniğinin ilk derin anlamı, bir sistemin sahip olabileceği bilgiye bir sınır konması, bir sistemin var olabileceği farklı durumlarının sayısının sınırlanmasıdır. Sonsuzluğun bu biçimde sınırlanması, Demokritos'un gözüne çarpan ve doğanın derinlerinde bulunan bu taneciklilik özelliği, kuramın ilk belli başlı sonucudur. Planck sabiti h bu tanecikliliğin temel ölçeğini belirler.

Kuantum 2: Belirsizlik

Dünya birbirlerini izleyen bir tanecikli kuantum olaylar dizisidir. Bu olaylar yalınık, tanecikli ve bireysel-

1. Bir faz uzayının, yani bir sistemin olası durumlarının uzayının sonlu bir bölgesi *sonsuz* sayıda farklı klasik durumlara sahiptir ama *her zaman sonlu* sayıda ortogonal kuantum durumlarına denk düşer. Bu sayı bölgenin hacminin, serbestlik derecesi kuvvetindeki Planck sabitine bölünmesiyle elde edilir. Bu sonuç tamamen genelleştirilebilir bir sonuçtur.

dir; bir fiziksel sistemin bir diğeriyle bireysel etkileşimidir. Bir elektron, bir alan kuantumu veya bir foton uzayda bir rota izlemez, bunun yerine bir başka şeyle çarpıştığında belirli bir yerde ve belirli bir zamanda ortaya çıkar. Nerede ve ne zaman belirirler? Bunu kesin olarak öngörmenin bir yolu yoktur. Kuantum mekaniği dünyanın özüne temel bir belirsizlik özelliği katar. Gelecek gerçekten öngörülemezdir. Kuantum mekaniğinin öğrettiği ikinci temel şey budur.

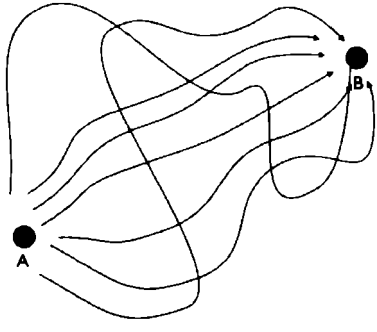
Bu belirlenemezlik nedeniyle kuantum mekaniğinin tarif ettiği dünya, nesnelerin sürekli olarak rastlantısal bir harekete bağlı olduğu bir dünyadır. Tüm değişkenler, sanki küçük ölçekte her şey her zaman titreşirmiş gibi sürekli olarak "dalgalanır". Biz her yerde, her zaman var olan bu dalgalanmaları göremeyiz çünkü çok küçüktürler ve büyük ölçekte, makroskopik nesneleri gözlemlediğimizde görünmezler. Bir taşa baktığımızda, taş bize hareketsiz görünür. Ama atomlarını inceleyebilseydik, kâh orada kâh burada, sürekli olarak bir titreşim içinde olduklarını görürdük. Kuantum mekaniği, dünyaya ne kadar ayrıntılı bakarsak onun o ölçüde daha az sabit olduğunu ortaya koyar. Dünya sürekli bir dalgalanmadır, mikro ölçekteki mikro olayların sürekli olarak kaynaşmasıdır. Dünya küçük çakıltaşlarından değil, bir titreşimden, bir kaynaşmadan oluşur.

Antik dönem atomculuğu modern fiziğin bir başka yönünü de önceden tahmin etmişti: Derin düzeyde olasılık yasalarının ortaya çıkması. Demokritos (Newton gibi), atomların hareketini sağlayan şeyin, kesin olarak, aralarındaki çarpışmalar olduğunu varsaymıştı. Ama atomcu halefi Epikuros, ustasının katı determinizmini düzeltti ve Heisenberg'in, Newton'ın deterministi atomculuğuna soktuğu belirsizliği antik dönemin atomculuğuna soktu. Epikuros için atomlar bazen rotalarından sapabi-

liyordu. Lucretius bunu çok güzel sözlerle ifade eder: Bu sapmalar "belirsiz yerlerde [...] ve zamanlarda"[1] olur. Aynı belirsizlik, derin düzeylerde ortaya çıkan aynı olasılık kavramı, kuantum mekaniğinin dünyaya ilişkin yaptığı ikinci önemli buluştur.

Öyleyse başlangıçta belirli bir A noktasında bulunan bir elektronun belirli bir süre sonra herhangi bir B noktasında yeniden ortaya çıkmasının olasılığı nasıl hesaplanabilir?

Daha önce söz ettiğim Richard Feynman 1950'lerde bu hesabı yapmanın son derece ilginç bir yolunu buldu: A'dan B'ye olan tüm yolları, yani elektronun izleyebileceği (düz, eğri, zikzaklı...) tüm rotaları göz önünde tutmak gerekir; her bir rota için belirli bir sayı hesaplanabilir; bu sayıların toplamı, daha sonra olasılığın hesaplanmasını sağlar. Burada bu hesabın ayrıntılarına girmeye gerek yok; önemli olan bir elektronun A'dan B'ye gitmek için sanki önce "olası tüm rotalar"dan geçip, yani bir bulut içine açılıp sonunda bir başka şeyle yeniden çarpıştığı B noktasına gizemli bir biçimde yönelirmiş gibi olmasıdır (Resim 4.6).



Resim 4.6. A'dan B'ye gitmek için bir elektron sanki olası tüm yollardan geçermiş gibi davranır.

1. *Evrenin Yapısı*, II, 218-219, s. 58. (Ç.N.)

Kuantum olayların olasılığını hesaplamak için kullanılan bu yönteme Feynman'ın "yollar toplamı"[1] denir ve sonra göreceğimiz gibi kuantum kütle çekiminde bir rol oynar.

Kuantum 3: Gerçeklik ilişkiseldir

Son olarak kuantum mekaniğinin hüküm sürdüğü dünyaya ilişkin üçüncü bir buluş vardır; –aralarındaki en derini ve en zoru olan– bu buluş hiçbir biçimde antik dönem atomculuğu tarafından öngörülmemiştir.

Kuram nesnelerin özelliklerinin ne "olduğu"nu tarif etmez, şeylerin nasıl olup bittiğini ve "birbirlerini nasıl etkiledikleri"ni tanımlar. Bir parçacığın nerede olduğunu değil, "diğerleri tarafından nerede görünür kılındığı"nı belirtir. Var olan şeyler dünyası, olası etkileşimler dünyasına indirgenir. Gerçeklik etkileşime indirgenmiştir. Gerçeklik ilişkiye indirgenmiştir.[2]

Bir anlamda bu, göreliliğin çok radikal biçimde genişletilmiş halidir. Aristoteles de daha önce bizim yalnızca *göreli* hızları algıladığımızı vurgulamıştı. Örneğin hızımızı bir gemideyken gemiye göre, yeryüzündeyse Dünya'ya göre değerlendiririz. Galileo bunun, Dünya'nın biz farkında olmadan Güneş'e göre hareket etmesinin nede-

1. Buna "Feynman integrali" de denir. A'dan B'ye gidiş olasılığı, rotanın klasik eylem için eksponansiyel fonksiyonunun kare modülünün sanal birimle çarpılıp Planck sabitine bölünmesiyle elde edilen terimin tüm yollar için alınan integralidir. [Bunların popüler anlatımı için: Richard Feynman, QED: *The strange theory of light and matter*, Princeton Science Library, 2006. [*Kuantum Elektrodinamiği/KEDİ: Işık ve Maddenin Tuhaf Kuramı*, çev. R. Örnür Akyüz, Pan Yayıncılık, İstanbul, 2010. (Ç.N.)]

2. Kuantum mekaniğinin bu ilişkisel yorumunun derinlemesine bir tartışması, (çok iyi) bir internet ansiklopedisi olan *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*'nin "Relational quantum mechanics" maddesinde (http://plato.stanford.edu/archives/win2003/entries/rovelli/) ya da *International Journal of Theoretical Physics*, Sayı 35 içinde, 1996, s. 1637, Carlo Rovelli, "Relational quantum mechanics"te (http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609002) bulunabilir.

ni olduğunu fark etmişti. Hızın tek başına bir nesneye ait bir özellik olmadığı anlaşılmıştı: Hız bir nesnenin hareketinin *bir başka nesneye göre* bir özelliğidir. Einstein görelilik kavramını zamana da uygulanabilecek biçimde genişletmişti: İki olayın, ikisinden birinin hareketinin durumuna göre eşzamanlı olduğunu söyleyebiliriz (bkz. sayfa 74'deki dipnot). Kuantum mekaniği bu göreliliği son derece radikal biçimde genişletir: Bir nesnenin *bütün* özellikleri yalnızca başka nesnelere göre var olur. Doğanın olguları yalnızca ilişkilerle ortaya çıkar.

Kuantum mekaniğinin nitelediği dünyada fiziksel sistemler arasında ilişki olmazsa gerçeklik de olmaz. İlişkiye giren şeyler nesneler değildir, "nesne" kavramını doğuran şey ilişkilerdir. Kuantum mekaniği dünyası nesneler dünyası değildir, temel olaylar dünyasıdır ve nesneler bu temel "olaylar"ın olmasıyla meydana gelir. Felsefeci Nelson Goodman'ın 1950'lerde, "Bir nesne, tekdüze bir süreçtir," sözleriyle çok güzel ifade ettiği gibi bir süre kendi kendini tekrar eden bir süreçtir bu. Bir taş, bir dalganın yeniden denize karışmadan önce kimliğini koruması gibi, yapısını bir süre devam ettiren bir kuantum titreşimidir.

Kendi geçmişinden başka bir şey taşımadan deniz üstünde hareket eden bir dalga nedir? Bir dalga, olduğu gibi kalan bir maddeden oluşmadığı anlamında, bir nesne değildir. Gövdemizdeki atomlar da bizden uzağa akar. Dalgalar ve diğer tüm nesneler gibi biz de bir olay akışıyız, kısa bir süreliğine tekdüze biçimde gerçekleşen süreçleriz.

Kuantum mekaniği nesneleri tanımlamaz: Süreçleri ve süreçler arasında gerçekleşen etkileşimler olan olayları tarif eder.

Özetlersek, kuantum mekaniği dünyanın üç özelliğinin keşfidir:

— *Taneciklilik.* Bir sistemin durumunun sahip olduğu bilgi sonludur ve Planck sabitiyle sınırlanır.

— *Belirsizlik*. Gelecek geçmiş tarafından kesin biçimde belirlenmez. Gördüğümüz en katı düzenli olma durumları bile aslında yalnızca istatistikseldir.
— *İlişkisellik*. Doğadaki olaylar her zaman bir etkileşimdir. Bir sistemin olayları bir başka sistemle ilişki durumunda gerçekleşir.

Kuantum mekaniği bize dünyayı, şu ya da bu durumda olan "şeyler" çerçevesinde değil, "süreçler" kapsamında düşünmeyi öğretir. Bir süreç, bir etkileşimden diğerine geçiştir. "Şeyler"in özellikleri *tanecikli* bir dünyada yalnızca etkileşim ânında, yani sürecin sınırında ortaya çıkar, öyle ki yalnızca diğer şeylerle *ilişki* içindedirler ve kesin olarak değil, yalnızca *olasılık* temelinde öngörülebilirler.

Bu, esas olarak Bohr, Heisenberg ve Dirac'in nesnelerin doğasının derinliklerine yaptıkları bir dalıştır.

Ama gerçekten anlaşılıyor mu?

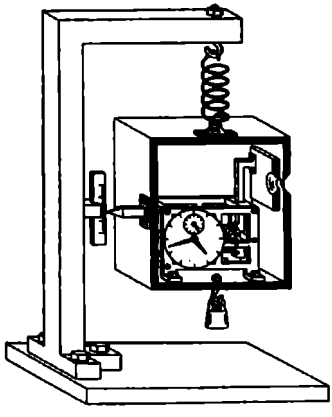
Kuantum mekaniği hiç şüphesiz bir başarı abidesidir. Ama... sen, akıllı okuyucu, kuantum mekaniğinin ne dediğini gerçekten anladığından emin misin? Etkileşimde bulunmadığı sürece hiçbir yerde olmayan bir elektron... hımm... nesnelerin yalnızca bir etkileşimden diğerine sıçrarken var olması... hımm... Sana biraz saçma görünüyor mu?

Einstein'a da saçma geliyordu.

Einstein bir yandan dünyaya ilişkin temel bir şeyler anladıklarını takdir ederek Werner Heisenberg'i ve Paul Dirac'i Nobel'e öneriyordu. Ama öte yandan böylelikle hiçbir şeyin anlaşılamadığını homurdanma fırsatını da kaçırmıyordu.

Kopenhag grubunun genç aslanları dehşete kapılmıştı: Nasıl, Einstein bile mi? Ruhani babaları, düşünülemez olanı düşünme cesaretini göstermiş olan adam, şimdi geri çekiliyor ve yolunu kendisinin açtığı bilinmeze doğru bu yeni sıçramadan korkuyor muydu? Zamanın evrensel olmadığını, uzayın eğildiğini öğreten Einstein'ın kendisi şimdi dünyanın bu kadar garip olamayacağını mı söylüyordu?

Niels Bohr yeni fikirleri Einstein'a sabırla açıklıyordu. Einstein karşı çıkıyordu. Bohr her zaman sonunda yanıtı bulmayı ve itirazları savuşturmayı başarıyordu. Görüş alışverişleri yıllarca konferanslarla, mektuplarla, makalelerle sürdü. Einstein yeni fikirlerin çelişkili olduğunu göstermek için düşünce deneyleri tasarlıyordu: En ünlü örneklerinden biri, "Çok kısa bir süre içinde yalnızca bir fotonun dışarı çıkmasına izin verdiğimiz ışık dolu bir kutu düşünelim..." diye başlıyordu (Resim 4.7).[1]



Resim 4.7. Bohr'un özgün çizimiyle Einstein'ın düşünce deneyindeki "ışık kutusu."

1. Kutuda sağdaki deliği bir an için açan bir mekanizma vardır ve belirli bir anda bir fotonun çıkmasına izin verir. Kutuyu tartarak dışarı çıkan fotonun enerjisini bulmak mümkündür. Einstein bunun, zamanın ve enerjinin her ikisinin birden belirlenemeyeceğini öngören kuantum mekaniğini zor durumda bırakacağını umuyordu. Einstein'ın gözlemine, Dirac'in bulamadığı ama bugün açık olan doğru yanıt, uzakta olsa bile kaçıp giden fotonun konumu ile kutunun ağırlığı arasında bir bağlantı olması, yani aralarında bir korelasyon olmasıdır.

Bu alışveriş süresince her iki dev de geri çekilmek ve fikir değiştirmek zorunda kaldı. Einstein yeni düşüncelerde aslında çelişki olmadığını kabul etmek zorunda kaldı. Bohr da işlerin başta düşündüğü kadar kolay ve açık olmadığını... Einstein temel sorun olarak gördüğü noktadan geri adım atmak istemiyordu: Neyin neyle etkileştiğinden bağımsız, nesnel bir gerçeklik var olmalıydı; diğer bir deyişle kuramın ilişkisel boyutu, nesnelerin yalnızca ilişkiler sonucu ortaya çıkması fikrine karşıydı. Bohr da gerçekliğin yeni kuramın kavramsallaştırıldığı bu yepyeni yaklaşımın geçerli olduğu görüşünden geri adım atmak istemiyordu. Einstein sonunda yeni kuramın dünyayı anlama yönünde atılmış tutarlı, dev bir adım olduğunu kabul etti ama nesnelerin bu kadar garip olamayacağına, "geride" daha mantıklı bir açıklama olması gerektiğine inanmaya devam etti. Aradan bir yüzyıl geçti ama hâlâ aynı noktadayız. Kuramı herkesten daha iyi ve ustaca kullanmayı bilen Richard Feynman şöyle yazmıştı: "Kuantum mekaniğini hiç kimsenin anlamadığını güvenle söyleyebileceğimi düşünüyorum."

Kuramın denklemleri ve bu denklemlerin sonuçları, fizikçiler, mühendisler, kimyacılar, biyologlar tarafından pek çok farklı alanda rutin olarak kullanılıyor. Ama gizemlerini koruyorlar: Bir fiziksel sisteme ne olduğunu değil, yalnızca bir fiziksel sistemin bir başka fiziksel sistemi nasıl etkilediğini tanımlıyorlar. Bu ne demektir?

Etkileşimde bulunmayan bir sistemin temel gerçekliğinin tanımlanamaz olduğu anlamına mı gelir? Yalnızca öyküde eksik bir parça olduğu anlamına mı gelir? Ya da, benim düşündüğüm gibi, gerçekliğin yalnızca etkileşim olduğu fikrini kabul etmemiz gerektiği anlamına mı gelir?

Fizikçiler ve felsefeciler kuramın gerçekten ne anlama geldiğini sorgulamaya devam ediyor ve son yıllarda

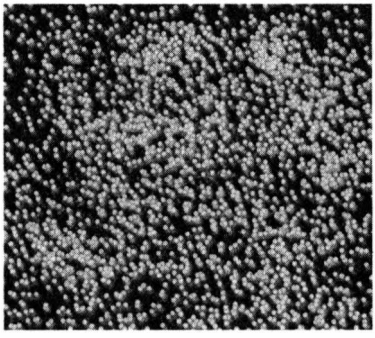
bu soru hakkında yazılan makalelerin ve düzenlenen konferansların sayısı arttı. Doğumundan bir yüzyıl sonra kuantum mekaniği nedir? Gerçekliğin doğasının derinliklerine olağanüstü bir dalış mıdır? Rastlantısal olarak işe yarayan bir gaf mıdır? Bir yapbozun eksik parçası mıdır? Yoksa dünyanın yapısına ilişkin henüz iyi hazmetmediğimiz derin bir şeyin ipucu mu?

Kuantum mekaniğinin burada sunduğum yorumu bana en az mantıksız gelen yorumdur. Buna "ilişkisel yorum" adı verilir ve Bas van Fraassen, Michel Bitbol ve İtalya'da Mauro Dorato gibi önde gelen felsefeciler tarafından tartışılmıştır.[1] Ama kuantum mekaniği hakkında gerçekten nasıl düşünmek gerektiği konusunda bir görüş birliği yoktur, gerek fizikçiler gerek felsefeciler farklı düşünce yöntemlerini tartışmaktadır. Bilmediklerimizin eşiğinde bulunuyoruz ve bu konuda farklı görüşler var.

Kuantum mekaniğinin yalnızca bir fizik kuramı olduğunu ve belki de yarın daha derin ve farklı bir dünya anlayışıyla düzeltileceğini aklımızdan çıkarmamalıyız. Bugün, içgüdülerimizle daha uyumlu duruma getirmek için onu esnetmeyi deneyenler de var. Oysa ben, kuramın mutlak deneysel başarısının bizi onu ciddiye almaya ve kuramda neyin değiştirileceğinden çok, sezgilerimizde onu bu kadar zor anlaşılır kılan ne gibi kısıtların olduğunu sorgulamaya itmesi gerektiğini düşünüyorum.

Kuramın çapraşıklığının kuantum mekaniğinden değil, sınırlı hayal gücümüzden kaynaklandığını sanıyo-

1. Bas van Fraassen, "Rovelli's world", *Foundations of Physics*, Sayı 40 içinde, 2010, s. 390-417; Michel Bitbol, *Physical Relations or Functional Relations? A Non-metaphysical Construal of Rovelli's Relational Quantum Mechanics*, Philosophy of Science Archives, 2007, http://philsci-archive.pitt.edu/3506/; Mauro Dorato, "Rovelli's Relational Quantum Mechanics, Monism and Quantum Becoming", *Philosophy of Science Archives* 2013, http://philsci-archive.pitt.edu/9964/ ve *Che cos'è il tempo? Einstein, Gödel e l'esperienza comune*, Carocci, Roma 2013.



Resim. 4.8 Işık, bir alanın dalgasıdır ama tanecikli bir yapısı da vardır.

rum. Kuantum dünyasını "görmeye" çalıştığımızda, birilerinin Himalayalar'ı anlatmaya çalıştığı yer altında yaşayan kör köstebekler gibi oluyoruz. Veya Platon'un öyküsündeki mağarada zincire vurulmuş insanlar gibi (Resim 4.8).

Einstein öldüğünde, en büyük rakibi Niels Bohr onun için çok dokunaklı hayranlık sözleri sarf etti. Birkaç yıl sonra Bohr öldüğünde biri çalışma odasındaki kara tahtanın bir fotoğrafını çekti: Üzerinde bir çizim vardı. Einstein'ın "ışık kutusu" düşünce deneyini temsil ediyordu. Kendini aşma ve daha çok şey öğrenme isteği son âna dek sürer. Kuşku, sonuna dek devam eder.

Daha iyi bilimin derinlerdeki kaynağı bu sürekli kuşkudur.

ÜÇÜNCÜ KISIM

KUANTUM UZAYI ve İLİŞKİSEL ZAMAN

Beni buraya kadar izlediysen sevgili okuyucu, temel fiziğin önerdiği en son dünya imgesini, onun gücünü, zayıflıklarını ve sınırlarını anlayabilmek için gerekli tüm unsurlara sahipsin demektir.

Elimizde eğri, kimsenin bilmediği bir biçimde 14 milyar yıl önce devasa bir patlamayla doğmuş olan ve o andan beri genişleyen bir uzay-zaman var. Bu uzay, Einstein denklemleriyle tanımlanan gerçek bir nesne ve fiziksel bir alandır. Uzay maddenin ağırlığıyla kıvrılır ve eğrilir, madde çok yoğun olduğunda da bir kara delik içine batabilir.

Madde yüz milyar gökadaya dağılmıştır, bunların her biri yüz milyar yıldıza sahiptir ve elektronlar ve fotonlar gibi parçacıklar biçiminde kendini gösteren kuantum alanlarından ya da bize televizyon görüntüleriyle güneşin ve uzak yıldızların ışığını getiren elektromanyetik alanlardan oluşur.

Bu kuantum alanları atomları, ışığı ve evrenin içerdiği her şeyi tanımlar. Bunlar garip nesnelerdir: Onları oluşturan parçacıkların her biri, yalnızca bir başka şeyle etkileştiğinde bir noktada konumlanıp ortaya çıkarken, tek başına bırakıldığında bir "olasılık bulutu" içinde yer alır. Dünya, bir denizdeki dalgalar gibi çalkalanan büyük, dinamik bir uzaya gömülmüş temel kuantum olaylarının kıpır kıpır kaynaşmasıdır.

Dünyanın bu imgesiyle ve onu oluşturan az sayıdaki denklemle gördüğümüz hemen her şeyi açıklayabiliriz.

Neredeyse her şeyi... Ama önemli bir şey eksiktir. Aradığımız da bu eksik şeydir. Kitabın geri kalanı bundan söz ediyor.

Devam ettiğinde, sevgili okuyucu, Dünya hakkında çok inanılır biçimde, iyi kötü bildiklerimizden çıkıp, halen bilmediğimiz ama kaba hatlarıyla görmeye başladığımız bir dünyaya adım atacaksın. Sayfayı çevirmek, bize kesinmiş gibi gelen şeylerin uzay gemisinin sağladığı güvenliğin dışına çıkmak gibi olacak.

5

UZAY-ZAMAN KUANTUMDUR

Fiziksel Dünya'ya ilişkin zengin bilgi birikimimizin özünde yine de çelişkili bir şey vardır. 20. yüzyılın bize bıraktığı iki mücevher, genel görelilik ile kuantum mekaniği, hem Dünya'yı anlamak için hem günümüz teknolojisi için cömert armağanlar sunar. İlkinden kozmoloji ve astrofizik ile kütle çekimi dalgaları ve kara deliklerle ilgili araştırmalar doğmuştur. İkincisi atom fiziğinin, nükleer fiziğin, temel parçacıklar fiziğinin, yoğun madde fiziğinin ve daha pek çok şeyin temeli olmuştur.

Ama ikisi arasında çatışan bir şeyler vardır. En azından şu anki biçimleriyle her ikisi birden doğru olamaz çünkü birbiriyle çelişirmiş gibi görünürler. Kütle çekimi alanı, kuantum mekaniği ve alanların kuantum alanları olduğu göz önünde tutulmadan tanımlanır, kuantum mekaniğiyse uzay-zamanın eğri ve Einstein denklemlerince tanımlanmış olduğu göz önünde tutulmadan oluşturulmuştur.

Üniversitede sabah genel görelilik dersine, öğleden sonra da kuantum mekaniği dersine giren bir fizik öğrencisi, profesörlerinin ya ahmak olduğunu ya da bir yüzyıldır birbiriyle konuşmayı unutmuş olduklarını düşünmeden edemez: Öğrencilere Dünya'nın birbiriyle çelişen iki imgesini öğretirler. Sabah, Dünya her şeyin *sürekli* oldu-

ğu *eğri* bir uzay-zamandır; öğleden sonra ise Dünya yalınık enerji kuantumlarının sıçrayıp durduğu *düz* bir uzay-zamandır.

Çelişki, her iki kuramın da harika bir biçimde işlemesinde yatar. Doğa sanki bize, aralarındaki anlaşmazlığı çözmek için başvuran iki kişiye hahamın davrandığı gibi davranıyor. İlk adamı dinleyen haham ona, "Haklısın," demiş. İkincisi, hahamın kendisini de dinlemesinde ısrarcı olmuş, haham onu da dinlemiş ve ona, "Sen de haklısın," demiş. Hahamın yan odadan olaya kulak misafiri olan karısı seslenmiş: "Ama ikisi birden haklı olamaz ki!" Haham düşünmüş, başını sallamış, sonunda, "Sen de haklısın," demiş. İki kuramın da görünürde temel aldığı varsayımların zıt olmalarına karşın, her deneyde, her sınamada doğa hem genel göreliliğe hem de kuantum mekaniğine "haklısın" demeye devam ediyor. Belli ki hâlâ gözümüzden kaçan bir şey var.

Pek çok fiziksel durumda kuantum mekaniğinin belirli öngörülerini göz ardı edebiliriz. Ay çok küçük ölçekteki kuantum taneciklliliğinden etkilenmek için çok büyüktür, bu nedenle de hareketini açıklarken kuantumları unutabiliriz. Öte yandan bir atom, uzayı hissedilir ölçüde bükmek için çok hafiftir, onu tanımlarken de uzayın eğriliğini ihmal edebiliriz. Ama hem uzayın eğriliğinin, hem kuantum taneciklliliğinin işin içine girdiği fiziksel durumlar vardır ve elimizde bunlar için işe yarar bir fizik kuramı yoktur.

Bunun bir örneği kara deliklerin içidir. Bir başka örnek de Büyük Patlama sırasında ne olduğudur. Daha genel olarak çok küçük ölçekte uzayın ve zamanın nasıl davrandığını bilmiyoruz. Bu durumların hepsinde bugün doğrulanmış olan kuramlar belirsizleşir ve artık hiçbir şey açıklamaz olur: Kuantum mekaniği uzay-zaman eğriliğinin üstesinden gelemiyor, genel görelilik de kuan-

tumları göz önünde tutmayı başaramıyor. Kuantum kütle çekimi probleminin kaynağı budur.

Bununla birlikte problem çok daha derindir. Einstein uzayın ve zamanın bir fiziksel alanın dışavurumu olduğunu anlamıştı: Bu alan kütle çekimi alanıydı. Bohr, Heisenberg ve Dirac, her fiziksel alanın kuantum özelliklerine sahip olduğunu anlamıştı: tanecikli, olasılığa dayalı ve etkileşimlerle ortaya çıkan bir alan. Bundan da gerek uzayın, gerek zamanın bu garip özelliklere sahip kuantum nesneleri olmaları gerektiği sonucu çıkar.

Öyleyse kuantum uzayı nasıl bir şeydir? Kuantum zamanı nedir? Bu, "kuantum kütle çekimi" dediğimiz problemdir.

Beş kıtaya yayılmış kuramsal fizikçilerden oluşan bir grup, harıl harıl sorunu çözmeye çalışıyor: Hedefleri, öncelikle kuantum ile kütle çekimi arasındaki bu bölünmeyi ortadan kaldıracak bir kuram, yani bir takım denklemler ve her şeyden önemlisi dünyaya ilişkin tutarlı bir görüş bulmaktır.

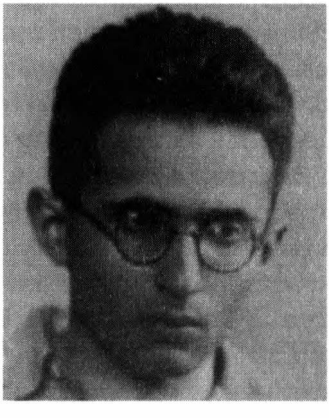
Fizik, görünürde birbiriyle çelişen çok başarılı iki kuramla ilk kez karşı karşıya kalmıyor. Benzer örneklerde, bir sentez yaratma çabası genellikle dünyanın anlaşılması yönünde atılan büyük adımlarla ödüllendirilmiştir. Örneğin Newton evrensel çekimi tamamen, cisimlerin yere nasıl düştüğünü açıklayan Galileo fiziği ile Kepler'in gezegenler fiziğini birleştirerek buldu. Maxwell ve Faraday elektromanyetizma denklemlerini, elektrik ve manyetizma hakkında bilinenleri bir araya getirerek buldu. Einstein, Newton mekaniği ile Maxwell elektromanyetizması arasındaki görünürde var olan çelişkiyi çözmek için özel göreliliği, sonra da Newton'ın kütle çekimi kuramı ile kendi özel görelik kuramı arasındaki çelişkiyi çözmek için genel göreliliği buldu.

Bir kuramsal fizikçi, bu nedenle bu türden bir çeliş-

ki bulduğunda mutlu olur; bu olağanüstü bir fırsattır. Sorulacak doğru soru şudur: Dünya hakkında düşünmek için, her iki kuram sayesinde keşfettiğimiz şeylerle tutarlı olabilecek kavramsal bir yapı oluşturabilir miyiz?

Kuantum uzayının ve kuantum zamanının ne olduklarını anlamak için nesneleri kavrama biçimimizde büyük değişiklik yapmamız gerekir. Dünya anlayışımızın dilbilgisini yeniden düşünmeli ve onu temelden gözden geçirmeliyiz. Dünya'nın uzayda uçtuğunu ve evrende alt ve üst diye bir şeyin olmadığını anlayan Anaksimandros gibi, gökyüzünde çok yüksek bir hızla hareket ettiğimizi anlayan Copernicus gibi veya uzay-zamanın bir yumuşakça gibi kıvrıldığını ve zamanın farklı yerlerde farklı biçimlerde geçtiğini anlayan Einstein gibi, bugüne dek Dünya'ya ilişkin öğrendiklerimizle tutarlı bir dünya görüşü aramak için gerçekliğe dair düşüncelerimiz bir kez daha değişmek zorundadır.

Kuantum kütle çekimini anlamak için kavramsal temellerimizin değişmesi gerektiğini ilk fark eden, romantik ve efsanevi bir kişilik olan Matvei Bronštejn oldu: Stalin zamanında yaşamış bu gencecik Rus'un ölümü çok trajik oldu (Resim 5.1).



Resim 5.1. Matvei Bronštejn.

Matvei

Matvei, daha önce söz ettiğim gibi, sonradan Sovyetler Birliği'nin en büyük kuramsal fizikçisi olan Lev Landau'nun ondan birkaç yaş küçük arkadaşıydı. Her ikisini de tanıyan meslektaşları Matvei'in daha parlak olduğunu söylerdi. Heisenberg ve Dirac, kuantum mekaniğinin temellerini oluşturmaya başladıkları sırada Landau yanılarak elektromanyetik alanın kuantumlar nedeniyle eksik tanımlanmış olacağını anladığına inanmıştı. Büyük usta Bohr, Landau'nun yanıldığını hemen anladı, sorunu derinlemesine inceledi ve elektrik alanı gibi alanların, kuantum mekaniği göz önünde tutulduğunda bile iyi tanımlanmış olarak kalacaklarını göstermek için uzun ve ayrıntılı bir makale yazdı.[1]

Landau işin peşini bıraktı. Ama bu konu Landau'nun sezgisinin tam olarak doğru olmamakla birlikte önemli bir şeyler içerdiğini hisseden genç arkadaşı Matvei'in merakını uyandırdı. Bohr'un kuantum elektrik alanının uzayın her noktasında iyi tanımlanmış olduğunu gösterirken kullandığı akıl yürütmeyi, Einstein'ın birkaç yıl öncesinde denklemlerini yazdığı kütle çekimi alanına uygulayarak tekrar etti. Landau haklıydı! Bir noktadaki kütle çekimi alanı, kuantumlar göz önünde tutulduğunda artık iyi tanımlanmış olmuyordu.

Olan biteni anlamak için basit bir yol var. Uzayın çok, çok, çok küçük bir bölgesini gözlemlemek istediğimizi varsayalım. Bunu yapabilmek için, söz konusu noktayı işaretlemek amacıyla bu bölgeye bir şey yerleştirmemiz gerekir: Örneğin oraya bir parçacık koyarız. Ama Heisenberg bir parçacığın uzayın bir noktasında bir an-

1. Niels Bohr ve Léon Rosenfeld'in alanların ölçülebilirliği hakkındaki ünlü çalışması, "Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs", *Mathematiks-fysike Meddelelser*, Sayı 12 içinde, 1933.

dan daha uzun süre konumlandırılamayacağını anlamıştı. Parçacık sonra oradan kaçar. Bir parçacık ne kadar küçük bir uzay bölgesinde aranırsa kaçış hızı da o kadar yüksek olur. (Bu Heisenberg'in "belirsizlik ilkesi"dir.) Parçacık büyük hızla kaçıyorsa yüksek enerjiye sahiptir demektir.

Bununla birlikte şimdi Einstein'ın kuramını anımsayalım. Enerji uzayı eğriltir. Bu, ne kadar çok enerji varsa uzayın o kadar çok eğrileceği anlamına gelir. Çok küçük bir uzay bölgesine çok enerji yoğunlaştırırsam bunun sonucu uzayı çok fazla eğriltmem olur, bölge tıpkı çöken bir yıldız gibi bir kara deliğe batar. Ama bir parçacık bir kara deliğe düşmüşse onu artık göremem. Parçacığı uzayın bir bölgesini istediğim gibi tespit etmek için artık kullanamam. Kısacası uzayın istediğim kadar küçük bölgelerini ölçmeyi başaramam çünkü bunu denediğimde bu bölgeler bir kara delik içinde kaybolur.

Bu sav biraz matematik yardımıyla daha kesin hale getirilebilir. Sonuç genel niteliktedir: Kuantum mekaniği ve genel görelilik birlikte ele alındıklarında uzayın bölünebilirliğinin bir sınırı olduğu sonucunu verir. Belirli bir ölçeğin altında hiçbir şeye ulaşılamaz. Hatta bu ölçekte hiçbir şey yoktur.

Bu ölçeğin büyüklüğü nedir? Hesabı çok basittir: Bir parçacığın kendi kara deliğine düşmeden önceki en küçük boyutunu hesaplamak yeterlidir, sonuç da çok basittir. Var olan en küçük uzunluk yaklaşık olarak şu formülle hesaplanır:

$$L_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$$

Bu *denklemin* sağ yanında, karekök işaretinin altında, daha önce karşılaştığımız üç evrensel sabit vardır: Kütle çekimi kuvvetinin büyüklüğünü belirleyen, 2. Bölüm'de söz ettiğim Newton sabiti G; 3. Bölüm'de göre-

lilikten söz edilirken karşımıza çıkan ışık hızını, yani "uzatılmış şimdiki zaman"ın açıklığını veren c ve 4. Bölüm'de kuantum mekaniğinden söz ederken karşılaştığımız, kuantum tanecikliliğinin büyüklüğünü belirleyen Planck sabiti $\hbar$.[1] Bu üç sabitin olması, kütle çekimiyle (G), görelilikle (c) ve kuantum mekaniğiyle ($\hbar$) ilgili bir şeyle karşı karşıya olduğumuzu kanıtlar.

Bu yöntemle hesaplanan L_p uzunluğuna "Planck uzunluğu" denir. Aslında "Bronštejn uzunluğu" olarak adlandırmak gerekirdi ama hayat böyle işte. Sayısal olarak bir santimetrenin bir milyar kere, milyar kere, milyar kere milyonunda biri (10^{-33} cm) kadardır. Nasıl söylesem... gerçekten çok küçük. Kuantum kütle çekimi de bu çok küçük ölçekte ortaya çıkar. Bu ölçekte uzayın ve zamanın doğası değişir. Başka bir şeye, "kuantum uzayı ve kuantum zamanı"na dönüşürler, sorun da bunun ne anlama geldiğini kavramaktır. (Söz ettiğimiz boyutların ne kadar küçük olduğuna ilişkin bir fikir vermek için, bir cevizi görebildiğimiz evren boyutlarına büyütelim, Planck uzunluğunu yine de göremezdik: Devasa boyutlarda büyütülmüş olmasına karşın bir cevizden hâlâ bir milyon kez daha küçük olurdu.)

Matvei Bronštejn bunların tümünü 1930'larda anlamış ve kuantum mekaniği ile genel göreliliğin, sahip olduğumuz uzayın sonsuz bölünebilir bir süreklilik olduğuna dair alışılagelmiş genel düşünceyle tutarlı olmadığını gösteren iki kısa ve aydınlatıcı makale yazmıştı.[2]

1. Planck sabiti h'nin üzerindeki çizik yalnızca Planck sabitinin 2π'ye bölündüğü anlamına gelir, biraz gereksiz ve kuramsal fizikçilere özgü bir işarettir: h üstüne bir çizgicik koymak "çok zarif"tir.

2. Bkz. Matvei Bronštejn, "Quantentheorie schwacher Gravitationsfelder", *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, Sayı 9 içinde, 1936, s. 140-157; "Kvantovanie gravitatsionnykh voln", *Pi'sma v Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*, Sayı 6 içinde, 1936, s. 195-236.

Ama bir sorun vardı. Hem Matvei hem Lev coşkulu birer komünistti. İnsanın özgürleşmesi için devrime, adaletsizliğin ve bugün dünyanın her yerinde sürekli olarak arttığını gördüğümüz eşitsizliğin olmadığı daha iyi bir toplum yaratmaya inanıyorlardı. Lenin'i coşkuyla izlemişlerdi. Stalin başa geçtiğinde her ikisi de önce şaşkınca, sonra eleştirel, sonra da düşmanca davrandı. Eleştiri yazıları kaleme aldılar... İstedikleri komünizm bu değildi... Ama zor zamanlardan geçiyorlardı. Landau güçlükle de olsa yakayı kurtardı.

Matvei, uzay ve zamana ilişkin düşüncelerimizin kökten değişmeleri gerektiğini ilk kez anladıktan bir yıl sonra Stalin rejiminin polisi tarafından tutuklandı ve idam cezasına çarptırıldı. İnfazı duruşmayla aynı gün, 18 Şubat 1938'de gerçekleştirildi.[1] Otuz yaşındaydı.

John

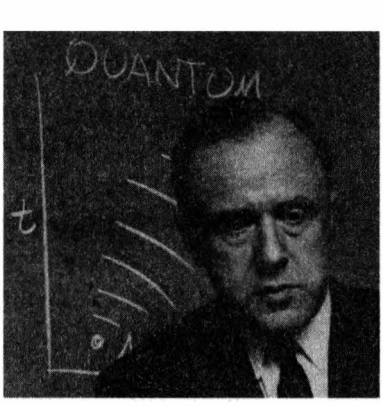
Matvei Bronštejn'in zamansız ölümünden sonra yüzyılın pek çok büyük fizikçisi kuantum kütle çekimi bilmecesini çözmeye girişti. Dirac ömrünün geri kalanını problemi çözmeye adadı ve yeni yollar açarak kuantum kütle çekimi konusunda günümüz teknik çalışmalarının önemli bir bölümünün dayandığı düşünceler ve teknikler ortaya koydu. Biraz aşağıda açıklayacağım gibi, zamanın olmadığı bir dünyayı bu teknikler sayesinde tanımlayabildik. Feynman elektronlar ve fotonlar için geliştirdiği teknikleri genel göreliliğe uyarlamayı denedi ama başarısız oldu: Elektronlar ve fotonlar uzayda yer alan kuantumlardır. Kuantum kütle çekimi ise başka bir şeydir:

1. Bkz. Gennady E. Gorelik, Victor Frenkel, *Matvei Petrovich Bronstein and Soviet Theoretical Physics in the Thirties*, Birkhauser Verlag, Boston, 1994. "Bronštejn" Troçki'nin de gerçek soyadıydı.

"Gravitonlar"ı tanımlamak yetmez; "kuantumlaşmış" olan uzayın kendisidir. Kuantum kütle çekimi problemini çözmeye çalışırken, neredeyse yanlışlıkla başka problemler çözen birkaç fizikçiye Nobel Ödülü verildi. Örneğin iki Hollandalı fizikçi Gerard't Hooft ve Martinus Veltman, bugün çekirdek kuvvetlerini tanımlamakta kullanılan kuramların tutarlılığını gösterdikleri için 1999'da Nobel Ödülü kazandı ama araştırma programlarının amacı bir kuantum kütle çekimi kuramının tutarlılığını kanıtlamaktı. Bu diğer kuvvetlerle ilgili kuramlar üzerinde ön alıştırma yapmak için çalışıyorlardı. "Ön alıştırma" onlara Nobel'i getirdi ama kuantum kütle çekiminin tutarlılığını göstermeyi başaramadılar.

Liste uzatılabilir ve yüzyılın fizikçileri için bir onur listesine benzeyebilir. Başarısızlıklar göz önünde tutulursa bir utanç geçidi de olabilir. Uzun yıllar boyunca iyimser coşku dönemleri ile hayal kırıklıkları dönemleri birbirini izledi. Yine de bu arayış boşa kürek çekmek anlamına gelmedi. Onlarca yıl boyunca düşünceler yavaş yavaş netleşti, çıkmaz sokaklar araştırıldı ve terk edildi, genel fikirler ve teknikler güçlendirildi ve sonuçlar üst üste yığılmaya başladı. Yavaş yavaş meydana getirilen bu ortak yapıya katkıda bulunmuş olan çok sayıdaki insanı burada anmak, yapıya her biri bir kum tanesi ya da bir tuğlayla katkıda bulunmuş adların sıkıcı bir listesinden başka bir şey olmaz.

Yalnızca en azından yıllarca bu ortak araştırmanın iplerini elinde tutan, yarı felsefeci yarı fizikçi, her daim genç, muhteşem İngiliz Chris Isham'ı anmak isterim. Bu probleme onun bu konuyu ele alan bir makalesini okurken âşık oldum. Makale bunun neden zor bir problem olduğunu açıklıyor, uzay ve zaman algılarımızın nasıl değişmesi gerektiğini anlatıyor ve o zaman izlenen tüm yolların, her birinin sonuçları ve güçlükleriyle kolay an-



Resim 5.2. John Wheeler.

laşılır genel bir görünümünü çiziyordu. Üniversitenin üçüncü sınıfındaydım ve uzay ile zamanı en baştan anlayabilmek için okumak beni büyülemişti, bu büyülenme gizemin çevresindeki yoğun sis dağılmaya başladığında bile azalmadı. Petrarca'nın sözleriyle: "Ok yarası yayın gevşemesiyle iyileşmez."

Kuantum kütle çekimi araştırmalarının gelişmesine en çok katkıda bulunan kişi, geçen yüzyılın fiziğini başından sonunda dek yaşayan destansı kişilik John Wheeler oldu (Resim 5.2). Kopenhag'da Niels Bohr'un öğrencisi ve çalışma arkadaşı olan Wheeler, Einstein ABD'ye taşındığında onunla birlikte çalışmıştı ve öğrencileri arasında Richard Feynman gibi kişiler vardı. John Wheeler yüzyıl boyunca fiziğin tam kalbinde yer almıştı. Çok canlı bir hayal gücüne sahipti. Uzayda hiçbir şeyin artık dışarı çıkamadığı bölgeler için "kara delik" adını bulan ve yaygınlaştıran oydu. Adı özellikle, kuantum uzay-zaman hakkındaki, genellikle matematiksel olmaktan çok sezgisel olan araştırmalarla anılır. Bronštejn'in çekim alanının kuantum özelliklerinin küçük ölçekte uzay kavramında bir değişiklik gerektirdiğini anlatan dersini derinlemesine özümseyen Wheeler bu kuantum uzayı üzerinde dü-

şünmek için imgeler aradı. Onu üst üste binmiş bir farklı geometriler bulutu olarak hayal etti, böylece kuantum elektronu gibi onu da farklı konumlar bulutu içinde çözünmüş olarak düşünebilirdik.

Çok yüksekten uçan bir uçaktan denize baktığınızı düşünün: Sanki düz ve masmavi görünen engin bir bölge görürsünüz. Şimdi biraz alçalın ve daha yakından bakın. Deniz yüzeyinde kuvvetle esen bir rüzgârın yarattığı büyük dalgaları görmeye başlarsınız. Daha da alçaldığınızda dalgaların kırıldığını ve deniz yüzeyinin girintili çıkıntılı bir köpük gibi olduğunu görürsünüz. John Wheeler'ın hayalinde canlandırdığı uzay böyle bir şeydi.[1] Planck ölçeğinden çok daha büyük olan bizim ölçeğimizde uzay pürüzsüz ve düzdür ve Eukleides geometrisi tarafından tarif edilir. Ama Planck ölçeğine indiğimizde girintili çıkıntılı ve köpüksüdür.

Wheeler uzayın bu köpüklenmesini, yani farklı geometrilerin olasılık dalgasını tanımlamak için bir yöntem aradı. 1966'da çözümü ona Carolina'da oturan genç bir meslektaşı, Bryce DeWitt sundu.[2] Wheeler sık sık yolculuk yapardı, meslektaşlarıyla da nerede olabiliyorsa orada görüşürdü. Bryce'tan da bir aktarma için bir-iki saat kalacağı Kuzey Carolina'nın Raleigh Durham Havalimanı'nda onunla buluşmasını istemişti. Bryce onunla buluştu ve ona basit bir matematik numarasıyla elde ettiği bir "uzay dalga fonksiyonu" denklemi gösterdi.[3] Wheeler

1. Bu benzetmeyi http://www.webofstories.com/play/9542?o=MS adresinde kendi sesinden dinleyebilirsiniz.

2. Bu olayı anımsayan Bryce De Witt'in ses kaydı http://www.aip.org/history/ohilist/23199.html adresinden dinlenebilir.

3. DeWitt genel göreliliğin (kısa süre önce Peres tarafından kaleme alınan) Hamilton-Jacobi denklemindeki türevlerinin yerine türev operatörlerini kullanmıştı. Yani Schrödinger'in ilk çalışmasındaki denklemi yazmak için kullandığı yöntemin tıpatıp aynısını yapmıştı: Schrödinger de bir parçacığın Hamilton-Jacobi denkleminin türevlerinin yerine türev operatörlerini koymuştu.

çok heyecanlandı. Sohbetlerinden genel göreliliğin bir tür "orbital denklemi", belirli bir eğri uzayı ya da bir başkasını gözlemleme olasılığını belirlemesi gereken bir denklem doğdu. Wheeler bu denkleme uzun süre "DeWitt denklemi", DeWitt de "Wheeler denklemi" dedi. Diğer herkes denkleme Wheeler-DeWitt denklemi adını verdi.

Fikir çok iyidir ve kuantum kütle çekimi kuramını oluşturmayı denemek için bir temel oluşturur, ama denklemde ciddi problemler vardır. Öncelikle matematik açısından gerçekten kötü tanımlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılmak istendiğinde, kısa süre içinde anlamsız sonsuz sonuçlar verdiği fark edilir. Gerçekten kullanılmak istenirse biraz daha iyi biçimde yeniden ifade edilmelidir.

Ama her şeyden öte, denklemin nasıl yorumlanması gerektiği ve tam olarak ne anlama geldiği anlaşılmaz. En sarsıcı özelliklerinden biri, denklemin artık zaman değişkeni içermemesidir. Bir şeyin zaman içindeki değişimini hesaplamak için bu denklem nasıl kullanılabilir? Zaman değişkeni olmayan bir fizik kuramı ne anlama gelir? Araştırmalar yıllarca buna benzer sorular çevresinde dönecek, denklemi daha iyi tanımlamak ve ne anlama geldiğini anlamak için orasını burasını değiştirme denemelerine girişilecekti.

İlmek [*loop*] kuramının ilk adımları

Sis 1980'lerin sonuna doğru dağılmaya başladı. Şaşırtıcı biçimde Wheeler-DeWitt denkleminin bazı çözümleri ortaya çıktı. Bunu yoğun ve ateşli tartışmaların yaşandığı bir dönem izledi. O yıllarda önce Hint fizikçi Abhay Ashtekar'ın davetlisi olarak New York eyaletinin Syracuse Üniversitesi'nde, sonra ABD'li fizikçi Lee Smolin'in ziyaretçisi olarak Connecticut'daki Yale Üniversitesi'nde bulunuyordum. Ashtekar, Wheeler-DeWitt for-

mülünün daha basit biçimde yeniden yazılmasına katkıda bulunmuş, Smolin de Washington'daki Maryland Üniversitesi'nden Ted Jacobson'la birlikte denklemin bu garip çözümlerinin kapısını aralayan ilk fizikçilerden biri olmuştu.

Çözümlerin garip bir özelliği vardı: Uzayda *kapalı çizgiler*e bağlıydılar. Kapalı bir çizgi, bir "halka" veya "ilmek" ya da İngilizce söylenişiyle "*loop*"tur. Kendi içinde kapalı her çizgi için Wheeler-DeWitt denkleminin bir çözümü yazılabiliyordu. Bu ne anlama geliyordu? Büyük bir coşku atmosferinde daha sonra ilmek kuantum kütle çekimi kuramı olacak olan şeyin ilk çalışmaları başladı, Wheeler-DeWitt denkleminin bu çözümlerinin anlamı adım adım açıklığa kavuştu ve daha ilk çözümlerden itibaren "ilmek kuramı" adını alan tutarlı bir kuram yavaş yavaş bu çözümler üzerinde yükselmeye başladı.

Bugün Çin'den Güney Amerika'ya, Endonezya'dan Kanada'ya dünyanın her yerine yayılmış yüzlerce fizikçi bu kuram üzerinde çalışıyor. Yavaş yavaş ayağa kalkan bu kurama bugün "ilmek kuramı" ya da "ilmek kuantum kütle çekimi" deniyor; kitabın bundan sonraki bölümleri bu kurama ayrılmıştır. Kuram (ne yazık ki hepsi yabancı üniversitelerde çalışan) çok parlak genç İtalyanların da öne çıktığı kuramcı grupları tarafından dünyanın (İtalya dışında) neredeyse tüm gelişmiş ülkelerinde geliştirildi. Temel araştırmanın denediği tek yol bu değil ama pek çoklarına göre en ümit verici olanı.[1] Bu kuramın gerçeklikle ilgili sunduğu genel görünüm garip ve sarsıcıdır. Önümüzdeki iki bölümde bunu anlatmayı deneyeceğim.

1. İlmek kuantum kütle çekimine alternatif olabilecek en önemli kuram sicim kuramıdır.

6

UZAY KUANTUMLARI

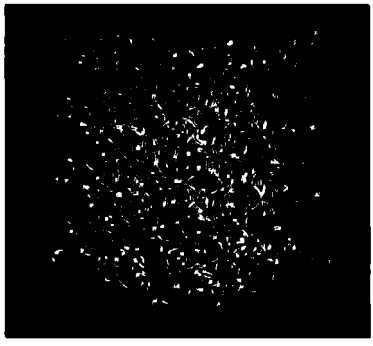
Önceki bölüm kuantum kütle çekiminin temel varsayımsal denklemi olan Wheeler-DeWitt denklemine Jacobson ve Smolin'in bulduğu çözümlerle sona ermişti. Bu çözümler kendi içlerinde kapalı çizgilere yani "ilmekler"e bağlıdır. Bu çözümlerin anlamı nedir? Neyi temsil ederler?

Faraday çizgilerini anımsıyor musunuz? Hani şu elektrik kuvvetini taşıyan ve Faraday'in hayalinde uzayı dolduran çizgileri? Alan kavramının kaynağındaki çizgileri? Peki öyleyse, Wheeler-DeWitt denklemlerinin çözümlerinde ortaya çıkan kapalı çizgiler de kütle çekimi alanının Faraday çizgileridir.

Ama Faraday'in düşünceleriyle karşılaştırıldığında iki yenilik vardır.

Birincisi burada artık kuantum kuramıyla uğraşıyor olmamızdır. Kuantum kuramında her şey yalınık ve "kuantumlaşmış"tır. Bu, Faraday çizgilerinin sonsuz incelikteki sürekli örümcek ağının, artık sonlu sayıda bağımsız iplikten oluşan gerçek bir örümcek ağı gibi olması sonucunu doğurur. Bir çözüm belirleyen her bir çizgi bu örümcek ağının bir ipliğini tanımlar.

Daha kritik öneme sahip olan ikinci yenilik, kütle çekiminden söz ediyor olmamız, yani Einstein'ın anladığı gibi, uzaya gömülü durumdaki alanlar yerine uzayın kendi yapısının söz konusu olmasıdır. Kuantum kütle çekimi



Resim 6.1. Kuantum Faraday kuvvet çizgileri uzayı iç içe geçmiş ilmeklerden (*loop*'lardan) oluşan üç boyutlu bir ağ gibi örer.

alanının Faraday çizgileri uzayın dokusunu ören iplikler-dir. Başlangıçta tüm araştırmalarda dikkatler bu çizgiler üzerinde yoğunlaşmıştı ve bunların "iç içe geçerek" üç boyutlu uzayımızı nasıl ortaya çıkarabildiği merak ediliyordu. Resim 6.1 bunun sonucunda uzayın ayrık bölümlerden oluşmuş yapısına ilişkin sezgisel bir fikir veriyor.

Bununla birlikte kısa süre içinde Arjantinli Jorge Pullin ve Polonyalı Jurek Lewandowski gibi parlak gençlerin sezgileri ve matematik becerileri sayesinde bu çözümlere dair fiziği anlamak için anahtarın bu çizgilerin birbirlerine değdiği noktalarda olduğu anlaşılmaya başladı. Bu noktalara "düğüm" [İngilizcede "*node*"], düğümler arasındaki çizgilere de "bağlantı" [İngilizcede "*link*"] denir. Birbirlerine değen bu çizgilerin oluşturduğu bir gruba yani Resim 6.3' teki gibi bağlantılarla bağlanmış düğümlere "çizge" [ya da "graf", İngilizcede "*graph*"] denir. Bir hesaba göre düğümler olmazsa fiziksel uzayın hacmi de olmaz. Bir başka ifadeyle, uzayın hacmi çizgilerde değil, çizge düğümlerinde "bulunur". Çizgiler hacimleri birbirlerine "bağlar".

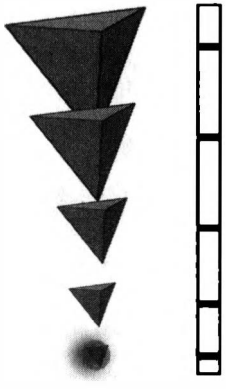
Ama resmin netleşmesi için yıllarca beklemek gerekecekti. Önce Wheeler-DeWitt denkleminin kesin olmayan matematiğini hesap yapabilmek için tutarlı ve iyi tanımlanmış bir matematiksel yapıya dönüştürmek gerekti.

Kesin sonuçlara bunlar sayesinde ulaşıldı. Bu çizgelerin fiziksel anlamını açıklığa kavuşturan sonuç, teknik olarak hacim ve yüzölçümü spektrumlarının hesaplanması oldu.

Hacim ve yüzölçümü spektrumları

Uzayın herhangi bir bölgesini alın. Örneğin, sevgili okuyucu, (bir odada okuyorsan) bu kitabı okuduğun odanın hacmi olsun. Bu uzayın büyüklüğü ne kadardır? Oda uzayının boyutları hacmi tarafından belirlenir. Hacim uzayın geometrisine bağlı geometrik bir büyüklüktür ama –Einstein'ın anladığı ve 3. Bölüm'de anlattığım gibi– uzayın geometrisi kütle çekimi alanıdır. Dolayısıyla hacim, odanın duvarları arasında "ne kadar kütle çekimi alanı" olduğunu ifade eden bir kütle çekimi alanı değişkenidir.

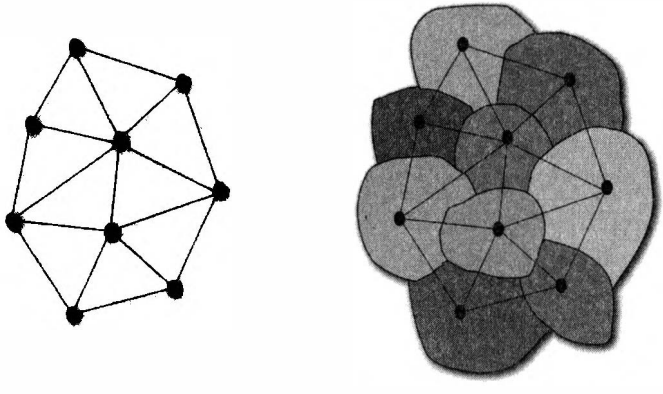
Ama kütle çekimi alanı fiziksel bir büyüklüktür ve tüm fiziksel büyüklükler gibi kuantum mekaniği kurallarına bağlıdır. Özellikle de tüm fiziksel nicelikler gibi hacim de gelişigüzel değerler almaz, 4. Bölüm'de anlattığım gibi yalnızca belirli değerler alabilir. Mümkün olan tüm değerler listesine "spektrum" denir. Dolayısıyla bir "hacim spektrumu" var olmalıdır (Resim 6.2).



Resim 6.2. Hacmin spektrumu: Bir üçgen piramidin doğada alabileceği hacimler yalnızca sınırlı sayıdadır. En alttaki, en küçüğü, var olan en küçük hacimdir.

Dirac herhangi bir değişkenin spektrumunu, yani bu değişkenin alabileceği değerlerin listesini hesaplamamızı sağlayan formülleri bulmuştu. Bu formülü uygulayarak hacmin spektrumunu, yani hacmin alabileceği tüm değerleri hesaplayabiliriz. Bu hesaplamayı düzenlemek ve sonuca ulaştırmak zaman aldı ve çok zahmetli oldu. Ama 1990'ların ortasında tamamlandı ve sonuçta, beklendiği gibi (Feynman sonucu önceden bilinmeyen hiçbir hesaplamaya girişilmemesi gerektiğini söylerdi) hacim spektrumunun yalınık özellikte olduğu ortaya çıktı. Yani hacim yalnızca "yalınık paketler"den oluşmuş olabilirdi. Biraz "yalınık paketler"den, yani fotonlardan oluşan elektromanyetik alan enerjisi gibi...

Çizgenin düğümleri yalınık hacim paketlerini temsil eder ve fotonlar gibi, yalnızca hesaplanabilen belirli bazı büyüklükler alabilir. Çizgenin her bir n düğümünün kendi v_n hacmi vardır. Düğümler uzayı oluşturan temel "kuantumlar"dır. Her düğüm "uzayın kuantum taneciğidir." Ortaya çıkan yapı Resim 6.3'te gösterildiği gibidir.



Resim 6.3. Solda bağlantılarla birleştirilmiş düğümlerden oluşan bir çizge. Sağda çizgenin temsil ettiği uzay tanecikleri. Bağlantılar, yüzeylerle ayrışmış komşu tanecikleri gösterir.

Anımsıyor musunuz? Bir bağlantı, kütle çekimi alanının bir Faraday çizgisinin tekil bir kuantumudur. Şimdi neyi temsil ettiği anlaşılıyor: İki düğümü uzayın iki küçük "bölgesi" gibi düşünürseniz, bu iki bölge birbirinden küçük bir yüzeyle ayrılacaktır. Bu yüzeyin boyutu *yüzölçümü* tarafından belirlenir. Bu nedenle uzayın bu kuantum ağlarını, hacimden sonra nitelendiren ikinci nicelik her bir çizgiyle ilgili *yüzölçümü*dür.[1]

Hacim gibi yüzölçümü de fiziksel bir değişkendir, bu nedenle Dirac formülleri kullanılarak hesaplanabilen bir spektrumu vardır. Hesabın sonucu burada yer verilebilecek kadar basittir ve en azından Dirac spektrumlarının nasıl bir işlev gördüğünü bir kereliğine de olsa görmeniz için onu size göstermek istiyorum. A yüzölçümünün mümkün olan değerleri, j bir "tam ve buçuklu" yani bir tam sayının 0, 1/2, 2, 3/2, 3, 5/2 gibi katları olan bir sayı olmak üzere, aşağıdaki denklemle verilir:

$$A = 8\pi L_P^2 \sqrt{j(j+1)}$$

Bu formülü anlamaya çalışalım. A, iki uzay taneciğini ayıran yüzeyin alabileceği yüzölçümüdür. 8, sekiz sayısıdır ve hiçbir özelliği yoktur. π okulda öğrendiğimiz pi sayısıdır: Herhangi bir dairenin çevresi ile çapı arasındaki oranı veren bir sabittir ve nedendir bilmem, fizikte ve matematikte hep karşınıza çıkar. L_P kuantum kütle çekimi olaylarının gerçekleştiği minicik Planck uzunluğudur. L_P^2, L_P'nin karesi, yani bir kenarı Planck uzunluğunda olan minicik bir karenin (çok küçük) yüzölçümüdür. Dolayısıyla $8\pi L_P^2$ yalnızca "küçücük" bir yüzölçümüdür: Bir kenarı santimetrenin milyar kere milyar kere milyar

1. Dolayısıyla kütle çekimin kuantum durumları $|j_l, v_n\rangle$ ile gösterilir; n düğüm noktalarını, l ise grafın bağlantılarını gösterir.

kere milyonda biri civarında olan bir karenin yüzölçümüdür. ($8\pi L_P^2$ yaklaşık 10^{-66} cm²'dir). Formülün ilgi çekici bölümü karekök ve içindekilerdir. Önemli nokta *j*'nin bir buçuklu olması, yani değer olarak yalnızca 1/2'nin katlarını alabilmesidir. Bunların her biri için karekökün belirli bir değeri vardır. Bunlardan bazılarını (yaklaşık olarak) Tablo 6. l'de veriyorum.

Tablo 6.1. Spinler ve en az alan birimi cinsinden karşılık gelen değer.

j	$j\sqrt{j(j+1)}$
1/2	0,8
1	1,4
3/2	2,4
2	2,9
5/2	3,4
3	–
–	–

Sağ sütundaki sayılar ($8\pi L_P^2$ yüzölçümüyle çarpıldığında yüzeyin mümkün olan yüzölçümü değerleri elde edilir. Bu özel değerler, atomlardaki elektronların, kuantum mekaniğinin yalnızca belirli yörüngelere izin verdiği yörünge araştırmasında ortaya çıkan değerlere benzer. Burada önemli nokta bunlardan başka yüzölçümlerinin *var olmamasıdır*. ($8\pi L_P^2$ alanının onda biri kadarı olan bir yüzölçümü yoktur. Bu nedenle yüzölçümü sürekli değil, taneciklidir. İstenen ölçüde küçük bir yüzölçümü yoktur. Uzay bize sırf gözlerimiz uzay kuantumlarının minicik ölçeğini göremediği için sürekli gibiymiş gibi görü-

nür. Yakından bakılınca tıpkı bir kazak gibi tek tek ipliklerden örülmüş bir ölçek ortaya çıkar.

Bu odanın hacminin, örneğin 100 m^3 olduğunu söylediğimizde, aslında içerdiği uzay taneciklerini –daha doğrusu "kütle çekimi alanının kuantumları"nı– *saymış* oluruz. Normal bir odada bunlardan yüzden fazla haneli bir sayıda vardır. Bu sayfanın yüzölçümünün 200 cm^2 olduğunu söylediğimizde, ağdaki bağlantıları, yani sayfanın bir ucundan diğerine olan ilmekleri sayarız. Bu kitabın bir sayfasında bunlardan yetmiş haneli bir sayıda vardır. Uzunluk, yüzölçümü ve hacim ölçümünün sonuçta tek tek unsurların sayılması olduğunu 19. yüzyılda Riemann savunmuştu: *Kesintisiz* eğri matematiksel uzaylar kuramını geliştiren matematikçi, kesikli *fiziksel* bir uzayın, sonuçta kesintisiz bir uzaydan çok daha mantıklı olduğunun farkına varmıştı.

Özetlemeye çalışalım. İlmek kuantum kütle çekimi ya da "ilmek kuramı" genel görelilik ile kuantum mekaniğini büyük dikkatle birleştirir çünkü tutarlı olabilmeleri için uygun bir biçimde yeniden yazılmış bu iki kuramdan başka hiçbir hipotez kullanmaz. Ama sonuçları çok radikaldir.

Genel görelilik bize uzayın hareketsiz ve kaskatı bir kutu olmadığını, elektromanyetik alan gibi dinamik bir şey olduğunu öğretti: İçine gömülü olduğumuz kısalıp uzayabilen devasa boyutlarda hareketli bir yumuşakça gibi. Kuantum mekaniği bize, bu türden tüm alanların "kuantumlardan oluştuğu"nu, yani çok ince tanecikli bir yapısı olduğunu öğretir. Doğa hakkındaki bu iki genel buluştan ne sonuç elde edilir?

Bundan hemen, bir alan olan fiziksel uzayın da "kuantumlardan oluştuğu" sonucu çıkar. Diğer kuantum alanlarının niteliklerini belirleyen tanecikli yapı, kuantum kütle çekimi alanının ve dolayısıyla uzayın da nitelikleri-

ni belirler. Sonuç olarak uzayın bir taneciğinin olmasını bekleriz. Tıpkı elektromanyetik alanın ışığı oluşturan kuantumlarının var olduğu gibi, tıpkı tüm parçacıkların kuantum alanlarının kuantumları olduğu gibi, "uzay kuantumları"nın da var olmasını bekleriz. Uzay kütle çekimi alanıdır, kütle çekimi alanının kuantumları da uzayın tanecikli yapıtaşları, "uzay kuantumları" olacaktır.

İlmek kuramının temel öngörüsü, uzayın sürekli olmadığı, sonsuza dek bölünemeyeceği, bunun yerine "uzay atomları"ndan oluştuğudur. Bunlar çok küçüktür: Atom çekirdeklerinden milyar kere milyar kez daha küçük.

Uzayın atomsal ve tanecikli bu yapısıyla ilgili düşünce ilmek kuramıyla uzayın kuantum yapısını açıklayan ve kesin boyutları ile genel yapısını hesaplamayı sağlayan formüllere ve kesin bir matematiğe kavuştu. İlmek kuramı bu "temel uzay atomları" ile onların değişimini belirleyen denklemleri tanımlar: Bunlar Dirac'in yazdığı kuantum mekaniğinin genel denklemlerinin Einstein'ın kütle çekimi alanına uyarlanmış halidir.

Özellikle hacim (örneğin küçük bir küpün hacmi) sonsuz küçük olamaz. Hacmin alabileceği ölçünün bir alt sınırı vardır. Bu küçük hacimden daha küçük bir uzay yoktur. Bir en küçük hacim "kuantum"u vardır. Bu, uzayın temel atomudur.

Uzay atomları

Kaplumbağanın peşinden koşan Akhilleus'u anımsıyor musunuz? Zenon, Akhilleus'un yavaş hayvanı yakalamak için sonsuz sayıda uzaklık kat etmesi gerektiği düşüncesini kabul etmekte zor olan bir şeyler olduğunu gözlemlemişti. Matematik, gittikçe küçülen sonsuz sayıdaki aralığın yine de sonlu bir toplam aralığı verebileceğini göstererek bu kafa karışıklığı yaratan şeyi çözebilecek bir yanıt bulmuştu.

Peki, doğada gerçekten bu mu olur? Doğada Akhilleus ile kaplumbağa arasında gerçekten istendiği kadar kısaltılabilen aralıklar var mıdır? Bir milimetrenin milyar kere, milyar kere, milyar kere milyarda birinden söz etmenin ve daha da sayısız aralara bölmeyi düşünmenin bir anlamı var mıdır?

Geometrik büyüklüklerin kuantum spektrum hesaplamaları bu sorunun yanıtının olumsuz olduğunu gösterir: İstenen ölçüde sonsuz küçüklükte uzay parçaları yoktur. Uzayın bölünebilirliğinin bir alt sınırı vardır. Çok küçük bir ölçektedir ama vardır. Bu, Matvei Bronštejn'in 1930'larda yaklaşık çıkarımlara dayanarak sezinlediği ölçektir. Yüzölçümleri ve hacimlerin birkaç yıl önce tamamlanan ve yalnızca Dirac denklemlerinin genel görelilik değişkenlerine uygulanmasına dayanan spektrum hesaplamaları bu fikri destekler ve bir matematik formülü çerçevesinde ifade eder.

Sonuç olarak uzay taneciklidir. Akhilleus kaplumbağaya yetişmek için sonsuz sayıda adım atamaz çünkü sınırlı boyutlardaki taneciklerden oluşan bir uzayda sonsuz ölçüde küçük adımlar var olamaz. Kahraman hayvana yaklaşacak ve sonunda tek bir adımda onu geçmekten başka bir şey yapamayacaktır.

Ama sevgili okuyucu, düşünecek olursak, Leukippos ve Demokritos'un önerdiği çözüm tam da bu değil miydi? Doğru, onların söz ettiği şey maddenin tanecikli yapısıydı ve uzayın yapısı hakkında ne söyleyebileceklerini bilmiyoruz. Ne yazık ki onlara ait metinler yine elimizde değil, başkalarının göndermelerindeki belirsiz içerikle yetinmek zorundayız. Bu sanki *İlahi Komedya*'yı özetinden yola çıkarak yeniden yaratmaya çalışmaya benzer.[1] Bu-

1. Elimizde Aristoteles ve Platon'un fikirlerinin yalnızca başkaları tarafından yazılmış yorumları olsaydı ve özgün metinlerin açıklığını ve karmaşıklığını yakalayamasaydık ne kadar karmaşık bir anlamsızlık yumağı olabileceklerini varın siz düşünün.

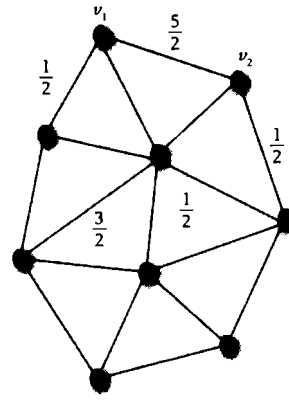
nunla birlikte Aristoteles'in aktardığı gibi, Demokritos'un sürekliliğin bir noktalar bütünü olmasının tutarsızlığı üzerine görüşü, uzaya maddeden bile daha iyi biçimde uygulanır. Emin değilim ama Demokritos'a uzayı istediğimiz küçüklükteki ölçeklerde ölçmenin mantıklı olup olmadığını ya da onu sonsuz küçük noktaların gerçek bir sürekliliği olarak düşünülebilip düşünülemeyeceğini sorsaydık, yanıtı herhalde bize yalnızca bölünebilirliğin bir sınırı olduğunu anımsatmak olurdu. Abdera'nın büyük felsefecisi için madde bölünemez temel atomlardan başka bir şeyden oluşmuş olamazdı. Uzayın madde gibi ele alınabileceğini anlar anlamaz –uzayın kendi doğasına, "belirli bir fiziğe" sahip olduğunu söyleyen oydu– sanırım uzayın da yalnızca bölünemez temel atomlardan oluşması gerektiği sonucunu çıkarmaya tereddüt etmezdi. Her durumda Demokritos'un izindeyiz.

Tabii ki fiziğin iki bin yıldan beri gereksiz olduğunu, deneylerin ve matematiğin işe yaramadığını ve Demokritos'un modern bilimin sunduğu inanılırlığı sunabileceğini söylemek istemiyorum. Kesinlikle hayır. Deneyler ve matematik olmasaydı anladığımız şeyleri hiçbir zaman anlayamazdık. Ama dünyayı anlamak ve için kullandığımız kavramsal şemalarımızı yeni fikirleri incelerken aynı zamanda geçmişin devlerinin derin ve güçlü sezgilerini de temel alarak geliştiririz. Demokritos bu devlerden biridir ve bulduğumuz yenilikleri onun dev omuzlarında yükselerek oluşturuyoruz.

Şimdi tekrar kuantum kütle çekimine geri dönelim.

Spin ağları

Uzayın kuantum durumlarını tarif eden çizgeler her bir düğüm için v hacmi ve her bağlantı için j tam ya da buçuklu sayısıyla tanımlanır. Bu sayılara sahip bir çizgeye



Resim 6.4. Bir spin ağı.

"spin ağı" (*spin network*) denir (Resim 6.4). Bu tam ve buçuklu sayılara fizikte "spin" adı verilir çünkü dönen cisimlerin kuantum mekaniğinde çok sık karşımıza çıkarlar, *spin* İngilizcede dönüş anlamına gelir. Bir spin ağı kütle çekimi alanının bir kuantum durumunu, yani uzayın mümkün olan bir kuantum durumunu, hacim ve yüzey alanının kesintili olduğu tanecikli bir uzayı temsil eder.

Sonlu örgüler fizikte genellikle uzayı yaklaşık olarak temsil etmek için kullanılır. Ama burada yaklaşık olarak temsil edilecek kesintisiz bir uzay yoktur: Uzay küçük ölçekte gerçekten de taneciklidir. Kuantum kütle çekiminin özü budur.

Elektromanyetik alanın kuantumları olan fotonlar ile "uzay kuantumları" olan çizge düğümleri arasında son derece önemli bir fark vardır. Fotonlar uzayda yer alırken uzayın kuantumları uzayın kendisidir. Fotonlar "nerede oldukları"yla tanımlanır.[1] Oysa uzay kuantumlarının var olduğu bir yer yoktur çünkü kendileri o "yer"dir. Onları tanımlayan bir başka önemli bilgi daha vardır:

1. Fock uzayındaki fotonların durumlarının kuantum sayısı, söz konusu konumun Fourier dönüşümü olan momentumdur.

Diğer komşu uzay kuantumlarının hangileri olduğu, hangisinin hangisine yakın olduğu bilgisi. Bu bilgi çizgenin bağlantıları tarafından ifade edilir. Bir bağlantıyla birbirine bağlanmış iki düğüm iki komşu uzay kuantumlarıdır, birbirine değen iki uzay taneciğidir. Uzayın yapısını oluşturan da bu "temas"tır.

Tekrar edeyim, düğümler ve bağlantılarla temsil edilen bu kütle çekimi kuantumları uzay *içinde* değildir, *uzayın kendisidir*. Kütle çekimi alanının kuantum yapısını tarif eden spin ağları uzay içine gömülü değildir, bir uzayda yer almaz. Tekil uzay kuantumlarının konumu bir şeye göre belirlenmez, yalnızca bağlantılarla ve birbirleriyle ilişkili olarak belirlenir.

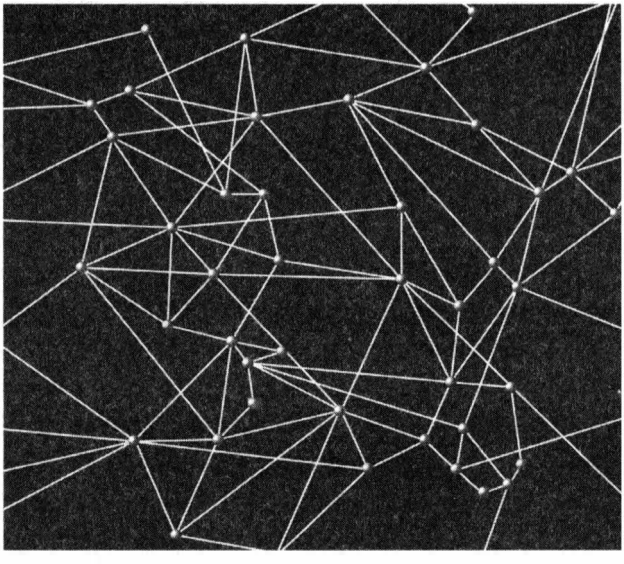
Bir uzay taneciğinden diğerine bir bağlantı boyunca gidebileceğimi düşünebilirim. Tanecikten taneciğe geçerek bir tur atacak olursam, bir "döngü" ya da "ilmek" yapmış olurum. Bunlar kurama adlarını veren ilmeklerdir. 4. Bölüm'de uzayın eğriliğinin bir okun kapalı bir devre içinde taşındığında döndüğünü mü yoksa aynı pozisyonda mı kaldığını belirleyerek hesaplanabileceğini göstermiştim. Kuramın matematiği bu eğriliği çizge üzerinde her bir kapalı devre için belirler, bu da uzay-zamanın eğriliğini ve dolayısıyla kütle çekimi alanının kuvvetini ölçmeyi sağlar.[1]

Bununla birlikte bu noktada kuantum mekaniğinin yalnızca bazı fiziksel büyüklüklerin tanecikliliğinden ibaret olmadığını anımsayalım. Ona özgü iki başka özellik daha vardır. Her şeyden önce değişim yalnızca olasılık temellidir: Spin ağlarının "evrilme" biçimi rastlantısaldır ve olasılığı hesaplanabilir. Bundan, zaman kavramına ayırdığım bir sonraki bölümde söz edeceğim.

1. Tanecikli uzay geometrisine ilişkin operatör, kütle çekimi bağlantısının holonomisidir; daha doğrusu fiziksel terimlerle ifade edilecek olursa, genel göreliliğin "Wilson ilmeği"dir.

Ayrıca kuantum mekaniğinin getirdiği bir yenilik daha vardır: Nesnelerin nasıl "oldukları"nı değil, nasıl "etkileştikleri"ni düşünmemiz gerekir. Bu, spin ağlarını gözümüzde dünyanın üzerinde durduğu bir temel ızgarası gibi canlandırmamamız gerektiği anlamına gelir. Onları uzayın nesneler üzerindeki etkisi olarak düşünmeliyiz. Bir elektronun bir etkileşim ile diğeri arasında hiçbir yerde olmaması ya da her yeri içeren bir olasılık bulutu içinde yayılmış olması gibi, uzay da belirli bir spin ağı değil, mümkün olan tüm spin ağlarının olasılık bulutudur.

Çok küçük ölçekte uzay, birbirlerine ve bir arada olduklarında da nesnelere etki eden kütle çekimi kuantumlarının dalgalı bir kaynaşmasıdır ve bu etkileşimler içinde birbirleriyle ilişkide olan tanecikler olan spin ağları olarak ortaya çıkarlar (Resim 6.5).



Resim 6.5. Uzay çok küçük ölçekte sürekli değildir: Birbirlerine bağlı sonlu öğelerden dokunmuştur.

Fiziksel uzay, bu ilişkiler ağının dur durak bilmeyen kaynaşmasının dokuduğu bir kumaştır. Çizgilerin kendileri hiçbir yerde, hiçbir konumda değildir: Konumları yaratan onların kendi aralarındaki ilişkilerdir. Uzay tekil kütle çekimi kuantumlarının etkileşimiyle meydana gelir.

Böylece kuantum kütle çekiminin temel sonuçlarından birine ulaşmış olduk: Uzayın, uzay kuantumlarının oluşturduğu yalınık bir yapıya sahip olması.[1] Bu, yalnızca ilk adımdır. İkinci adım zamanla ilgilidir. Bir sonraki bölüm zaman konusuna ayrılmıştır.

1. Bu kuantum geometrisi anlayışını daha derinlemesine geliştiren Marsilya'da çalışan İtalyan fen bilimci Simone Speziale'dir.

7

ZAMAN YOKTUR

"Nec per se quemquam tempus sentire fatendumst
semotum ab rerum motu [...]."[1]

Lucretius, *De Rerum Natura*

Dikkatli okuyucu bir önceki bölümde zamandan hiç söz etmediğimi fark etmiştir. Oysa Einstein, bir yüzyıldan fazla bir süre önce, zamanı ve uzayı birbirinden ayıramayacağımızı, onları bir bütün halinde uzay-zaman olarak düşünmemiz gerektiğini göstermişti. Bunu düzeltmenin ve zaman kavramını yeniden resme eklemenin zamanı geldi.

Kuantum kütle çekimi araştırmaları, zaman kavramıyla yüzleşme cesareti gösterene kadar yıllarca yalnızca uzayla ilgili sorunlar çevresinde döndü. Son on beş yıldır zamanla ilgili düşüncelerimiz aydınlanmaya başladı. Nasıl olduğunu açıklamaya çalışacağım.

Uzayın, nesnelerin içinde yer aldığı, belirli bir biçimi olmayan bir kutu olduğu düşüncesi kuantum kütle çekimiyle birlikte fizikten silinir. Nesneler (kuantumlar) bir

1. "Demek kimse algılayamaz zamanı, varlıkların / Deviniminden ve durağanlığından ayrı tutunca." *Evrenin Yapısı*, I, 463-464, s. 29. (Ç.N.)

uzay içinde yer almaz, birbirlerinin yakınında bulunur, uzay da onların komşuluk ilişkilerinin dokuduğu kumaştır.

Uzayın durgun bir kutu gibi olduğu düşüncesini terk etmemiz gerekiyorsa, zamanın, içinde gerçekliğin ortaya çıktığı durgun bir akış olduğu düşüncesi de terk edilmelidir. Nesneleri içeren sürekli uzay fikrinin yok olması gibi, içinde olayların gerçekleştiği, akan ve kesintisiz bir "zaman" düşüncesi de yok olur.

Temel kuramda bir anlamda artık uzay diye bir şey yoktur: Kütle çekimi alanının kuantumları uzay *içinde* değildir. Temel kuramda aynı biçimde zaman da yoktur: Kütle çekimi kuantumları zaman *içinde* değişim göstermez. Zaman onların etkileşiminden doğar. Wheeler-DeWitt denkleminin ortaya koyduğu gibi, denklemlerde artık zaman değişkeni yoktur. Uzay gibi zaman da kuantum kütle çekiminden doğmalıdır.

Bu, zamanın kütle çekimi alanının bir parçası gibi göründüğü genel görelilik için zaten doğrudur. Ama kuantumları göz ardı ettiğimiz sürece, uzay-zamanı gerçekliğin geri kalanının öyküsünün ortaya konduğu, eğri de olsa yine de bir halı gibi oldukça geleneksel biçimde düşünebiliriz. Oysa kuantum mekaniğini göz önünde tuttuğumuz anda zamanın da, tüm gerçekliğin paylaştığı olasılığa dayalı belirsizlik, taneciklilik ve ilişkisellik özelliklerine sahip olması gerekir. Şimdiye kadar "zaman" diye adlandırdığımız her şeyden oldukça farklı bir "zaman" haline gelir.

Kuantum kütle çekimi kuramının bu ikinci kavramsal sonucu, uzayın ortadan kalkmasından bile daha aşırıdır. Anlamaya çalışalım.

Zaman, olduğunu sandığımız şey değildir

Doğadaki zamanın, sahip olduğumuz zaman algısından farklı olduğu bir yüzyıldan fazla bir süredir açıkça

biliniyor. Özel görelilik ve genel görelilik bu gözlemi daha da belirginleştirdi. Bugün zamanla ilgili önyargılarımızın yanlışlığı bir laboratuvarda kolayca kanıtlanabilir.

Örneğin genel göreliliğin 3. Bölüm'de açıklanan ilk sonucunu yeniden ele alalım: İki saat alın, tam olarak aynı zamanı gösterdiklerinden emin olun, birini yere, birini de bir mobilyanın üstüne koyun. Yarım saat kadar bekleyin ve sonra ikisini yan yana getirin. Hâlâ aynı saati mi gösterirler?

3. Bölüm'de anlattıklarımı anımsıyorsanız, yanıt hayırdır. Bileğimizdeki kol saatleri ya da cep telefonumuzdaki saatler bu durumu doğrulamak için yeterince hassas değildir ama fizik laboratuvarlarında aradaki farkı gösterebilecek kadar hassas saatler vardır: Yerdeki saat mobilya üzerindeki saate göre geri kalır.

Neden? Çünkü Dünya'da zaman eşit hızda akmaz. Yerçekiminin[1] daha güçlü olduğu yeryüzüne yakın bir noktada zaman yavaşlar. 3. Bölüm'deki biri deniz kenarında, diğeri dağlarda yaşayan ikizlerin bir yıl sonra farklı yaşlarda olduğunu anımsıyor musunuz? Aradaki fark şüphesiz çok küçüktür: Dağlarda yaşamakla karşılaştırıldığında deniz kenarında kazanılan zaman, bir saniyenin neredeyse sonsuz küçük bir bölümüne denk gelir ama bu, gerçekten bir fark olduğu olgusunu değiştirmez. Zaman bizim genellikle düşündüğümüz gibi işlemez.

Zamanı evrenin yaşamını tarayan kozmik bir saatmiş gibi düşünemeyiz. Zamanı yerel bir şey gibi düşünmemiz gerektiğini bir yüzyıldan fazla süre önce öğrendik; evrendeki her nesnenin kendine özgü akan bir zamanı vardır, bu zamanı da belirleyen kütle çekimi alanıdır.

Ama kütle çekimi alanının kuantum doğası göz önünde tutulduğunda bu yerel zaman bile artık işe yara-

1. Kütle çekimi potansiyelinin.

maz. Artık kuantal olaylar küçük ölçekte bir zaman akışıyla düzenlenmez.

Öyleyse zamanın olmaması ne demektir?

Her şeyden önce, temel denklemlerde zaman değişkeninin olmaması, her şeyin hareketsiz olduğu ve değişimin olmadığı anlamına gelmez. Tersine, değişimin her an her yerde olduğu anlamına gelir. Ama temel süreçler ortak bir anlar silsilesi olarak düzenlenemez. Uzay kuantumlarının minicik ölçeğinde doğanın dansı bir orkestra şefinin bagetinin tek bir evrensel vuruşlu ritmine bağlı değildir: Her süreç kendi ritmini izleyerek ve komşularıyla birlikte bağımsız olarak dans eder. Zamanın akışı dünyanın içindedir, dünyayı oluşturan ve zamanın kaynağı olan kuantum olayları arasındaki ilişkilerden dünyanın içinde doğar. Aslında zamanın var olmaması çok karmaşık bir şey değildir. Anlamayı deneyelim.

Nabız ve avize

Zaman hemen hemen tüm klasik fizik denklemlerinde karşımıza çıkar. Geleneksel olarak *t* harfiyle gösterilen bir değişkendir. Denklemler bize şeylerin zamana göre nasıl değiştiğini söyler ve geçmiş zamanda ne olduğunun bilinmesi durumunda gelecek zamanda ne olacağını öngörmemizi sağlar. Daha doğru bir ifadeyle –örneğin bir nesnenin konumu *A*, salınan bir sarkacın genliği *B*, bir cismin sıcaklığı C gibi–değişkenleri ölçeriz, fizik denklemleri de bize bu *A*, *B*, C değişkenlerinin zaman içinde nasıl değiştiğini söyler. Yani başlangıç durumlarından yola çıkarak bu değişkenlerin *t* zamanındaki değişimlerini tanımlayan $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ fonksiyonlarının öngörülerini verir.

Yeryüzündeki cisimlerin hareketlerinin $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ zaman fonksiyonu denklemleriyle tanımlanabilece-

ğini ilk anlayan ve bu fonksiyonların ilk denklemlerini yazan Galileo Galilei olmuştu. Örneğin Galileo tarafından bulunan yeryüzüne ilişkin ilk fizik yasası bir cismin nasıl düştüğünü, yani yüksekliği x'in t zamanının akışına bağlı olarak nasıl değiştiğini açıklar ($x(t) = \frac{1}{2} at^2$).

Bu yasayı bulmak ve sonra doğrulamak için Galileo' nun iki ölçüme ihtiyacı vardı. Cismin x yüksekliği ile t zamanını ölçmesi gerekiyordu. Dolayısıyla zamanı ölçen bir alete, yani bir *saat*e ihtiyacı vardı.

Galileo'nun yaşadığı dönemde hassas saatler yoktu ama Galileo gençken hassas saatler yapmanın püf noktasını bulmuştu. Bir sarkacın salınımlarının (genliği azalsa da) hep aynı süreye sahip olduğunu bulmuştu. Böylece zaman yalnızca sarkacın salınımları sayılarak ölçülebilirdi. Çok basit bir fikir gibi görünüyor ama bulmak için Galileo gibi birinin var olması gerekmişti; bunu yapmak kimsenin aklına gelmemişti. Bilim böyledir işte.

Oysa işler o kadar da basit değildir.

Anlatıldığına göre Galileo bunu Pisa'nın enfes katedralinde, bugün de asılı olan devasa avizenin yavaşça salınmasını gözlemlerken sezinlemiş. (Öykü doğru değil çünkü avize Galileo'nun buluşundan yıllar sonra asılmıştı ama yine de güzel bir öykü. Belki de daha önce başka bir avize vardı, bilemiyorum...) Galileo avizenin salınımını –belli ki kendini pek vermediği– bir ayin sırasında gözlemliyor ve kendi nabzını ölçüyormuş. Heyecanla nabız sayısının her bir salınımla aynı olduğunu keşfetmiş, bu sayı da şamdan yavaşladığında ve daha küçük bir genlikte salındığında bile değişmiyormuş. Bundan da tüm salınımların aynı sürede gerçekleştiği sonucunu çıkarmış.

Öykü güzel olmasına güzel ama biraz daha dikkatlice düşünüldüğünde insanın kafası karışıyor, bu kafa karışıklığı da zaman probleminin özünü oluşturuyor. O da

şu: Galileo nabız atışlarının hep aynı olduğunu nereden biliyordu?[1]

Galileo'dan kısa bir süre sonra, hekimler hastalarının nabızlarını, aslında bir sarkaçtan başka bir şey olmayan saatlerle ölçmeye başladı. Öyleyse sarkacın doğru çalıştığını nabız ölçümüyle, nabzın düzgün attığını da sarkaçla belirlemeye başladık. Bu bir kısır döngü değil midir? Bu ne anlama gelir?

Aslında zamanın hiçbir zaman kendisini ölçmediğimiz, A, B, C değişkenlerini (salınımlar, nabız atışları ve başka pek çok şeyi) ölçüp her zaman bir değişkeni bir diğeriyle karşılaştırdığımız, yani $A(B)$, $B(C)$, $C(A)$ fonksiyonlarını ölçtüğümüz anlamına gelir. Her salınımda ne kadar nabız atışı olduğunu, kronometremin her tik takında kaç salınım olduğunu, saat kulesinin saatine göre kronometremin kaç tik tak yaptığını sayabilirim. Her ne kadar doğrudan ölçemesek de her şeyin bağlı olduğu "gerçek zaman", t değişkeninin var olduğunu hayal etmek *işe yarar*. Fiziksel değişkenler için tüm denklemleri bu *gözlemlenemez* t'ye göre yazarız; bu denklemler şeylerin t'de nasıl değiştiğini, yani örneğin, her bir salınımın ve bir kalp atışının ne kadar sürdüğünü söyler. Bununla değişkenlerin birbirlerine göre nasıl değiştiğini, örneğin bir salınımda kaç nabız atışı olduğunu hesaplayabilir, bu öngörüyü dünyada yaptığımız gözlemle karşılaştırabiliriz. Öngörüler doğruysa, bundan tüm bu karmaşık şemanın doğru olduğunu ve özellikle de doğrudan ölçemesek de zaman değişkeni t'yi kullanmanın yararlı olduğu sonucunu çıkarırız.

Başka bir ifadeyle, zaman değişkeninin varlığı bir gözlem sonucu ortaya çıkmış değildir, zaman bir varsayımdır.

1. Hele bir de heyecanlandıysa...

Bunların hepsini anlayan Newton oldu; yapılması gereken şeyin bu olduğunu anlamış ve bu kavramı açıklayıp ortaya koymuştu. Newton kitabında açıkça "gerçek" zaman *t*'yi ölçemeyeceğimizi ama eğer var olduğunu varsayarsak doğayı anlamak ve tanımlamak için çok etkili bir şema oluşturma olanağına sahip olacağımızı öne sürmüştü.

Bunu açıklığa kavuşturduktan sonra sonunda kuantum kütle çekimine ve "zaman yoktur" savının anlamına gelelim. Bu, basit olarak Newtoncı şemanın, çok küçük şeylerle uğraştığımızda artık işlememesi demektir. O şema iyi bir şemaydı ama yalnızca büyük olaylar için.

Dünyayı daha genel olarak, bize pek tanıdık gelmeyen sistemleriyle de anlamak istiyorsak bu şemayı bir kenara bırakmalıyız. Kendi kendine akan ve her şeyin değişiminin bağlı olduğu bir *t* zamanı düşüncesi artık doğru bir fikir değildir. Dünya *t* zamanı içindeki değişim denklemleriyle tanımlanmaz.

Yapmamız gereken şey kendimizi *gerçekten* gözlemlediğimiz *A*, *B*, C vs. değişkenlerini listelemekle sınırlamak ve bu değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak, yani gözlemleyemediğimiz $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ fonksiyonları yerine, gözlemlediğimiz $A(B)$, $B(C)$, $C(A)$ fonksiyonlarını yazmak olmalıdır.

Nabız ve şamdan örneğinde elimizde zaman içinde gelişen nabız ve şamdan değil, yalnızca her birinin diğerine göre nasıl değişebileceğini söyleyen denklemler vardır. Yani bu denklemler bir nabız atışının ve bir şamdanın salınımının *t* zamanı yerine, bize *t*'den söz etmeden bir avize salınımı süresince kaç nabız atışı olduğunu doğrudan söyler.

"Zamanı olmayan fizik", zamanın adını anmadan yalnızca nabız ve avizeden söz eden fiziktir.

Basit bir değişiklik söz konusudur ama kavramsal açıdan çok büyük bir adımdır. Dünyayı zaman içinde

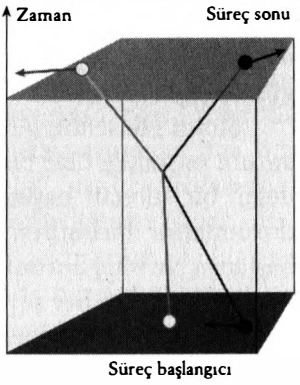
değil başka bir biçimde değişen bir şey olarak düşünmeyi öğrenmemiz gerekir. Şeyler yalnızca birbirlerine göre değişir. Temel düzeyde zaman yoktur. Akan zaman algısı yalnızca makro ölçeklerimiz için bir değeri olan bir yaklaşıklık durumudur: Dünyayı yalnızca kaba hatlarıyla gözlemlememizin bir sonucudur.

Kuramın tanımladığı dünya alışık olduğumuz dünyadan çok uzaktır. Artık ne dünyayı *içeren* bir uzay, ne *süresi boyunca* olayların gerçekleştiği bir zaman vardır. Uzay kuantumlarının ve maddenin sürekli olarak aralarında etkileşimde bulundukları temel süreçler vardır. Çevremizdeki kesintisiz uzay ve zaman yanılgısı temel süreçlerin bu karınca yuvası gibi yoğun kaynaşmasının bulanık bir görüntüsünden kaynaklanır. Tıpkı sakin ve berrak bir dağ gölünün sonsuz sayıdaki minicik su molekülünün hızlı dansından oluşması gibi...

Suşi ve uzay-zaman

Bu fikirler kuantum kütle çekimine nasıl uygulanır? Ne dünyayı içeren bir uzayın ne de akışı süresince olayların gerçekleştiği bir zamanın olduğu bir yerde değişim nasıl tanımlanır?

İşin püf noktası normal fiziksel süreçlerin uzayda ve zamanda nasıl yer aldığını sorgulamaktır. Bilardo masasının yeşil çuhası üstündeki iki bilardo topunun çarpışması gibi herhangi bir süreç düşünün. Siyah bir topun beyaz bir topa doğru gönderildiğini, ona yaklaştığını, çarptığını ve iki topun farklı yönlere gittiğini hayal edin. Tüm süreçler gibi bu süreç de uzayın sınırlı bir bölgesinde, diyelim ki kenarı iki metre olan bir masada ve sınırlı bir sürede, diyelim ki üç saniye içinde gerçekleşir. Bu süreci kuantum kütle çekimi çerçevesinde ele almak için sürece uzayı ve zamanı da eklemeliyiz (Resim 7.1).



Resim 7.1. Uzay-zaman içinde siyah bir topun sabit durumdaki beyaz bir topa ulaşarak, sekip harekete geçirdiği bir bölgesi. Kutu uzay-zaman bölgesidir. Topun rotaları bunun içinde belirlenmiştir.

Yani yalnızca iki topu değil, onların çevresindeki her şeyi tanımlamamız gerekir: Masa ve diğer bütün olası maddi nesneler ve özellikle, vuruşun başlangıcı ile sürecin sonu olarak belirlediğimiz âna kadar geçen tüm sürede içinde hepsinin yer aldığı uzay tanımlanmalıdır. Uzay ve zamanın kütle çekimi alanı ve "Einstein'ın yumuşakçası" olduğunu anımsayalım; sürece "yumuşakça"nın bir bölümü olan kütle çekimi alanı da ekleriz. Her şey Einstein'ın büyük yumuşakçası içine gömülüdür: Bundan içinde çarpışmanın ve kuantumların olduğu suşi dilimi gibi bir parça kestiğinizi düşünün.

Elde ettiğimiz şey Resim 7.1'deki gibi bir uzay-zaman kutusu, birkaç saniye için, birkaç metreküp boyutlarında sonlu bir uzay-zaman parçasıdır. *Bu* sürecin zaman "içinde" gerçekleşmediğini gözlemleyin. Kutu uzay-zaman *içinde* yer almaz, uzay-zamanı *içerir*. Uzay taneciklerinin uzay *içinde* olmaması gibi bu da zaman *içinde* gerçekleşen bir süreç değildir. Kütle çekimi kuantumlarının uzayın kendisi olması nedeniyle uzay içinde olmamaları gibi bu durum, zamanın akışı için de geçerlidir.

Kuantum kütle çekiminin nasıl işlediğini anlamak için anahtar, yalnızca iki top tarafından verilen fiziksel

süreci değil, tüm kutunun, içinde kütle çekimi alanının da olduğu her şeyle birlikte tanımlandığı bütün süreci göz önünde tutmaktır.

Şimdi Heisenberg'in ilk sezgisine geri dönelim: Kuantum mekaniği bize bir süreç süresince neler olduğunu değil, bir sürecin başlangıcının ve bitişinin farklı olası durumlarını birleştiren olasılığını anlatır. Bu örnekte başlangıç ve bitiş durumları uzay-zaman kutusunun *sınırında* olup biten her şeyle verilmiştir.

İlmek kuantum kütle çekimi denklemleri, kutunun her bir olası *sınırına* karşılık gelen olasılığı verir. Yani örneğin, şu ya da bu biçimde çarpışmaya girmişlerse, çarpışma sonucunda şu ya da bu biçimde davranmalarının olasılığını gösterir.

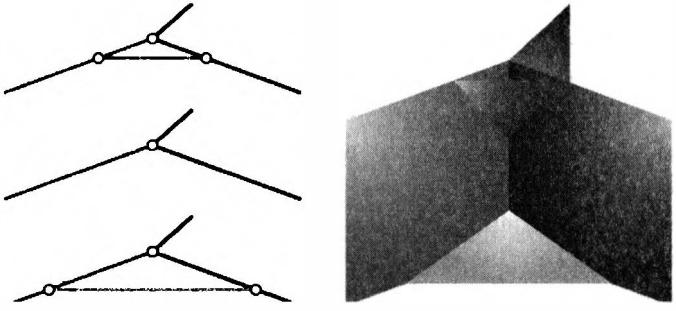
Bu olasılık nasıl hesaplanır? Feynman'ın, kuantum mekaniğinden söz ederken açıkladığım "yolların toplamı" yöntemini anımsıyor musunuz? Kuantum kütle çekiminde de olasılıklar aynı biçimde hesaplanır. Yani aynı sınıra sahip olan olası tüm "yollar"ın göz önünde tutulmasıyla bulunur. Uzay-zamanın dinamiğini göz önünde tuttuğumuz için kutuyla aynı sınıra sahip olan *olası tüm uzay-zamanların* da göz önünde tutulması gerekir.

Kuantum mekaniği, iki topun girdiği başlangıç sınırı ile dışarı çıktıkları bitiş sınırı arasında kesin bir uzay-zamanın olmadığını ve topların rotasının belirsiz olduğunu söyler. Bunun yerine, mümkün olan tüm uzay-zamanların ve rotaların "bir arada var olduğu" bir kuantum "bulut"u var olacaktır. Topların şu ya da biçimde dışarı çıkmasının olasılığı da mümkün olan tüm "uzay-zamanlar"ın toplamıyla hesaplanır.[1]

1. *Spinfoam* [spin köpüğü] tekniğiyle parçacıkların kütle çekimsel çarpışmaları üzerine ilk önemli hesaplamaları, bugün Polonya'da çalışan Emanuele Alesci ve İtalyan üniversitelerinde iş bulamadıkları için kuramsal araştırmayı bırakmak zorunda kalan Claudio Perini ve Elena Magliaro gibi genç İtalyan biliminsanları gerçekleştirmiştir.

Spin köpükleri

Kuantum uzayının ağa benzer bir yapısı varsa, kuantum uzay-zaman nasıl bir yapıya sahip olur? Yukarıda söz edilen hesaplamaya giren "uzay-zamanlar"dan biri nasıl bir şeydir? Bir ağın "geçmişi", yani bir rotası olacaktır. Bir ağ alıp onu hareket ettirdiğinizi hayal edin: Ağın her bir düğümü, Resim 7.1'deki toplar gibi bir çizgi çizer, ağın her bir bağlantısı da hareket ederken bir yüzey alanı çizer: Örneğin hareket eden bir doğru parçası bir dikdörtgen çizebilir. Ama dahası var: Bir parçacığın iki ya da daha çok parçacığa bozunması gibi bir düğüm de iki ya da daha çok düğüme ayrışabilir. Veya iki ya da daha çok düğüm tek bir düğümde birleşebilir. Böylece değişim gösteren bir ağ Resim 7.2'deki gibi bir imge çizer.



Resim 7.2. Değişim geçiren bir spin ağı: Üç düğüm bir düğümde birleşir, sonra da ayrılır. Sağdaki resim bu sürecin çizdiği spin köpüğüdür.

Resim 7.2'nin sağındaki imgeye "spin köpüğü" (İngilizcede *spinfoam*) denir. "Köpük" adını –yakından bakarsanız– tıpkı sabun köpükleri gibi, düğüm köşelerinde kesişen çizgiler üzerinde karşılaşan yüzey alanlarından oluşmasından alır (Resim7.3). "Spin köpüğü" denir çün-

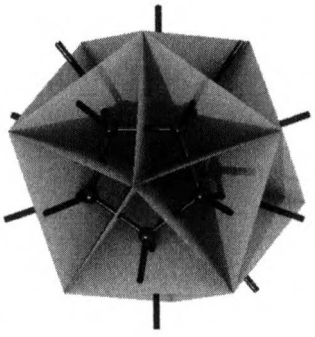


Resim 7.3. Bir sabun köpüğü.

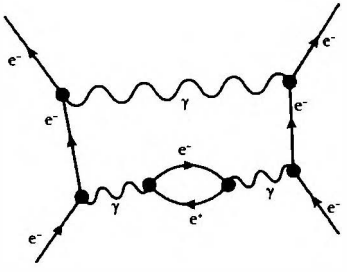
kü ağların çizgileri spinleri taşır, bu nedenle bu köpüğün yüzleri de spinler, yani buçuklu sayılar taşır.

Bir sürecin olasılığını hesaplamak için sınırın spin ağını ve kutu içinde süreç boyunca girip çıkan maddeyi temsil eden sınırların aynılarına sahip, mümkün olan tüm spin köpüklerini toplamak gerekir. (Daha kesin söylemek gerekirse bu köpüğün düğüm noktalarının yapısı Resim 7.2'den biraz daha karışıktır ve daha çok Resim 7.4'tekine benzer).

Kuantum kütle çekimi denklemleri bu olasılıkları sınırları sabitlenmiş spin köpükleri bağlamında ifade eder. Böylece ilkesel olarak tüm olayların olasılığı hesaplanabilir. Biraz daha kesin olmak gerekirse, temel parçacıkların standart modelini oluşturan ve şimdiye dek kendilerini başarıyla kanıtlamış bu kuantum alan kuramları iki türlüdür. Bunların ilk örneği standart modelin bir parçası olan ve Feynman'ın meydana getirdiği kuantum elektrodinamiği (*Quantum Electro-Dynamics*) [QED-KEDİ]'dir. Bu kuramda hesap yapmak için parçacıklar arasında temel süreçleri temsil eden "Feynman diyagramları"yla ilişkili sayılar hesaplanır. Bir Feynman diyagramı örneği Resim 7.5'te verilmiştir. Resim etkileşimde bulunan iki parçacığı, yani iki alan kuantumlarını temsil eder. Başlangıçta soldaki parçacık iki parçacığa bozunur, bunlardan biri de



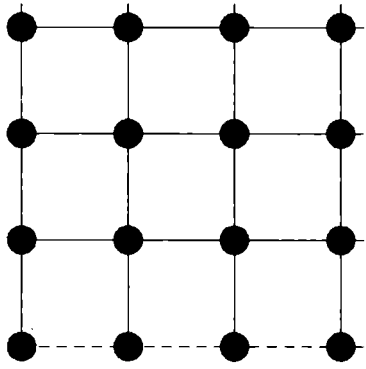
Resim 7.4. Bir spin köpüğünün düğüm noktasının biçimi. Greg Egan'ın izniyle.



Resim 7.5. Feynman diyagramı.

iki parçacığa ayrılır, sonra tekrar birleşip sağdaki parçacıkla birleşir vs. Diyagram sonuç olarak alan kuantumlarının bir geçmişini temsil eder.

İyi işleyen ikinci bir tür kuantum alan kuramı, örneğin protonlar içinde bulunan kuarklar arasındaki kuvvetleri tanımlayan ve standart modelin bir başka parçası olan kuantum renkdinamiği (*Quantum Chromo-Dynamics*) [QCD-KREDİ]'dir. KREDİ'de Feynman diyagramlarını uygulamak genellikle işe yaramaz. Ama pek çok şey hesaplamaya yarayan başka bir teknik daha vardır. Adı "örgü kuramı"dır ve sürekli fiziksel uzayı Resim 7.6' daki gibi bir örgü yoluyla modellemek için kullanılır. Kuantum kütle çekiminden farklı olarak bu örgü uzayın gerçek bir imgesi olarak değil, mühendislerin bir köprü-



Resim 7.6. Fiziksel uzay-zamanı yaklaşık olarak modelleyen örgü.

nün dayanımını hesaplamak için sınırlı sayıda yapı elemanından oluştuğunu varsaymaları gibi hesap yapmak için kullanılan yaklaşık bir modeldir.

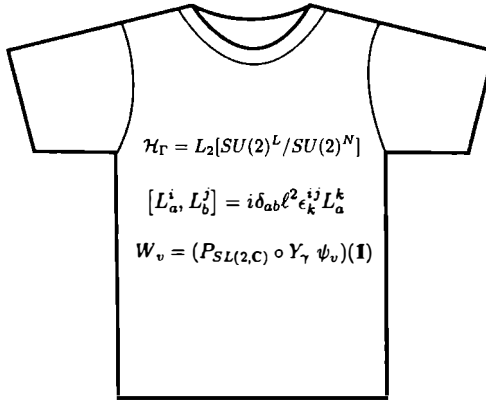
Bu iki hesap tekniği, Feynman diyagramları ve örgü yaklaşımı, kuantum alan kuramının en etkili araçlarıdır.

Kuantum kütle çekimi kapsamındaysa güzel ve beklenmedik bir şey olur: İki hesap tekniği aynı şeye dönüşür. Resim 7.2'de verilen ve kuantum kütle çekiminde fiziksel süreçleri hesaplamak için kullanılan uzay-zaman köpüğü, hem bir Feynman diyagramı gibi hem de örgü hesabı olarak yorumlanabilir.

Bu bir Feynman diyagramıdır çünkü KEDİ diyagramları gibi tam anlamıyla bir kuantum geçmişidir. Ancak artık söz konusu olan uzayda hareket eden kuantumlar değil, uzay kuantumlarının kendisidir. Bu nedenle, etkileşimleriyle çizdikleri çizge parçacıkların uzaydaki hareketinin değil, uzayın kendi dokusunun bir temsilidir. Bu doku da tam anlamıyla KREDİ hesaplarında kullanılan ızgara gibi bir örgüdür, yalnız bu kez yaklaşık bir model değil uzayın küçük ölçekte *gerçek* tanecikli yapısı söz konusudur. KEDİ ve KREDİ hesaplama teknikleri, kuantum kütle çekiminin spin köpükleri cinsinden top-

lamını almak anlamında daha genel bir tekniğin özel durumları olarak ortaya çıkar.

Einstein denklemleriyle başıma geldiği gibi burada da, epeyce matematik ve teknik metin çalışmadan okuyucunun şüphesiz deşifre edemeyeceğini bilmeme karşın, kuramı tanımlayan denklemler bütününün tamamını yazmaktan kendimi alamıyorum. Bir zamanlar birileri bir kuramın denklemlerinin bir tişört üzerine sığmadığı sürece inanılır olmayacağını söylemişti. İşte o tişört (Resim 7.7):



Resim 7.7. Bir tişört üzerinde özetlenmiş kuantum kütle çekimi denklemleri.

Bu denklemler[1] bundan önceki son iki bölümde verdiğim dünya tanımının matematiksel ifadesidir. Tabii ki bunların doğru denklemler olup olmadıklarından, düzeltilip düzeltilmeyeceklerinden veya belki de kökten değiştirilip değiştirilmeyeceklerinden hiç de emin değil-

1. İlki kuramın Hilbert uzayını tanımlar. İkincisi operatörlerin matematiğini gösterir. Üçüncüsü de Resim 7.4'teki gibi her bir düğüm noktasının geçiş genliğini anlatır.

liz. Ama bana öyle geliyor ki en iyi anladığımız denklemler bunlardır.

Uzay, düğümlerin temel tanecikleri, bağlantıların da onlar arasındaki komşuluk ilişkilerini gösterdiği bir spin ağıdır. Uzay-zaman, bu spin ağlarının birbirlerine dönüştüğü süreçlerle yaratılır, bu süreçler de bir spin köpüğünün spin ağının ideal yolunu temsil ettiği, yani spin ağının, düğüm noktalarının birleştiği ve ayrıştığı tanecikli bir uzayı gösterdiği, spin köpükleri toplamıyla ifade edilir.

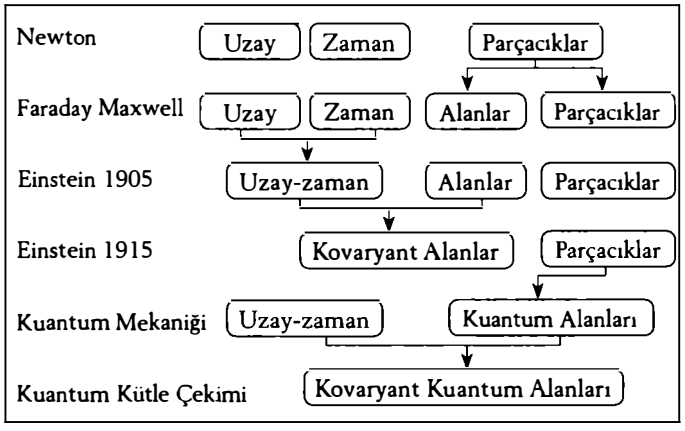
Kuantumların uzayı ve zamanı yaratan bu mikroskopik kaynaşması, çevremizdeki makroskopik gerçekliğin sessizce ortaya çıkmasının altında yatan nedendir. Her santimetreküp uzay ve geçen her saniye, minicik kuantumların dans eden bu köpüğünün sonucudur.

Dünya nelerden oluşur?

Uzayın dayandığı temel yok oldu, zaman yok oldu, klasik parçacıklar yok oldu, klasik alanlar yok oldu. Öyleyse dünya nelerden oluşur?

Yanıt artık basittir: Parçacıklar kuantum alanlarının kuantumlarıdır; ışık bir alanın kuantumlarından oluşur; uzay, kendisi de kuantum özellikte olan bir alandan başka bir şey değildir; zaman da söz konusu bu alandaki süreçlerden doğar. Bir başka ifadeyle dünya tamamen kuantum alanlarından meydana gelir (Resim 7.8).

Bu alanlar uzay-zaman içinde yaşamaz, deyim yerindeyse üst üste yaşarlar: Alan üstünde alan biçiminde. Büyük ölçeklerde algıladığımız uzay ve zaman bu kuantum alanlarından birinin, kütle çekimi alanının bulanık ve yaklaşık bir imgesidir.



Resim 7.8. Evren nelerden oluşur? Tek bir bileşenden: kovaryant kuantum alanlarından.

Bir temel, bir dayanak işlevi gören bir uzay-zamana gerek duymayıp uzay-zamanı kendileri yaratan ve tek başlarına var olabilen alanlara "*kovaryant* kuantum alanları" denir. Dünyayı meydana getiren öz, son yıllarda son derece basitleştirilmiştir. Dünya, parçacıklar, enerji, uzay ve zaman, tek bir tür olgunun dışavurumudur: Kovaryant kuantum alanlarının.

Kovaryant kuantum alanları, ilk biliminsanı ve ilk felsefeci Anaksimandros'un hipotezine göre her şeyi oluşturan temel madde *ἄπείρων*, *apeiron*'un bugün sahip olduğumuz en iyi tanımına karşılık gelir.[1]

Einstein genel göreliliğindeki eğri ve sürekli uzay ile kuantum mekaniğinin düz ve tekdüze bir uzayda yer

1. "[...] tüm elemanter daneciklerin, enerji ya da kısaca madde denilebilen evrensel bir ana maddeye indirgenebilecekleri yönündedir, yani ayrı ayrı elemanter daneciklerin hiçbirini 'temel' elemanter danecik diye ayırt etmek olmaz. İşte bu son görüş, örneğin Anaximender'in tezine tam tamına uymaktadır ve ben de modern fizikte bu görüşün doğru olduğu kanısındayım." [Werner Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, çev. M. Yılmaz Öner, Belge Yayınları, İstanbul, 2000, s. 40. (Ç.N.)]

alan ayrık kuantumları arasındaki fark artık tamamen ortadan kalkmıştır. Görünürde var olan çelişki artık yoktur. Uzay-zaman sürekliliği ile uzay kuantumları arasında, elektromanyetik dalgalar ile fotonlar arasındaki ilişkiden başka bir şey yoktur. Fotonlar, dalgaların etkileşim biçimidir. Kesintisiz uzay ve zaman, kütle çekimi kuantumları dinamiğinin büyük ölçekteki yaklaşık bir görüntüsüdür. Kütle çekimi kuantumları uzayın ve zamanın etkileşim biçimidir. Aynı matematik hem kuantum kütle çekimi alanını hem de diğer kuantum alanlarını tutarlı olarak tanımlar.

Ödenen kavramsal bedel, uzayın ve zamanın dünyayı çerçevelemeye yarayan yapılar olmaları düşüncesinden vazgeçmek olmuştur. Uzay ve zaman büyük ölçeklerde ortaya çıkan kaba hatlı, yaklaşık kestirimlerdir. Kant, bilginin öznesi ile nesnesinin birbirinden ayrılmaz olduğunu söylediğinde belki de haklıydı ama Newton uzayının ve zamanının, bilginin *a priori* biçimleri ve dünyayı anlamak için gerekli olan kaçınılmaz dilbilgisinin bir parçası olduklarını sandığı zaman da haksızdı. Bu dilbilgisi evrim geçirdi, bilgimiz arttıkça da değişmeye devam ediyor.

Sonra, genel görelilik ve kuantum mekaniği arasında başta göründüğü kadar bir gerginlik yoktur. Hatta dikkatli bakıldığında el sıkışıp derin konular üzerinde sohbet ettikleri görülür. Einstein'ın eğri uzayını dokuyan uzaysal ilişkiler, kuantum mekaniğinde temel sistemler arasındaki ilişkiyi ören etkileşimlerle aynıdır. Uzay ve zamanın bir kuantum alanının görünümleri olduğu ve kuantum alanlarının dışarıda bir uzaya "ayaklarını dayamadan" yaşayabildikleri anlaşılır anlaşılmaz, her ikisi de birbiriyle bağdaşır, ortaklık kurar, bir madalyonun iki yüzü olur.

Fiziksel dünyanın temel yapısının bu sadeleştirilmiş resmi, bugün ilmek kuantum kütle çekiminin bize gerçeklikle ilgili sunduğu bir bakış açısıdır.

Bu fiziğin en önemli ödülü, bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi, sonsuzluğun yok olmasıdır. Sonsuz küçük kavramı artık yoktur. Başlangıçta fizik açısından hatalı olarak uzayın kesintisiz olduğu varsayımına dayandıkları için, kesintisiz bir uzay üzerinden tanımlanan kuantum alan kuramının başına bela olan sonsuzluklar da yok olur. Kütle çekimi alanı çok fazla güçlendiğinde Einstein denklemlerini anlamsız kılan tekillikler kaybolur; bu tekillikler yalnızca alanın kuantumlaştırılmasının göz ardı edilmesiyle elde edilmişti. Parçalar yavaş yavaş yerine oturuyor. Son bölümlerde kuramın bazı fiziksel sonuçlarını anlatacağım.

Ne uzayda ne zamanda yer alan, uzayı ve zamanı aralarındaki ilişkilerle ören bu yalınık temel nesneleri hayalimizde canlandırmak garip ve zor görünebilir. Ama ayaklarımızın altında belki de başımızın üzerindeki gökten başka bir şey olmadığını söyleyen Anaksimandros'u dinleyenlere onun söyledikleri kim bilir ne kadar garip gelmiştir. Ya da Ay'ın ve Güneş'in Dünya'dan uzaklığını ölçmeye çalışırken çok uzaklarda olduklarını, bu nedenle de iki küçük top olmadıklarını, devasa boyutlarda olduklarını ve Güneş'in Dünya'yla karşılaştırıldığında çok büyük olduğunu bulan Aristarkhos'u... Veya yıldızlar arasındaki belli belirsiz bulutçukların akıl almaz uzaklıklardaki uçsuz bucaksız yıldız denizleri olduğunu fark ettiğinde Hubble'ı...

Dünya yüzyıllar boyunca çevremizde genişleyip durdu. Daha uzağı görüyoruz, onu daha iyi anlıyoruz, onun hep hayal edebildiğimizden daha zengin çeşitliliği ve sahip olduğumuz imgelerin sınırlılığı karşısında şaşırıp kalmaya devam ediyoruz. Aynı zamanda ona atfettiğimiz tanımlama da daha sade ve daha basit oluyor.

Dünya'yla ilgili hemen hemen hiçbir şey bilmeyen ama öğrenmeye devam eden, toprak altındaki kör köstebekler gibiyiz...

Ama gece olanları ayrıntılarıyla baştan sona dinleyince;
Bunu yaşayanların hepsinin aynı anda böyle şaşkınlığı,
Bunların hayal ürünü olmaktan öte,
Daha fazlası olduğunu gösteriyor;
Sanki bu anlatılanlarda gerçek payı varmış gibi geliyor;
Her neyse, yine de çok garip, anlatılanlar da harikulâde.[1]

1. William Shakespeare, *Bir Yaz Gecesi Rüyası*, V. Perde, 1. Sahne, çev. Özdemir Nutku, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 2017, s. 78. (Ç.N.)

DÖRDÜNCÜ KISIM

UZAYIN ve ZAMANIN ÖTESİNDE

Bir önceki kısımda kuantum kütle çekiminin temellerini ve bundan doğan dünya imgesini ortaya koydum.

Bu son bölümlerde kuramın Büyük Patlama ve kara delikler gibi olaylarla ilgili bize neler söylediği gibi bazı olası sonuçları anlatacağım. Ayrıca kuramı sınayan olası deneylerin güncel durumunu ve bana göre doğanın bize ne anlattığını, özellikle de büyük bir beklentiyle araştırılan üstünsimetrili parçacıklarla ilgili kanıt yokluğuna vurgu yaparak tartışacağım.

Sonunda dünya anlayışımızda hâlâ eksik olduğunu düşündüğüm şeyler çevresinde, şimdilik çok belirsiz olan fikirlerle ilgili düşüncelerimi paylaşarak bitireceğim: Bunlar kuantum kütle çekimi gibi zamanın ve uzayın olmadığı bir kuramda termodinamiğin ve bilginin rolünü tanımlamak ve zamanın ortaya çıkışını anlamakla ilgili olacak.

Tüm bunlar bizi, kesinlikle bilmediğimiz şeylere, çevremizi kuşatan güzel ve uçsuz bucaksız gizeme baktığımız noktaya, bildiklerimizin sınırına taşıyacak.

8

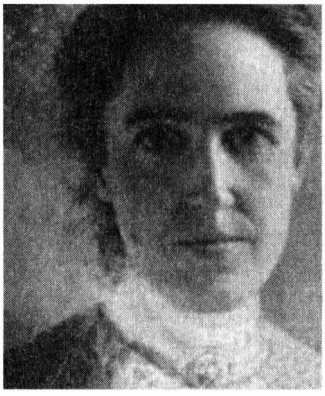
TANECİKLER

Usta

1927'de, birkaç yıl öncesinde Katolik rahipliği yemini etmiş Cizvit eğitimli genç bir Belçikalı biliminsanı, Einstein'ın denklemleri üzerinde çalışır ve bu denklemlerin, Einstein'ın kısa süre öncesinde fark ettiği gibi, evrenin ya genişlemekte ya da daralmakta olduğunu öngörebileceğini anlar. Bununla birlikte, Belçikalı rahip, Einstein'ın yaptığı gibi sonucu budalaca reddetmek ve inatla onu yok etmeye çalışmak yerine, sonucu ciddiye alır ve gökada gözlemlerinden elde edilen ilk sonuçları aramaya koyulur.

O zamanlar bunlara "gökada" [galaksi] değil, "bulutsu" [nebula] denirdi çünkü teleskoptan bakıldığında yıldızlar arasındaki rengârenk bulutçuklar gibi görünüyorlardı ve henüz kendi gökadamız gibi uzaklardaki devasa yıldız adaları oldukları bilinmiyordu. Ama Belçikalı genç rahip, verilerin evrenin aslında genişlediği düşüncesiyle tutarlı olduğunu anlar; komşu gökadalar gökyüzüne fırlatılmış gibi büyük bir hızla uzaklaşmaktadır. Daha uzaktaki gökadalar daha da büyük bir hızla uzaklaşır. Tüm evren bir balon gibi şişmektedir.

Belçikalı rahibin sezgisi iki yıl sonra iki Amerikalı ast-



Resim 8.1. Henrietta Leavitt.

ronom Henrietta Leavitt (Resim 8.1) ve Edwin Hubble tarafından doğrulanır. Leavitt bulutsuların uzaklıklarını hesaplamak için bizim gökadamız dışında, çok uzaklarda olduklarını doğrulamayı sağlayan bir teknik bulur. Hubble da bu tekniği ve Palomar Gözlemevi'nin büyük teleskobunu kullanarak gökadaların uzaklaştığını kanıtlayan hassas veriler elde eder.

Ama daha 1927'de bu verilerden can alıcı sonucu çıkaran, genç Belçikalı olur: Yükseğe doğru uçan bir taş gördüğümüzde bu, taşın daha önce alçakta olduğu ve bir şeyin onu yukarı doğru fırlattığı anlamına gelir. Gökadaların uzaklaştığını ve evrenin genişlediğini gördüğümüzde de bu, gökadaların daha önce yakın oldukları, evrenin daha küçük olduğu ve bir şeyin evrenin genişlemesini başlattığı anlamına gelir. Belçikalı genç rahip evrenin başlangıçta çok küçük ve yoğun olduğu ve genişlemeye bir tür devasa patlamayla başladığı görüşünü ortaya atar. Bu başlangıç durumuna "ilk atom" adını verir. Bugün ona "Büyük Patlama" diyoruz.

Adı Georges Lemaître'dir (Resim 8.2). Fransızcada "Lemaître" kulağa "*le maître*", "usta" veya "öğretmen" gibi gelir; sahibine bu kadar yakışan ada az rastlanır. Ama buna



Resim 8.2. Georges Lemaître. © Archives Georges Lemaître, Louvain.

karşın Lemaître ağırbaşlı ve içe kapanık bir kişiliğe sahipti, tartışmalardan kaçınırdı ve evrenin genişlemesini bulma onurunun sonradan kendisine değil de Hubble'a verilmesi konusunda hiçbir zaman bir şey yapmadı. Yine de düşünceleri görkemle yükseldi, biz de bugün bu fikirlerin gölgesinde yaşıyoruz. Yaşamından iki öykü onun derin zekâsını ortaya koyar. İlki Einstein, ikincisi papayla ilgilidir.

Einstein –anlattığım gibi– başta evrenin genişlemesi konusuna çok kuşkulu yaklaşıyordu. Evrenin sabit olduğunu düşünerek büyümüştü ve öyle olmadığını hemen göremedi. En büyükler bile yanılır ve önyargılarının kurbanı olur. Lemaître, Einstein'la buluştu ve önyargılarından vazgeçmesini sağlamaya çalıştı. Einstein başta direndi. Hatta ona şöyle bile dedi: "Hesap doğru, fizik berbat." Daha sonra Lemaître'in haklı olduğunu kabul emek zorunda kalacaktı. Einstein'ı haksız çıkarmak herkesin harcı değildir.

Aynı şey bir kez daha yaşandı: Einstein, denklemleri durağan bir evrenle tutarlı kılmaya yönelik (sonradan boşa çıkacak) bir umutla küçük ama önemli bir değişiklik yaparak bu denklemlere "kozmolojik sabit" kavramını

sokmuştu. Evrenin durağan olmadığını kabul ettiğindeyse kozmolojik sabite düşman oldu. Lemaître bir kez daha onun fikrini değiştirmeyi denedi: Kozmolojik sabit evreni durağan kılmıyordu, pekâlâ var olabilirdi, onu ortadan kaldırmaya gerek yoktu. Lemaître yine haklıydı: Kozmolojik sabit evrenin genişlemesi için bir ivme yaratır, bu ivme de yakın zamanda ölçüldü. Bir kez daha Einstein haksız, Lemaître haklı çıktı.

Evrenin bir Büyük Patlama sonucu doğduğu fikri kabul görmeye başlayınca Papa XII. Pius (22 Kasım 1951'de) kamuoyuna bir açıklama yaparak Büyük Patlama kuramının Eski Ahit'teki "Yaratılış" öyküsünü kanıtladığını açıkladı.[1] Papalığın bu açıklamasını büyük endişeyle karşılayan Lemaître, papanın bilim danışmanıyla ilişkiye geçti, papayı konunun peşini bırakmaya ve bir daha kamuoyu önünde yaratılış ile Büyük Patlama arasında olası ilişkiler kurmamaya ikna etmek için elinden ne geliyorsa yaptı. Lemaître bilim ile dinin bu biçimde karıştırılmasının bir budalalık olduğuna inanıyordu: Kutsal Kitap fizik hakkında, fizik de Tanrı hakkında hiçbir şey bilmezdi.[2] XII. Pius ikna oldu ve bir daha kamuoyu önünde bu konuya hiç değinmedi. Papayı yalanlamak herkesin harcı değildir.

Bu konuda da haklı olan şüphesiz Lemaître'di: Bugün sık sık Büyük Patlama'nın gerçekten bir başlangıç olmayabileceği, ondan önce başka bir evrenin var olmuş olabileceği konuşuluyor. Lemaître papayı engellemeseydi ve Katolik kilisesi, resmî doktrininin Büyük Patlama'nın yaratılışla aynı şey olduğunu kabul etseydi kilisenin ne kadar

1. Konuşma Vatikan'ın internet sitesinde bulunabilir: http://www.vatican.va/holy_father/pius_xii/speeches/1951/documents/hf_p-xii_spe_19511122_diserena_it.html#top.

2. Bkz. Simon Singh, *Big Bang*, Harper Collins, Londra, 2010, s. 362.

utanç verici bir durumda kalacağını düşünün bir. *Fiat lux* yerine *ışıkları tekrar yakalım* demek zorunda kalacaktı!

Hem Einstein'ı hem papayı haksız çıkarmak, her ikisini de ikna etmek ve her iki durumda da haklı çıkmak kesinlikle ciddi sonuçları olan bir şeydir. "Usta", adını sonuna kadar hak eder.

Bugün evrenin uzak bir geçmişte son derece sıcak ve yoğun olduğuna ve o zamandan beri genişlediğine yönelik dağlar kadar kanıt birikti. Bugün evrenin tarihini sıcak ve yoğun bir durumdan başlayarak detaylı biçimde yeniden oluşturabiliyoruz. Bu başlangıç durumundan atomların, elementlerin, gökadaların ve bugün gördüğümüz biçimiyle evrenin nasıl oluştuğunu yeniden oluşturmayı biliyoruz. 2013'te Planck uydusunun gözlemleriyle saptanan evreni dolduran ışıma, Büyük Patlama kuramını bir kez daha tam olarak doğruladı. Bu nedenle bugün evrenimizin sıcak ve yoğun bir ateş topu olduğu andan itibaren geçen 14 milyar yılda, geniş ölçekte neler olduğunu kabul edilebilir bir kesinlikle biliyoruz.

Hele başlangıçta, biraz gülünç olan "Büyük Patlama kuramı" adı, bu kuramın karşıtları tarafından kulağa garip gelen bu düşünceyle alay etmek için verildiği düşünülürse... Oysa sonunda hepimiz ikna olduk: Evren 14 milyar yıl önce yoğun bir ateş topuydu.

Öyleyse bu sıcak ve yoğun ilk durumdan *önce* ne oldu?

Zamanda geriye gidildiğinde hem sıcaklık hem de madde ve enerji yoğunluğu artar. Tam da 14 milyar yıl öncesine denk gelen bir noktada Planck ölçeğine ulaşırlar. O noktada genel görelilik denklemleri artık işe yaramaz çünkü artık kuantum mekaniği göz ardı edilemez. Kuantum kütle çekimi dünyasına adım atılır.

Kuantum kozmolojisi

Dolayısıyla 14 milyar yıl önce neler olduğunu anlamak için kuantum kütle çekimi gereklidir. İlmekler bu konuda bize ne anlatır?

Buna benzer ama çok daha basit bir durum düşünelim. Klasik mekaniğe göre bir atom çekirdeğine doğrudan düşen bir elektron, çekirdek tarafından yutulur ve yok olur. Ama gerçekte olan bu değildir. Klasik mekanik eksiktir ve kuantum etkilerinin göz önünde tutulması gerekir. Gerçek bir elektron bir kuantum nesnesidir, bu yüzden belirli bir rota izlemez; bir noktada bir anlık bir süreden daha uzun bir süre konumlanması mümkün değildir. Hatta ne kadar hassas biçimde konumlanırsa hızla o kadar uzağa kaçar. Çekirdek çevresinde sabitlemek isteseydik onu en fazla atom orbitalleri boyutunda bir orbitale zorlayabilirdik; artık belki çok kısa bir an dışında çekirdeğe yaklaşamaz, oradan hemen kaçardı. Bu nedenle kuantum mekaniği gerçek bir elektronun bir çekirdeğe düşmesini yasaklar. Sanki bir kuantum itme kuvveti elektron çekirdeğe çok yaklaştığında onu iter. Madde kuantum mekaniği sayesinde kararlı durumda kalır. Bu olmasaydı tüm elektronlar çekirdeğe düşerdi, ne atomlar olurdu ne de biz var olurduk.

Evren için de aynı şey geçerli olur. Kendi ağırlığıyla sıkışıp gittikçe küçülen bir evren düşünelim. Klasik kurama, yani Einstein denklemlerine göre, bu evren sonsuz ölçüde sıkışacak ve bir noktada elektronun çekirdeğe düşmesi gibi yok olacaktır. Bu, kuantum mekaniği göz ardı edildiğinde Einstein denklemlerinin öngördüğü noktasal Büyük Patlama'ya benzer.

Ama kuantum mekaniği göz önünde tutulursa evrenin belirli bir ölçekten daha fazla sıkıştırılamayacağını anlarız. Sanki onun sekmesini sağlayan itici bir kuantum



Resim 8.3. Evrenin sekmesi. Francesca Vidotto'nun izniyle.

kuvveti var gibidir. Küçülen bir evren bir noktaya çökmez, seker ve sanki kozmik bir patlama nedeniyle yeniden genişlemeye başlar (Resim 8.3).

Evrenimizin geçmişi de pekâlâ benzer bir çöküşün sonucu olabilir. Büyük Patlama yerine devasa bir sekme, ya da İngilizce olarak *Big Bounce* [Büyük Sekme]... Bu, kuantum kütle çekimi denklemlerinin evrenin genişlemesine uygulandıklarında aşağı yukarı ortaya koydukları şeydir.

Sekme imgesi sözlük anlamıyla anlaşılmamalıdır. Daha çok bir benzetmedir. Elektrona geri dönüp anımsayacak olursak, elektronu atoma mümkün olduğunca yaklaştırmak istediğimizde elektron artık bir parçacık olmaktan çıkar; bunun yerine onu bir olasılık bulutu olarak düşünebiliriz. Elektronun artık kesin bir konumu yoktur. Aynı şey evren için de geçerlidir: Büyük Patlama'ya kritik geçiş sırasında uzay ve zamanın belirgin olarak tanımlanmış olduklarını düşünemeyiz, yalnızca uzay ve zamanın tamamen yok olduğu bir olasılık bulutu olduğunu düşünebiliriz. Büyük Patlama sırasındaki dünya, denklemlerin her şeye karşın yine de tanımlayabildiği kaynaşan bir olasılık bulutu halinde erimiş durumdadır.

Evrenimiz bir başka evrenin çökmesiyle, uzayın ve zamanın olasılıklar içinde dağıldığı bir kuantum evresinden geçerek oluşmuş olabilir.

Bu noktada elbette "evren" sözcüğünün anlamı belirsizleşir. "Evren" derken "var olan her şey"i kastediyorsak o zaman, tanım gereği, ikinci bir evren olamaz. Ama "evren" sözcüğü kozmolojide yeni bir anlam edinmiştir: Çevremizde gördüğümüz, gökadalarla dolu, geometrisini ve tarihini araştırabildiğimiz uzay-zaman sürekliliğini belirtir. *Bu* anlamıyla evrenin, var olan biricik evren olduğundan emin olmak için herhangi bir neden yoktur. Özellikle de geçmişi, John Wheeler'ın imgesindeki gibi, uzay-zaman sürekliliğinin deniz gibi köpürdüğü ve bir kuantum olasılık bulutuna ayrıştığını bildiğimiz bir yere ve zamana dek yeniden oluşturursak, o zaman bu sıcak köpüğün ötesinde çevremizde gördüğümüze az çok benzeyen bir başka uzay-zaman sürekliliğinin olmaması gerektiği düşüncesini ciddiye almak için bir neden yoktur.

Bir evrenin Büyük Patlama aşamasında, küçülme evresinden büyüme evresine geçmesinin olasılığı bir önceki bölümde anlatılan teknikle, uzay-zaman kutuları tekniğiyle hesaplanabilir. Küçülen bir evren ile genişleyen bir evreni birbirine bağlayan spin köpüklerinin toplaması yapılır.[1]

Tüm bunlar hâlâ araştırma evresindedir ama bu öyküde çarpıcı olan, bugün elimizde bu olayları tanımlayacak denklemlerin olmasıdır. Şimdilik yalnızca kuramsal da olsa Büyük Patlama ötesine çekingen bir bakış atmaya başlıyoruz.

1. *Spinfoam* tekniklerinin kuantum kozmolojisinde kullanılabilmesine ilişkin bir katkı, bugün Hollanda'da çalışan İtalyan fizikçi Francesca Vidotto'nun doktora tezinde sunulmuştur.

9

DENEYSEL KANITLAR?

Kuantum kozmolojisinin ilgi alanı, evrenimizin ötesinde ne olabileceğini kuramsal olarak araştırmanın yarattığı büyünün ötesine geçer. Kuramın kozmolojiye uygulanmasının araştırılmasının bir başka nedeni daha vardır: Bize kuramın doğru olup olmadığını söylemek için bir yol sunabilir.

Fen işe yarar çünkü hipotezler ve akıl yürütmelerden, sezgilerden ve uzak görüşlerden, denklemler ve hesaplamalardan sonra başarılı olup olmadığımızı biliriz: Kuram, henüz gözlemlemediğimiz şeyler için öngörüler sunar, biz de bunların doğru olup olmadığını kontrol edebiliriz. Bilime bu büyük gücü veren, onu inanılır kılan ve sakince bunlara güvenmemizi sağlayan şey budur: Bir kuramın doğru mu yanlış mı olduğunu denetleyebiliriz. Fen bilimini, kimin haklı kimin haksız olduğunu belirlemenin genelde çok daha belalı olduğu hatta bazen tamamen anlamsız olduğu diğer düşünce biçimlerinden farklı kılan da budur.

Lemaître evrenin genişlediği fikrini desteklerken Einstein buna inanmıyorsa, ikisinden biri haklı, diğeri haksız olmalıdır. Einstein'ın tüm başardıklarının, ününün, bilim dünyası üzerindeki etkisinin ve muazzam otoritesinin hiçbir değeri yoktur. Gözlemler onu haksız çıkarır ve oyun

orada sona erer. Adı sanı duyulmamış Belçikalı bir rahip haklı çıkar. Bilimin sahip olduğu güç bundan kaynaklanır.

Bilim sosyolojisi, diğer tüm insan uğraşları gibi mantıksızlıkla kuşatılmış, iktidar oyunları ile toplumsal ve kültürel etkilerle yolu kesişen bilimsel bilgi gelişimi sürecinin karmaşıklığını gün yüzüne çıkarmıştır. Yine de tüm bunlara ve bazı postmodernler ile kültürel göreliliği savunanların abartılarına karşın, bunların hiçbiri sonuçta, çoğunlukla kimin haklı kimin haksız olduğunu açıkça belirleyebilme gücüne dayanan bilimsel düşüncenin uygulamada ve özellikle de kuram düzeyindeki etkisini hiçbir biçimde azaltmaz. Büyük Einstein bile, "Ah, yanılmışım!" demelidir (gerçekten de demiştir).

Bu, bilimin ölçülebilir öngörülerde bulunma sanatına indirgenmesi anlamına gelmez. Bazı bilim felsefecileri fen bilimini sayısal öngörülerle sınırlandırır. Bana kalırsa bunlar fen bilimini hiç anlamamıştır çünkü araçları amaçlarla karıştırırlar. Doğrulanabilir sayısal öngörüler, hipotezleri doğrulamak için kullanılan bir araçtır. Bilimsel araştırmanın amacı öngörülerde bulunmak değildir: Amacı dünyanın nasıl işlediğini anlamak, bir dünya imgesi ve üzerinde düşünmek için bir kavramsal yapı oluşturmak ve geliştirmektir. Fen bilimi, bir teknik olmaktan önce ileriyi hayal eden bir şeydir.

Kanıtlanabilir öngörüler bir şeyi yanlış anladığımızda bunu söylemeyi sağlayan keskin kılıçtır. Gözleme dayalı kanıtları olmayan bir kuram, henüz sınavlarını geçmemiş bir kuramdır. Sınavlar hiç bitmez, bir kuram da hiçbir zaman bir, iki, üç deneyle tam olarak doğrulanmış sayılmaz. Kuram, öngörüleri adım adım doğru çıktıkça gittikçe daha inanılır olur. Başta pek çok insanın kafasını karıştıran genel görelilik ve kuantum mekaniği gibi kuramlar, en beklenmedik ve en garip görünen öngörülerinin tümü deneylerle ve gözlemlerle kanıtlandıkça adım adım güvenilirlik kazanmıştır.

Deneysel kanıtların önemi, yeni deneysel veriler olmadan ileri doğru bir adım atılamayacağı anlamına da gelmez. Genellikle bilimin yeni bilimsel verilerle ilerlediği söylenir. Bu doğru olsaydı, yeni bir şeyler ölçmeden kuantum kütle çekimi kuramını bulmak için çok az ümidimiz olurdu; ama bunun doğru olmadığı ortada. Copernicus'un elinde hangi yeni veriler vardı? Hiçbir yeni veri yoktu. Ptolemaios'la aynı verilere sahipti. Newton hangi yeni veriye sahipti? Neredeyse hiç... Kullandığı gerçek unsurlar Kepler yasaları ile Galileo'nun sonuçlarıydı. Einstein'ın genel göreliliği bulmak için elinde hangi veriler vardı? Elinde hiç veri yoktu. Kullandığı unsurlar özel görelilik ile Newton kuramıydı. Fiziğin ancak elde yeni veriler olduğunda ilerlediği savı doğru değildir.

Copernicus'un, Newton'ın, Einstein'ın ve daha pek çoklarının yaptığı, doğanın pek çok farklı alanından elde edilmiş deneysel bilgiyi sentezleyerek, zaten var olan kuramlar üzerine yeni bir yapı inşa etmek ve bunları birleştirip yeniden düşünmek için daha iyi bir yol bulmaktı.

Kuantum kütle çekimi araştırmalarının en iyileri bu temel üzerinde ilerler. Bilginin kaynağı, bilimde her zaman olduğu gibi sonuçta yine de deneyseldir. Ama kuantum kütle çekiminin temelini oluşturan veriler yeni deneyler değildir, dünyaya ilişkin bilgimizi daha önce kısmen tutarlı olarak biçimlendirmiş olan kuramsal yapılardır. Kuantum kütle çekiminin "deneysel veriler"i genel görelilik ve kuantum mekaniğidir. Bu temeller üzerinde, kuantumlar ile eğri uzayın birlikte bulunabileceği tutarlı bir dünyanın nasıl oluşturulabileceğini anlamayı deneyerek bilinmeyene doğru bakmaya çalışıyoruz.

Newton, Einstein ve Dirac gibi bizden önceki devlerin muazzam başarısı bize cesaret veriyor. Onların düzeyinde olduğumuzu öne sürmüyoruz. Ama onların omuzlarında oturma ayrıcalığına sahibiz, bu da bizim onlar-

dan daha uzağı görmemizi sağlıyor. Öyle ya da böyle, denemekten başka çaremiz yok.

İpuçları ile kanıtları birbirinden ayırmak gerekir. İpuçları Sherlock Holmes'u doğru yöne yönlendirip gizemli bir davayı çözmesini sağlayan şeylerdir. Kanıtlarsa yargıcın suçluyu cezaevine göndermek için ihtiyaç duyduğu şeylerdir. İpuçları bizi doğru kuramlara götüren yolları gösterir. Kanıtlar da bulunan kuramın gerçekten doğru olup olmadığını ortaya koyar. İpuçları olmadan doğruları yanlış yerlerde ararız. Kanıt olmadan da şüphe içinde kalırız.

Aynı şey kuantum kütle çekimi için de geçerlidir. Kuram henüz emekleme çağındadır. Kuramsal mekanizması sağlamlaşmakta, temel düşünceleri de aydınlığa kavuşmaktadır, ipuçları iyi ve sağlamdır ama öngörüleri henüz doğrulanmış değildir. Kuram henüz sınavlarına girmemiştir.

Doğanın işaretleri

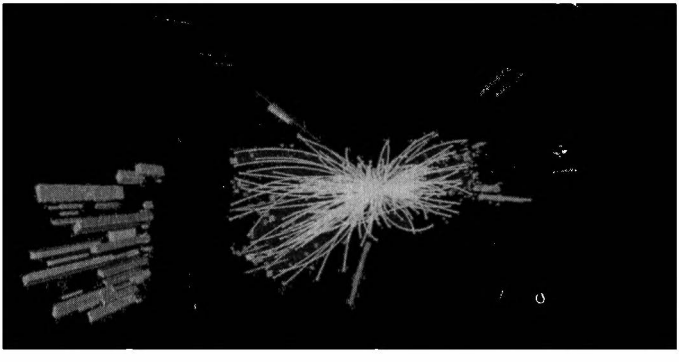
Bana kalırsa yine de doğanın bize sunduğu işaretler olumludur.

Bu kitapta anlatılan araştırmanın yanı sıra üzerinde en çok çalışılan seçenek sicim kuramıdır. Sicim kuramı veya ilişkili kuramlar üzerinde çalışan fizikçilerin büyük bölümü Cenevre'deki CERN'in parçacık hızlandırıcısı Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (*Large Hadron Collider*, LHC) çalışmaya başlar başlamaz, sicim kuramınca öngörülen yeni tür parçacıkların görüleceğini umuyordu; üstünsimetrili parçacıklar denen bu parçacıklar şimdiye dek gözlemlenmedi. Sicim kuramının tutarlı olabilmesi için bu parçacıklara ihtiyacı var: "Sicimciler" işte bu nedenle onları bulmayı bekliyordu. Öte yandan ilmek kuantum kütle çekimi kuramı, üstünsimetrili parçacıklar olmadan da iyi ta-

nımlanmış bir kuramdır. Bu yüzden "ilmekçiler" de bu parçacıkların var olmayabileceğini düşünüyordu.

Üstünsimetrili parçacıkların ortaya çıkmaması, pek çoklarını hayal kırıklığına uğrattı. 2013'te Higgs parçacığının ardından koparılan büyük yaygara da bu hayal kırıklığını örtmeye yaradı. Bunca sicimcinin beklentisine karşın üstünsimetrili parçacıklar güçlü bir biçimde ortaya çıkmadı. Bu, hiç şüphesiz hiçbir şeyin kesin kanıtı değildir, bundan henüz uzağız; ama bana öyle geliyor ki doğa iki seçenek arasından ilmekçiler lehine küçük bir ipucu vermiştir.

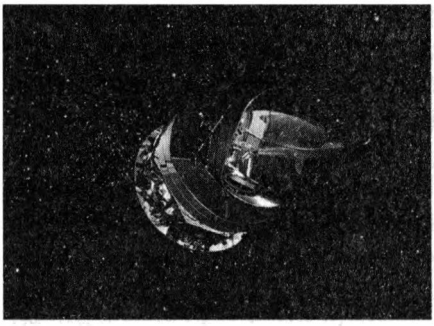
2013 deneylerinin temel fizik açısından iki önemli sonucu vardır.[1] Birincisi Cenevre'deki CERN'de tüm dünya gazetelerinin çokça söz ettiği Higgs bozonunun bulunmasıdır[2] (Resim 9.2). İkincisi de Planck uydusunun (Resim 9.3) 2013'te kamuoyuna sunulan ölçüm verileridir. Bu ikisi doğanın bize son zamanlarda verdiği iki işarettir.



Resim 9.1. Bir Higgs parçacığının oluşumunu gösteren bir CERN etkinliği.

1. Kitabın İngilizce çevirisinde yazar bunlara bir üçüncüsünü ekler: "2016'nın ilk aylarında açıklandığı üzere kütle çekimi dalgalarının ilk kez gözlemlenmesi." Bkz., *Reality Is Not What It Seems*, s. 187. (Ç.N.)

2. Bu konuda bkz. Lisa Randall, *Higgs Keşfi*, çev. R. Ömür Akyüz, Pan Yayıncılık, İstanbul, 2014. (Ç.N.)



Resim 9.2. Planck uydusu.

Bu iki sonucun ortak bir noktası vardır: Sonuçların kimseyi şaşırtmaması. Higgs bozonunun bulunması, kuantum mekaniğine dayanan temel parçacıkların standart modelinin sağlam bir kanıtıdır. Otuz yıl öncesinde yapılmış bir öngörünün doğrulanmasıdır. Planck ölçümleri de kozmolojik sabiti içeren genel göreliliğe dayanan kozmolojik standart modelin sağlam bir kanıtıdır.[1] Fen bilimcilerin büyük işbirliğiyle, büyük teknolojik çabalarla ve önemli maliyetlerle elde edilen bu iki sonuç evrenin evrimiyle ilgili imgeyi sağlamlaştırmaktan başka bir işe yaramamıştır. Ortada gerçekten büyük bir sürpriz yoktur. Ama bu sürpriz yokluğu şaşırtıcı olmuştur çünkü pek çokları bir sürpriz beklemekteydi. CERN'de Higgs bozonunu değil, üstünsimetrili parçacıkları bulmayı bekliyorlardı. Başka pek çok insan da Planck uydusunun, genel göreliliğe seçenek olacak, şu ya da bu kozmolojik kuramı destekleyecek, standart kozmolojik modelle farklılıklar gösteren ölçümler ortaya koymasını bekliyordu.

Oysa öyle olmadı. Doğanın bize anlattığı şey basittir: Görelilik kuramı, kuantum mekaniği ve kuantum mekaniği kapsamındaki standart model doğrulanmıştır.

1. Kitabın İngilizce çevirisinde üçüncü deneyin de şu sonucu verdiği yazar: "Kütle çekimi dalgalarının bulunması, yüz yıllık genel görelilik kuramının çarpıcı bir kanıtıdır.", *Reality Is Not What It Seems*, s. 188. (Ç.N.)

Bugün pek çok kuramsal fizikçi aceleci ve gönüllerinden geçen hipotezlerle yeni kuramlar arıyor. "Hayal edelim ki..." Bu biçimde bilim yapmanın hiçbir zaman iyi sonuç vermediğini düşünüyorum. Hayal gücümüz elimizdeki ipuçlarından yararlanmadan dünyanın nasıl olabileceğini "hayal etmek" için fazlasıyla sınırlıdır. Elimizdeki izler, yani ipuçlarımız, başarılı olmuş kuramlar ve deneysel sonuçlardır, başka hiçbir şey değil. Bu veriler ve bu kuramlar içinde henüz hayal etmeyi bilemediğimiz şeyi ortaya çıkarmayı denemeliyiz. Copernicus da, Newton da, Maxwell de, Einstein da böyle yapmıştı. Hiçbir zaman, bugün bana göre çok fazla kuramsal fizikçinin yaptığı gibi, yeni bir kuram "hayal etmeyi denemediler."

2013 deneylerinin sonuçları doğanın ağzından bize sanki şunları söylüyor: "Yeni alanlar, garip parçacıklar, ek boyutlar, farklı simetriler, paralel evrenler, sicimler gibi şeylerin hayalini kurmayı bırakın. Problemin verileri basittir: Genel görelilik, kuantum mekaniği ve standart model. Bunları 'yalnızca' doğru biçimde birleştirmek söz konusudur, bir sonraki adımı böyle atabilirsiniz." Bu, ilmek kuantum kütle çekimi yönünde cesaret verici bir işaret çünkü kuramın hipotezlerini bunlar oluşturuyor: "Genel görelilik, kuantum mekaniği ve standart modelle tutarlı olma", başka bir şey değil. Uzay kuantumları ve zamanın yok olması gibi radikal kavramsal sonuçlar cüretli hipotezler değildir, iki kuramı ciddiye alma ve bunlardan sonuç çıkarma tercihinin bir sonucudur.

Fakat bir kez daha bunların kesin kanıtlar olmadığını söylemeliyiz. Örneğin üstünsimetrili parçacıklar, henüz ulaşmadığımız bir boyutta yer alıyor olabilir ve temelde ilmek kuramı doğru olsa bile var olabilir. Dolayısıyla üstünsimetrinin arandığı yerde bulunmamasından dolayı sicimcilerin yüzü biraz daha asık olsa da, ilmekçilerinki biraz daha gülse de, söz konusu olan yalnızca ipuçlarıdır, kanıtlar değil.

Kuram için daha sağlam kanıtlar aramak için onu başka yerlerde aramalıyız, evrenin ilk durumu da gelecekte, umalım ki çok uzak olmayan bir tarihte, kuramın öngörülerinin kanıtlanmasını ya da reddedilmesini sağlayacak yeni bir pencere açabilir.

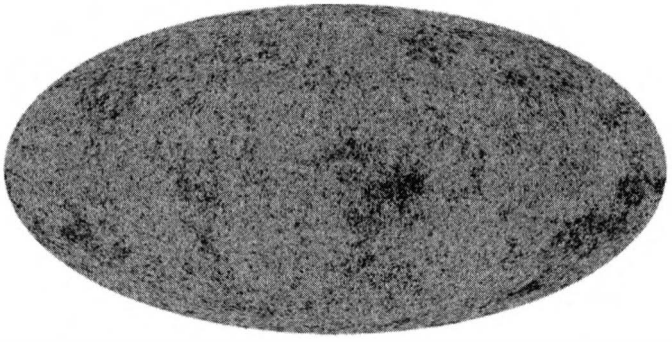
Kuantum kütle çekimine açılan bir pencere

Evrenin ilk kuantum evresinden geçişini tarif eden denklemlere sahipsek, başlangıç kuantum olaylarının evren üzerindeki bugün gözlemlenebilen etkilerini hesaplayabiliriz. Evren başlangıçtaki olayların pek çok izini bugün de taşır. Tüm evren kozmik ardalan ışımasıyla doludur: Bu, evrenin ilk anlarındaki yüksek sıcaklığından kalan parıltı, evreni dolduran foton denizidir.

Bir başka ifadeyle, gökadalar arasındaki engin uzayda bulunan elektromanyetik alan bir fırtınadan sonra titreşen deniz yüzeyi gibidir. Bütün evrene yayılmış bu titreme *kozmik ardalan ışıması*dır. Bu ışıma son yıllarda (1989'da fırlatılan) COBE, WMAP (2001) ve daha yakın bir geçmişte Planck uyduları aracılığıyla araştırılmıştır. Bu mikrodalgaların bir görüntüsü Resim 9.3'te verilmiştir. Bu ışımanın yapısının ayrıntıları bize evrenin tarihini anlatır ve bu ayrıntıların kıvrımları arasında evrenin kuantum başlangıcının izleri de saklanmış olabilir.

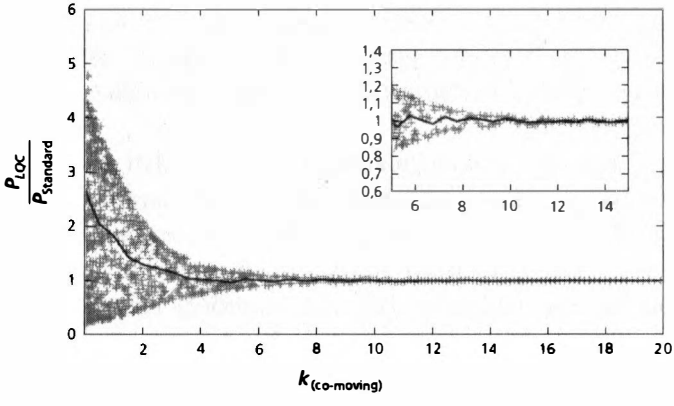
İlmek kuantum kütle çekimi araştırmalarının en etkin kesimi evrenin ilk anlarındaki kuantum dinamiğinin bu verilere nasıl yansıdığını araştırıyor. Sonuçlar henüz başlangıç aşamasında ama cesaret verici. Kesin değil ama daha çok hesapla ve daha hassas ölçümlerle kuramı gerçekten sınamaya ulaşabilmek mümkün olmalı.

Abhay Ashtekar, Ivan Agullo ve William Nelson 2013'te, bazı varsayımlar altında bu kozmik ardalan ışıması dalgalanmalarının istatistiksel dağılımının evrenin ilk anlarındaki sekmeden etkilenmiş olması gerektiğini hesapla-



Resim 9.3. Kozmik ardalan ışımasının dalgalanmaları. Bu, evrenin elimizdeki en eski kalıntısının görüntüsüdür. Bu mikrodalgalar 14 milyar yıl önce oluşmuştur. Buna benzer dalgalanmaların istatistikleri arasında kuantum kütle çekiminin öngörülerinin kanıtlarını bulmayı umuyoruz.

dıkları bir makale yayımladı: Geniş açılı dalgalanmalar kuantumları göz önünde tutmayan kuramın öngördüğünden daha büyük olmalıdır. Ölçümlerin güncel durumu Resim 9.4'te verilmiştir, burada siyah çizgi Ashtekar,



Resim 9.4. Ardalan ışınımı spektrumu üzerine olası öngörü; ilmek kuantum kütle çekimininki (sürekli çizgi) ve güncel deneysel hata (noktalar) karşılaştırılmıştır. A. Ashtekar, I. Agullo ve W. Nelson'ın izniyle.

Agullo ve Nelson'ın öngörüsünü, gri noktalar da deney sonuçlarını göstermektedir. Görüldüğü gibi bunlar siyah çizginin üç yazarın öngördüğü üzere yukarı doğru kıvrılmasının doğru mu yanlış mı olduğunu değerlendirmek için şimdilik yetersizdir. Ölçümler kuramı sınamaya yaklaşıyor, ama henüz o noktaya ulaşılmadı. Ayrıca bu üç yazarın özel hesaplama varsayımlarının doğru olduğundan da tam olarak emin değiliz. Bu nedenle durum hâlâ belirsizliğini koruyor. Ama benim gibi yaşamını kuantum uzayının gizemlerini anlamaya çalışmakla geçirmiş olanlar, gözlem, ölçüm ve hesap yeterliklerimizin sürekli olarak gelişmesini dikkatle, endişeyle ve ümitle izliyor ve doğanın bize haklı mı, haksız mı olduğumuzu söyleyeceği ânı bekliyor.

Kütle çekimi alanı da başlangıçtaki yüksek sıcaklığın izlerini taşıyor olmalıdır. Kütle çekimi alanı, yani uzayın kendisi de denizin yüzeyi gibi çırpıntılı olmalıdır. Yani elektromanyetik ardalan ışınımından daha eski bir *kütle çekimsel* ışınım da var olmalıdır çünkü kütle çekimi dalgaları elektromanyetik dalgalarla karşılaştırıldığında maddeden daha az etkilenir, bu nedenle de evrenin elektromanyetik dalgaların geçişine izin vermeyecek derecede yoğun olduğu zamanlarda etkilenmeden hareket edebilmiş olmalıdır.

Kütle çekimi dalgalarını henüz doğrudan gözlemlemedik[1] ama bunlar Einstein denklemleri tarafından öngörülmüştür; yıldız sistemleri üzerindeki etkilerini görüyoruz ve gerçekten var olduklarına inanıyoruz. Dünyada bu dalgaları gözlemleyebilmek için gittikçe hassas ölçümler yapan farklı algılayıcılar vardır. Bunların en büyüklerinden biri İtalya'da Pisa yakınlarındadır ve adı VIRGO'dur.

1. Kütle çekimi dalgaları artık saptandı ve bu buluşlarıyla Rainer Weiss, Barry Barish ve Kip Thorne 2017 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandı. (Ç.N.)

Lazer ışınlarının üç sabit nokta arasındaki uzaklığı ölçtüğü birbiriyle dik açı yapan birkaç kilometre uzunluğundaki iki koldan oluşur. Bir kütle çekimi dalgası geçtiğinde uzay hissedilemeyecek ölçüde uzar ve kısalır, lazerler de bu çok küçük değişimi belirler.[1]

LISA (ya da son haliyle, tamamen Avrupalı bir girişim olacak biçimde eLISA) adındaki çok daha iddialı bir proje değerlendirme aşamasındadır ve aynı şeyi çok daha büyük ölçekte yapacaktır: Dünya'yı yörüngesinde hareket ederken izleyecek üç uydu, Dünya'nın değil, küçük gezegenler gibi Güneş'in çevresinde yörüngeye oturtulacaktır. Üç uydu, birbirleri arasındaki uzaklığı, daha doğrusu bir kütle çekimi dalgası geçtiğinde meydana gelecek uzaklık farkını ölçecek lazerlerle birbirlerine bağlıdır. eLISA fırlatılırsa kütle çekimi dalgalarını kabul edilebilir bir kesinlikle görebilir ve belki de bu dalgaların Büyük Patlama'dan çok kısa bir süre sonra ortaya çıkıp yayılmış arka planlarını gözlemlemek için önümüzde yeni bir yol açabilir.

Dünya'nın çevresindeki uzayın çok hafif dalgalanmaları arasında evrenimizin doğduğu 14 milyar yıl önce olan olayların izlerini bulabilmemiz ve orada uzay ve zamana ilişkin çıkarımlarımızın kanıtlarını aramamız gerekiyor.

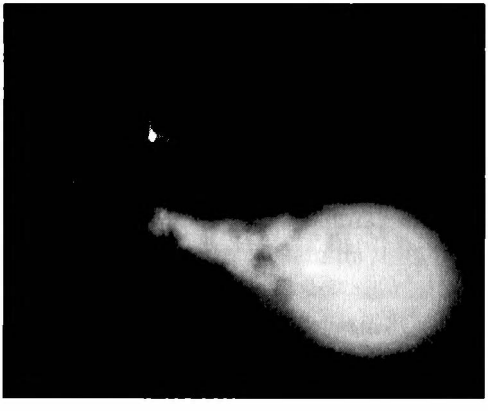
1. Bu bir girişimölçerdir: Algılayıcının kollarının uzunluğunda meydana gelen çok küçük değişiklikleri saptamak için bu kollardaki lazer ışınları arasındaki girişimi ölçer.

10

KARA DELİKLERİN ISISI

Kara delikler evrenimizde çok sayıda bulunan cisimlerdir. Uzayın kendi içine çökecek denli eğrildiği ve zamanın durma noktasına gelecek kadar yavaşladığı bölgelerdir. Örneğin bir yıldızın, yakıtı olan tüm hidrojeni tüketip kendi ağırlığıyla çökmesinden oluşur.

Çöken yıldız sıklıkla komşu yıldızlardan biriyle bir çift oluşturur, bu durumda kara delik ile henüz ölmemiş olan eşi birbiri çevresinde döner ve kara delik diğer yıldızdan sürekli olarak madde emer (Resim 10.1'deki gibi).



Resim 10.1. Bir yıldız-kara delik çiftinin temsilî resmi. Yıldız, bir bölümü kara delik tarafından yutulan, bir bölümü de onun kutupları yönünde fırlatılan maddelerini yitirir.

Astronomlar bizim güneşimiz boyutlarına (kütlesine) benzer pek çok kara delik buldu. Ama devasa kara delikler de vardır. Bunlardan biri, bizim gökadamızda olduğu gibi neredeyse her gökadanın merkezinde bulunur.

Gökadamızın merkezindeki kara delik bugün ayrıntılı biçimde incelenmektedir. Güneşimizden bir milyon kez daha büyük bir kütleye sahiptir. Çevresinde, Güneş çevresindeki gezegenler gibi dönen yıldızlar vardır. Bazen bir yıldız bu devasa canavara çok yaklaşır, kütle çekimi kuvvetiyle parçalanır ve bir köpekbalığı tarafından yutulan küçük bir balık gibi tepegöz canavar kara delik tarafından yutulur. Bir milyon güneş büyüklüğündeki bir canavarın bir anda Güneş'imizi ve küçücük gezegenlerini yuttuğunu düşünün bir...

Birkaç yıl içinde sonuç vermesi beklenen ve astronomların gökadamızın merkezindeki kara deliği tam anlamıyla "görmemizi" sağlayacak çok yüksek çözünürlüklere ulaşmayı umduğu, bir kutuptan diğer kutba tüm dünyayı saran bir anten ağı kurma projesi yürütülmektedir. Görülmesi gereken şey aslında korkunç deliğin içine düşmekte olan madde ışınımının oluşturduğu ışıkla kuşatılmış küçük, siyah bir disktir.

Kara deliğe giren bir şey, ışık bile, bir daha dışarı çıkamaz. Bir kara deliğin yüzeyi bir küreye hapsedilmiş bir şimdiki zaman gibidir: Kürenin ötesinde gelecek vardır ve gelecekten geri dönülmez.

Bir kara deliğin ne olduğunu anlamak zor değildir. Hiçbir cismin aşamadığı bir hız sınırının, ışık hızının var olduğunu anımsamak yeterlidir. Havaya bir top attığınızı düşünün. Top gerisingeri düşecektir. Ama yeteri kadar hızlı fırlatırsanız, yerçekiminden kurtulmayı kaçıp gitmeyi başarır. Kaçmak için gereken en düşük hıza "kurtulma hızı" denir. Yeryüzünden kurtulma hızı yaklaşık 11 km/s'dir. Bu yüksek bir hızdır ama ışık hızından kat-

bekat düşüktür. Bir gezegen ya da bir yıldız ne kadar ağır ve yoğunsa kurtulma hızı da o kadar yüksektir. Bir yıldız o denli ağır ve yoğun olabilir ki kurtulma hızı ışık hızından daha büyük olur. Işık bile kütle çekimi kuvvetinden kaçmak için yeterli hıza sahip olamaz. Yukarı doğru giden bir ışın en yüksek noktaya ulaştıktan sonra geriye düşer. Işık hızı bir cismin ulaşabileceği en yüksek hız olduğu ve hiçbir şey bu hızı aşamayacağı için *herhangi* bir nesne geri düşer ve hiçbir şey oradan kaçamaz: Hiçbir şey bu sınır yükseklikten dışarı çıkamaz. Bu bir kara deliktir: Dışarıdan bakıldığında yalnızca içine girilebilen ve içinden çıkılamayan bir küre gibidir.

Bir roket, kara delik *ufku* denen bu maksimum yükseklik küresinin biraz dışında sabit bir konumda durabilir. Ama bunun için deliğin kütle çekimi kuvvetini yenecek biçimde motorlarını çok büyük bir güçle çalıştırması gerekir. İçinde bulunduğu güçlü çekim kuvveti, roket içindeki biri için zamanın çok büyük ölçüde yavaşlamasına neden olur. Ufka yakın geçirilen bir saat sonunda roket oradan uzaklaşabilir ve içindeki o insan yüzyıllar geçmiş olduğunu anlayabilir. Roket ufka ne kadar yaklaşırsa zaman da o kadar yavaşlar, dış zaman da onun için çok hızlı akmaya başlar. (Geçmişe yolculuk zordur ama geleceğe yolculuk, ilkesel olarak kolaydır: Bir uzay gemisiyle bir kara deliğe yaklaşmak, orada biraz kalmak ve yeniden uzaklaşmak yeterlidir. Dışarıda binlerce yıl geçmiş olabilir.) Ufuk üzerinde zaman durur: Ona yaklaşıp (bizim süremizle) birkaç dakika sonra ayrılırsak evrenin geri kalanında milyonlarca yıl geçmiş olabilir.

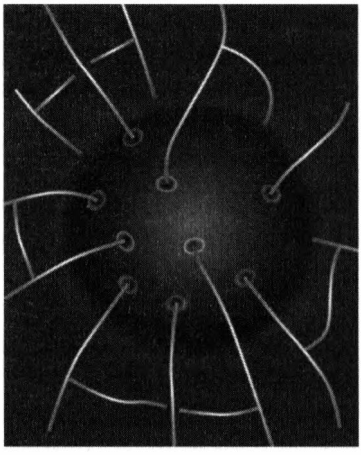
Gerçekten şaşırtıcı olan, bugün sıradan bir biçimde gözlemlenen bu garip cisimlerin özelliklerinin, gerçekten gözlemlenmeden önce Einstein kuramı tarafından *öngörülmeleridir*. Bugün astronomlar gökyüzündeki bu cisimleri inceliyor ama daha birkaç yıl öncesine kadar

kuramın pek inanılmayan garip bir sonucu olarak görülüyorlardı. Üniversitedeki profesörümün kara delikleri Einstein denklemlerinin çözümü olarak sunduğunu ve gerçek cisimlere karşılık gelmesinin pek olası olmadığını söylediğini anımsıyorum. Oysa kuramsal fiziğin, cisimleri daha görmeden inanılmaz biçimde keşfetme yeteneği, gökyüzündeki bu cisimlerin gerçekliğinin kanıtları gitgide daha güçlü bir biçimde ortaya çıktıkça bir kez daha doğrulanmış oldu.

Einstein kuramı gözlemlediğimiz kara delikleri iyi tarif eder ve onları anlamak için kuantum mekaniği genellikle gerekli değildir. Ama kuantum mekaniğinin, göz önünde tutulması gereken iki gizemli özelliği vardır ve ilmek kuramı her ikisi için de bir çözüm önerir.

Bir yıldız kendi ağırlığıyla bir kez çöktü mü bir daha dışarıdan görülemez çünkü artık kara deliğin içindedir. Öyleyse kara delik içinde neler olur? Bir kara deliğe düşersek ne görürüz? Başta pek özel bir şey değil: Kara deliğin yüzeyini pek zarar görmeden geçeriz, özellikle de kara delik yeterince büyükse, ama sonra gittikçe daha büyük bir hızla merkeze doğru düşeriz. Peki bu noktada ne olur? Bu noktada genel görelilik, her şeyin sonsuz küçüklükte bir noktaya ulaşana kadar sıkışacağını ve Büyük Patlama'daki gibi sonsuz bir yoğunluğa ulaşacağını öngörür. Bu, en azından kuantum kütle çekimi göz ardı edildiğinde böyledir.

Bunun yerine kuantum kütle çekimi göz önünde tutulursa öngörü artık doğru olmaz çünkü evreni Büyük Patlama'da sektiren itici gücü göz ardı eder. Beklememiz gereken şey, merkeze yaklaştıkça düşen maddenin sonunda yavaşlaması ve çok yoğun duruma gelmesi ama sonsuz yoğunlukta olmaması gerektiğidir. Yoğunlaşır ama sonsuz küçük bir noktaya sıkışacak ölçüde değil. Çünkü küçüklüğün bir sınırı vardır. Bu, ilmek kuramının kara delik fiziğine uygulanmasının ilk örneğidir (Resim 10.2).



Resim 10.2. İlmeklerin, yani kütle çekimi alanının durumunu belirleyen spin ağındaki tekil bağlantıların geçtiği bir kara delik yüzeyi. Her bir ilmek kara delik yüzeyinde bireysel bir kuantumun varlığını belirler. © John Baez.

İkinci uyarlama kara deliklere bağlı ilginç bir olayla ilgilidir. Bunu bulan, ciddi bir hastalıktan ötürü tekerlekli sandalyeye mahkûm olduğu ve yalnızca bir bilgisayar sayesinde iletişim kurabildiği halde işini sürdürmeyi başarmış olan ve daha sonra ünlenen İngiliz fizikçi Stephen Hawking oldu. 1970'lerin başında Hawking kara deliklerin (kuramsal olarak) "sıcak" olduklarını buldu. Bu, onların sıcak cisimler gibi davrandıkları anlamına gelir: Belirli bir sıcaklıkta ısı yayarlar. Isı verdikçe enerji ve dolayısıyla kütle yitirerek (enerji ve kütle aynı şeydir) gittikçe küçülürler. Kara deliklerin "buharlaştığı" söylenir. "Kara deliklerin buharlaşması" Hawking'in en önemli buluşuydu. Bu bize kara deliğe düşen ve orada kalan maddeye sonuçta ne olduğu sorusunu yanıtlama olanağı verir: Kara delikler buharlaştığı için büzülür ve er ya da geç içeri giren her şeyin dışarı çıkmasına izin verecek ölçüde küçülür. (Bilim dünyasında hâlâ canlı bir tartışma sürse de bu bana en akla yatkın senaryo gibi geliyor.)

Bir kara delikte hapsolan madde orada ne kadar kalır? Bu, yanıltıcı bir sorudur çünkü farklı kişiler için za-

man pekâlâ farklı hızlarda akabilir. Dışarıdaki bir gözlemci için bir kara deliğe düşen bir madde parçası orada çok uzun bir süre kalacaktır. Özgür kalabilmek için madde parçasının kara deliğin buharlaşmasını beklemesi gerekir, bu da çok uzun sürer. Bir yıldız kütlesine sahip olan bir kara deliğin –ki bunlardan gökadalarda çok sayıda vardır– tamamen buharlaşması için milyarlarca yıl geçmesi gerekir, bu sırada gökyüzündeki tüm yıldızlar sönmüş olacaktır.

Gelgelelim –anımsıyor musunuz?– bir kütleye ne kadar yaklaşırsanız, zaman da o kadar yavaşlar. Kara deliğe düşen madde için bu zaman son derece yavaştır. Bir kara deliğin içine (çok sağlam!) bir saat atarsak, çok uzun bir süre sonra dışarı çıktığında ölçtüğü süre çok kısa olacaktır. Bir kara deliğe girersek hemen aynı anda uzak bir gelecekte dışarı çıkarız. Sonuçta bir kara delik uzak geleceğe kestirme bir yoldur.

Maddeler genellikle sıcaktır çünkü mikro ölçekteki içerikleri hareket halindedir. Bir demir parçası örneğin, atomların denge durumları çevresinde son derece hızlı titreştiği bir demir parçasıdır. Sıcak hava, moleküllerin soğuk havadan daha hızlı hareket ettiği havadır.

Bir kara delik sıcaksa, titreşen temel "atomlar" hangileridir? Stephen Hawking bu soruyu yanıtsız bırakmıştır. İlmek kuramı bu soruya bir yanıt sunar. Kara deliğin ısısından sorumlu olan titreşen temel "atomlar" onun yüzeyindeki tekil uzay kuantumlarıdır.

İlmek kuramını kullanarak Hawking'in öngördüğü kara deliklerin garip ısısını anlamak mümkün olmuştur: Bu, tekil uzay atomları olan ilmeklerin mikroskopik "titreşimi"nin bir sonucudur. Bunlar titreşir çünkü kuantum mekaniği dünyasında hiçbir şey durağan kalamaz, her şey titreşim halindedir. Bir şeyin belirli bir yerde sürekli olarak hareketsiz kalmasının olanaksız olması ku-

antum mekaniğinin özüdür. Kara deliklerin ısısı doğrudan ilmek kuantum kütle çekiminin uzay atomlarının dalgalanmalarına bağlı olabilir.

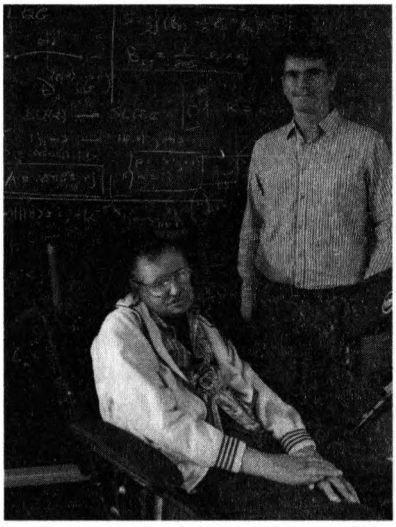
Kara deliğin kesin konumu yalnızca kütle çekimi alanının bu mikro ölçekteki dalgalanmaları kapsamında belirlenir. Ufuk bu nedenle bir anlamda sıcak bir cisim gibi dalgalanır.

Kara deliklerin ısısının kaynağını anlamanın daha incelikli bir yolu daha vardır. Kuantum çalkantıları kara deliğin içi ile dışı arasında bir korelasyona işaret eder. (Korelasyon ve sıcaklık üzerinde 12. Bölüm'de daha çok duracağım.) Kuantum mekaniğinin özelliği olan belirsizlik, kara delik ufkunun "üstünde" de vardır. Ufkun ötesindeki bir şey görme alanımızdan çıktığı için bu belirsizlik kara deliğin yüzeyine yaklaşan herhangi bir şeyin çalkalanması için ek bir neden olur. Ama "çalkalanma" demek, olasılık, dolayısıyla istatistik, dolayısıyla termodinamik, dolayısıyla sıcaklık demektir. Evrenin bir parçasını bizden gizleyen bir kara delik kuantum dalgalanmalarını ısı biçiminde ortaya çıkarır.

Bu fikirlerden ve ilmek kuantum kütle çekiminin temel denklemlerinden yola çıkarak Hawking'in öngördüğü kara delik ısısını açıklayabilecek formülün nasıl yazılacağını gösteren çok zarif bir hesap geliştiren kişi, Napoli ile Benevento arasındaki Faicchio köyünden genç bir İtalyan fen bilimci oldu. Adı Eugenio Bianchi'dir ve bugün ABD'de fizik profesörüdür (Resim 10.3).

[Sonuç olarak kuantum kütle çekimi kara deliklerin, klasik genel göreliliğin öngördüğü gibi, sonsuza dek kararlı durumda kalan cisimler olmadığını işaret ediyor olabilir. Kara delikler sonuçta kararsız bir yapıdadır.

Kara delik patlamalarını görmek kuramın harika bir kanıtı olurdu. Evrenin erken dönemlerinde oluşmuş olanlar gibi çok eski kara delikler bugün patlıyor olabilir. Bazı



Resim 10.3. Stephen Hawking ve Eugenio Bianchi. Tahtada kara delikleri tanımlayan temel kuantum kütle çekimi formülleri yazılıdır (Eugenio Bianchi'nin izniyle).

yakın tarihli hesaplamalar patlama sinyallerinin radyo teleskoplarımızın çekim alanı içinde yer alabileceğini gösterir. Hatta astronomların zaten *ölçmüş olduğu* Hızlı Radyo Patlamaları denen bazı gizemli radyo sinyallerinin tam da erken dönem kara deliklerin patlamaları olduğu öne sürülmüştür. Bu kanıtlanırsa harika bir şey olur: Böylece kuantum kütle çekimi olayının doğrudan bir işaretine sahip olurduk. Bekleyip görelim...][1]

1. Bu iki paragraf İngilizce çeviriye eklenmiştir. *Reality Is Not What It Seems*, s. 200-201. (Ç.N.)

11
SONSUZLUĞUN SONU

Genel göreliliğin Büyük Patlama konusunda öngörülen evrenin sonsuz küçük bir noktaya sonsuz ölçekte sıkıştırılması durumu, kuantum kütle çekimi göz önünde tutulduğunda ortadan kalkar. Bunun nedenini anlamak sonuçta kolaydır: Kuantum kütle çekimi aslında sonsuz küçük noktaların olmadığının bulunmasıdır. Uzayın bölünebilirliğinin bir alt sınırı vardır. Evren Planck ölçeğinden daha küçük olamaz, çünkü bu ölçekten daha küçük hiçbir şey olamaz.

Kuantum mekaniğini göz ardı edersek bu alt sınırı da göz ardı etmiş oluruz. Genel göreliliğin sonsuz nicelikler öngördüğü sorunlu durumlarına "tekillik" denir. Kuantum kütle çekimi genel göreliliğin tekilliklerine bir "çare" olur.

Bir önceki bölümde gördüğümüz gibi aynı şey bir kara deliğin merkezinde de olur: Genel göreliliğin öngördüğü "tekillik", kuantum kütle çekimi göz önünde tutulduğunda ortadan kalkar.

Kuantum kütle çekiminin sonsuzluğa bir sınır koyduğu farklı özellikte bir başka durum daha vardır; bu da elektromanyetizma gibi kuvvetlerle ilgilidir. Oluşturulmaya Dirac tarafından başlanan ve 1950'lerde Feynman ve arkadaşlarının tamamladığı kuantum alan kuramı, bu

kuvveti iyi tanımlar ama matematiksel mantıksızlıklarla doludur. Fiziksel süreçleri hesaplamak için kullanıldığında genellikle sonsuz sonuçlar elde edilir, bu da hiçbir şey ifade etmez. Bunlara "ıraksama" denir. Bu sonsuzluklar sonra hesap sonuçlarından teknik bir yöntemle çıkarılır ve sonlu sonuçlar elde edilir. Uygulamada işe yarayan bir tekniktir. Sonuçlar da sonunda doğru çıkar, yani deneylerdeki ölçümlere uyar. Ama kuram akla yatkın sayılar oluşturabilmek için neden böylesine saçma biçimde sonsuzluktan geçmek zorunda kalsın ki?

Dirac yaşamının son yıllarında kuramda yer alan bu sonsuzluklardan ötürü kendini tatmin olmamış hissediyordu ve sonuçta nesnelerin gerçekten nasıl işlediğini anlama amacına ulaşamadığı duygusu içindeydi. Dirac, onun için açık olan şeylerin başkaları için açık olmamasına karşın kavramsal açıklığa gönül vermişti. Ama sonsuzluklar bu açıklığın bir parçası değildir.

Yine de kuantum alan kuramının sonsuzlukları bu kuramın temelindeki bir varsayımın sonucudur: Uzayın sonsuza dek bölünebileceği varsayımı. Örneğin bir sürecin olasılıklarını hesaplamak için –Feynman'ın öğrettiği gibi– bu sürecin gerçekleşebileceği tüm yolların toplamı alınabilir ama bu yollar sonsuz sayıdadır, çünkü sürekli uzayın sonsuz sayıdaki noktasının herhangi birinde gerçekleşebilir. Bunun sonucu olarak da hesaplamanın sonucu genellikle sonsuz olur.

Kuantum kütle çekimi hesaba katıldığında bu sonsuzluklar da ortadan kalkar. Nedeni açıktır: Uzay sonsuza dek bölünemez, sonsuz sayıda nokta yoktur, toplaması yapılacak sonsuz sayıda şey yoktur. Uzayın tanecikli ve yalınık yapısı kuantum alan kuramının başına bela olan sonsuzlukları ortadan kaldırarak kuramın zorluklarını çözer. Tüm bunlar harika bir sonuca ulaşmamızı sağlar: Bir yandan kuantum mekaniği göz önünde tutularak Einstein'ın kütle çekimi kuramının yarattığı sonsuzluk-

ların, yani tekilliklerin yarattığı problemler çözülürken, diğer yandan kütle çekiminin hesaba katılmasıyla kuantum alan kuramının yarattığı problemler, yani ıraksama sorunları çözülmüş olur. İlk bakışta çelişirmiş gibi görünen bu iki kuram, birbirinin sorunlarının çözümü olur! Bu da kuramın güvenilirliğini önemli ölçüde arttırır.

Sonsuzluğu bir sınır koyma, modern fizikte tekrar tekrar karşımıza çıkan bir konudur. Özel görelilik, tüm fiziksel sistemler için hızın bir üst sınırının bulunmasıyla özetlenebilir. Kuantum mekaniği de her fiziksel sistemdeki bilgi miktarının bir üst sınırı olduğunun bulunması biçiminde ifade edilebilir. En küçük uzunluk Planck uzunluğu L_p'dir, en büyük hız, ışık hızı c'dir, bir birim bilgi de Planck sabiti $\hbar$ tarafından belirlenir. Tümü Tablo 11.1'de özetlenmiştir.

Fiziksel nicelik	Temel sabit	Kuram	Buluş
Hız	c	Özel görelilik	Hızın bir üst sınırı vardır
Bilgi (eylem)	$\hbar$	Kuantum mekaniği	Bilginin bir alt sınırı vardır
Uzunluk	L_p	Kuantum kütle çekimi	Uzunluğun bir alt sınırı vardır

Tablo 11.1. Kuramsal fizik kuramlarının bulduğu temel sınırlar.

Uzunluk, hız ve eylem için en üst ve en alt değerlerin olması doğal bir ölçüm birimi sistemi belirler. Hızı saatte kilometre ya da saniyede metre cinsinden ölçmek yerine ışık hızının kesirleri olarak ölçebiliriz. Yani c'ye tanım olarak 1 değeri vererek örneğin bir nesnenin hızını $v = \frac{1}{2}$ biçiminde göstererek ışık hızının yarısında gittiğini söyleyebiliriz. Aynı biçimde tanım olarak $L_p = 1$ diyerek uzunlukları Planck uzunluğunun katları olarak ölçebiliriz. Son

olarak da $\hbar = 1$ değeriyle de eylemleri Planck sabitinin katları olarak ifade edebiliriz. Böyle yaparsak diğer birimlerin üretilebileceği temel birimlerin doğal sistemini elde etmiş oluruz. Örneğin zaman birimini ışığın Planck uzunluğunu kat etme süresi olarak ölçebiliriz vs. Bu "doğal birimler" kuantum kütle çekimi araştırmalarında yaygın olarak kullanılır.

Ama bu gibi buluşların ortaya koyduğu çok daha derin bir sonuç vardır. Bu üç temel sabitin belirlenmesi, doğanın olası sonsuzlukları gibi görünen şeylere bir sınır koyar. Bize, sonsuz görünen bir şeyin çoğu kez henüz anlamadığımız ya da karşılaşmadığımız bir şeyden başka bir şey olmadığını gösterir. Bunun genelde doğru olduğunu sanıyorum. Temelde "sonsuz" henüz bilmediğimiz bir şeye verdiğimiz addır. Doğa, onu incelediğimizde bize sonuçta gerçekten sonsuz hiçbir şeyin olmadığını anlatır gibidir.

Öteden beri aklımızı karıştıran bir başka sonsuzluk daha vardır: Evrenin sonsuz enginliği. Bununla birlikte 3. Bölüm'de anlattığım gibi, Einstein sınırları olmayan ama sonlu bir evren düşünmek için bir yöntem bulmuştu. Güncel ölçümler, evrenin boyutlarını yaklaşık 100 milyar ışık yılı ölçeğinde verir. Bu uzunluk evrende dolaylı olarak erişebildiğimiz en büyük uzunluktur. Planck uzunluğundan yaklaşık 10^{120} kat, yani 1 yanında 120 tane sıfır olan bir sayı kadar büyüktür. Planck ölçeği ile kozmolojik ölçek arasında, demek ki, 120 büyüklük mertebesi kadar devasa bir uzaklık vardır. Çok büyük, akıl almaz derecede büyük... Ama sınırlı bir büyüklük...

Bu uzayda, minik uzay kuantumlarından kuarklara, protonlara, atomlara, kimyasal yapılara, dağlara, yıldızlara, her biri güneşimiz gibi 100 milyar yıldıza sahip gökadalara, gökada kümelerine ve 100 milyar gökadalardan oluşan uçsuz bucaksız görünen evrene dek, evrenimizin ancak birkaç yönünü bildiğimiz kaynaşan karmaşıklığı uzanır. Devasa... ama sonlu...

Kozmolojik ölçek, kuramın denklemlerine giren kozmolojik sabit Λ değeriyle yansıtılır. Demek ki temel kuram büyük bir sayı içerir: Kozmolojik sabit ile Planck uzunluğunun birbirine oranı. Bu sayı uzayı bir biçimde dünyanın tüm karmaşıklığına açık duruma getirir. Ama gördüğümüz ve şimdilik anladığımız evren, içinde boğulacağımız bir sonsuzluk değildir. Uçsuz bucaksız bir denizdir ama sonludur.

İncil'in en eski kitaplarından biri olan Sirak Kitabı (*Ecclesiasticus*) güçlü sözlerle başlar:

> Denizin kumunu, yağmur damlalarını, Ölümsüzlük [ebediyet] günlerini kim saptayabilir?
> Gökyüzünün yüksekliğini, yeryüzünün genişliğini, Denizin dibini kim inceleyebilir?
> [...]Bilgelik yalnız O'nundur.[1]

... Denizin kumunu kimse sayamaz.

Ama bu metnin yazılmasından kısa bir süre sonra, hâlâ yankılanan girişiyle bir başka büyük kitap yazılıyordu:

> Bazıları sanıyor ki, ey kral Hiero, kum tanecikleri sayılamaz.

Bu Arkhimedes'in, Antikçağ'ın bu en büyük bilim-insanının kum taneciklerini saydığı [!] *Psammites* [Kum Sayıcı] başlıklı kitabının girişidir.

Bunu kum taneciklerinin sayılarının sonlu olduğunu ve belirlenebileceğini göstermek için yapmıştır. O dö-

1. Sirak Kitabı (ya da Latince adıyla *Ecclesiasticus*) Yeşu Ben Sirak tarafından yazılmış bir bilgelik kitabı olarak Hıristiyanlığın ve Yahudiliğin bir bölümü tarafından İncil'in (sonradan eklenmiş) bir parçası olarak kabul edilir.
Çevirinin kaynağı: http://www.kutsal-kitap.net/bible/tr/index.php?mc=3&sc=1322. (Ç.N.)

nemdeki sayı sistemi büyük sayıları göstermeye izin vermiyordu. Arkhimedes *Psammites*'te, bizim üstlü sayılarımıza benzer yeni bir sayı sistemi geliştirir ve gücünü bıyık altından gülerek, yalnızca deniz kenarındakileri değil, bütün evrendeki kum taneciklerini sayarak kanıtlar.

Psammites'teki oyunun şakacı ama derin olduğuna inanıyorum. Zamanının çok ötesinde, Aydınlanma'nın kanatlarıyla uçan Arkhimedes, doğası gereği insan düşüncesine erişilmez olan gizler var olmasını isteyen bilgi yöntemine karşı isyan eder. Arkhimedes evrenin boyutlarını veya kum taneciklerinin sayısını kesin olarak bildiğini öne sürmez. Savunduğu şey bilgisinin tam olması değildir. Tam tersine yaptığı tahminlerin yaklaşık ve geçici olduğu konusunda açıktır. Örneğin, evrenin boyutlarına ilişkin farklı seçenekler için belirli bir görüşe sahip olmadığından söz eder. Söz konusu olan bilgisinin eksiksizliği değildir. Tersine dünün bilgisizliğinin bugün, bugünün bilgisizliğinin yarın aydınlatılabileceğini bilmektir.

En önemli nokta, bilmek istemeyi reddetmeye karşı isyandır. Dünyanın anlaşılabileceğine olan inancın bir ilanı, kendi bilgisizliğinden memnun olan, anlamadığımız şeylere sonsuz diyen ve bilgiyi başkalarının yetkisine devredenlere karşı gururlu bir karşılıktır.

Aradan yüzyıllar geçti, Sirak Kitabı, İncil'in geri kalanıyla birlikte gezegenimizin sayısız evinde bulunurken, Arkhimedes'in metnini bir avuç insandan başkası okumamıştır. Arkhimedes kısa süre sonra, kendi devlet dininin kurucu metinleri arasına Sirak Kitabı'nı da ekleyen geleceğin imparatorluğunun sınırlarını genişlettiği dönemde, Roma boyunduruğu altına giren son gururlu *Magna Graecia*[1] köşesi Siracusa'nın Romalılar tarafından yağmalanması sırasında, koşulları hiçbir zaman bi-

1. (Lat.) Büyük Yunanistan. Yunanların MÖ 8. yüzyıldan itibaren İtalya'nın güneyi ve Sicilya'da kolonileştirdikleri bölge. (Ç.N.)

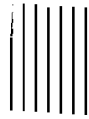
linmeyen bir biçimde katledildi. Bu devlet dini, bin yıldan fazla devam etti. O bin yıl süresince Arkhimedes'in hesapları herkes için anlaşılmaz kalacaktı.

Siracusa'ya yakın bir konumda, İtalya'nın en güzel yerlerinden biri, tepeden Akdeniz'e ve dumanı tüten Etna'ya bakan Taormina Tiyatrosu yer alır. Arkhimedes zamanında burası Sophokles ve Euripides oyunları sahnelemek için kullanılırdı. Romalılar burayı gladyatörleri dövüştürmek ve onların ölümleriyle eğlenmek için kullandı.

Psammites'teki incelikli oyun, herhalde yalnızca yürekli bir matematiksel yapı veya antik dönemin en olağanüstü akıllarından birinin ustalığı değildir. Aynı zamanda kendi bilgisizliğinin farkında olan ama yine de bilginin kaynağını başkalarına devretmeyi reddeden aklın gururlu çığlığıdır. Sonsuzluğa ve bağnazlığa karşı küçük, ölçülü ve son derece zekice yazılmış bir manifestodur.

Kuantum kütle çekimi *Psammites*'in izinden giden pek çok şeyden biridir. Evreni oluşturan uzay taneciklerini sayıp duruyoruz. Uçsuz bucaksız ama sonlu bir evreni...

Gerçekten sonsuz olan tek şey bilgisizliğimizdir.



12
BİLGİ

Yolculuğun sonuna yaklaşıyoruz. Bundan önceki birkaç bölümde kuantum kütle çekiminin somut uygulamalarından söz ettim; Büyük Patlama sırasında evrene neler olduğunu, kara deliklerin ısıyla ilgili özelliklerini ve sonsuzlukların ortadan kalkmasını anlattım.

Kitabı bitirmeden önce kurama geri dönmek isterim ama geleceğe bakarak ve bir sözcükten, coşku ve kafa karışıklığı yaratarak kuramsal fiziğin çevresinde dolaşan bir hortlak olan "bilgi"den söz ederek.

Bu bölüm öncekilerden farklı çünkü bundan önce henüz sınanmamış fikirler ve kuramlardan söz ettiysem de bunlar iyi tanımlanmıştı, buradaysa hâlâ karmakarışık durumda düzenlenmeyi bekleyen düşünceler anlatacağım. Bu nedenle, sevgili okuyucu, buraya kadar olan yolculuğu sarsıntılı bulduysan sıkı dur çünkü büyük hava boşlukları arasında uçacağız. Bu bölüm sana özellikle çapraşık gelirse, kafası karışık olan sen değilsin, sevgili okuyucu, benim.

"Bilgi" kavramının fizikte yeni adımlar atmak için temel çıkış noktası olduğunu düşünen çok sayıda biliminsanı var. "Bilgi"ye, ısı bilimi termodinamik ile kuantum mekaniğinin temellerinden ve başka konular hakkında söz edilirken değinilir, zaman zaman da son derece özensiz olur bu değinmeler. Bu düşüncelerde önemli bir

şeyler olduğuna inanıyorum, burada da neden olduğunu ve bilginin kuantum kütle çekimiyle ne ilgisinin olduğunu anlatmaya çalışacağım.

Her şeyden önce: Bilgi nedir? "Bilgi" sözcüğü gündelik dilde farklı anlamlarda kullanılır, bilimsel çerçevede kullanılırken de karışıklığa yol açan budur. Bilimsel anlamda bilgi kavramı Amerikalı matematikçi ve mühendis Claude Shannon tarafından 1948'de ortaya konmuştur ve çok basittir: Bilgi bir şeyin olası seçeneklerinin sayısının bir ölçümüdür. Örneğin attığım bir zar 6 yüzünden birinin üzerine düşer. Belirli bir yüzün üzerine düştüğünü görürsem $N = 6$ kadar bir bilgiye sahip olurum çünkü olası seçeneklerin sayısı altıdır. Senin doğum gününün hangi gün olduğunu bilmiyorsam, bunun için 365 farklı olasılık vardır. Bana doğum gününün hangi gün olduğunu söylersen $N = 365$ değerinde bilgiye sahip olurum vs.

Bilgiyi göstermek için seçeneklerin sayısı olan N yerine tabanı 2 olan logaritmasını kullanmak daha uygundur, buna da S denir. Böylece Shannon bilgisi $S = \log_2 N$ olarak ifade edilir, burada N seçeneklerin sayısıdır. Böylece ölçüm birimi $S = 1$, $N = 2$'ye karşılık gelir (çünkü $1 = \log_2 2$), yani yalnızca iki olasılığı olan en küçük seçenek ölçüsüdür. Bu ölçü birimi yalnızca iki seçenek arasındaki bilgiyi gösterir ve adı da "bit"tir. Rulet masasında siyah değil kırmızının kazandığını bilirsem bir bit bilgiye sahip olurum; kırmızı-çift sayının kazandığını bilirsem iki bit bilgim olur; kırmızı-çift-on sekizden küçük bir sayı çıktığını bilirsem üç bit bilgi elde ederim. İki bit bilgi dört seçeneğe karşılık gelir (kırmızı-çift, kırmızı-tek, siyah-çift, siyah-tek). Üç bit bilgi sekiz seçeneğe denk gelir vs.[1]

1. İnce bir nokta: Bilgi neyi bildiğimi değil, olası seçeneklerin sayısını ölçer. Rulette kazanan sayının 3 olduğunu bana söyleyen bilgi miktarı $N = 37$'dir çünkü rulette 37 sayı vardır; ama kırmızı renkler arasından 3'ün kazandığını söyleyen bilgi için $N = 18$ olur çünkü 18 kırmızı sayı vardır. Karamazov kardeşlerden hangisinin babasını öldürdüğünü bilirsem ne kadar bilgiye sahip olurum? Yanıt Karamazov'ların kaç kardeş olduğuna bağlıdır.

Önemli bir nokta bilginin herhangi bir yerde bulunabileceğidir. Sevgili okuyucu, elinde siyah ya da beyaz olabilecek bir misket tuttuğunu düşün. Benim de siyah ya da beyaz bir misketim olduğunu hayal et. Benim için de senin için de ikişer olasılık vardır. Toplam olasılık sayısı dörttür (yani 2x2): Beyaz-beyaz, beyaz-siyah, siyah-beyaz ve siyah-siyah. Eğer iki misketin renkleri birbirinden bağımsızsa bu olasılıkların hepsi gerçekleşebilir. Ama şimdi bir başka şey varsayalım: Bir fiziksel nedenden ötürü iki misketin aynı renkte olduğundan emin olduğumuzu varsayalım (örneğin ikimiz de onları *her zaman* aynı renkte misket armağan eden birinden almış olabiliriz ya da içinde tümü aynı renkte olan misketler olan bir torbadan çekmiş olabiliriz). Bu durumda, her ikimiz için de ikişer seçenek olsa da seçeneklerin toplam sayısı artık *yalnızca* ikidir (beyaz-beyaz veya siyah-siyah). Bu durumda özel bir şey olduğuna dikkat et: Kendi misketine bakarsan *benim elimdekinin rengini bilirsin.* Bu durumda iki misketin rengi arasında bir "korelasyon" var, yani biri diğerine bağlı deriz. Bu, aynı zamanda *benim* misketimin rengi hakkındaki bilginin *seninkinde* de olduğu anlamına gelir. Benim misketim de seninki hakkında "bilgiye sahiptir".

Üzerinde düşünürseniz aslında her iletişim kurduğumuzda olan şey budur: Örneğin ben sana telefon edersem, telefonun senin tarafındaki seslerin benim tarafımdaki seslerden bağımsız olmayacağı biçimde işleyen bir şey olduğunu bilirim. İki tarafın sesleri, misketlerin rengi gibi, birbirine bağlıdır. Bu örnek rasgele seçilmedi: Bilgi kuramını icat eden Shannon bir telefon şirketinde çalışıyordu ve bir telefon hattının "taşıma" kapasitesini hassas biçimde ölçmenin yolunu arıyordu. Ama bir telefon hattı ne "taşır"? Bilgi taşır. Seçenekler arasından ayrım yapma olanağı taşır. Shannon bilgiyi bunun için tanımlamıştı.

Dünyayı anlamak için bilgi kavramı neden yararlı, hatta belki birincil öneme sahip bir kavramdır? Bunun çok incelikli bir nedeni vardır: Çünkü fiziksel sistemlerin aralarında iletişim kurma olasılığını ölçer.

Son bir kez Demokritos'un atomlarına geri dönelim. Zıplayan, birbirlerini çeken, birbirlerine yapışan atomlardan oluşan uçsuz bucaksız bir denizin oluşturduğu ve başka hiçbir şeyin olmadığı bir dünya hayal edelim. Bir şey eksik değil mi?

Platon ve Aristoteles bir şeyin eksik olduğu konusunda ısrarlıydı ve nesneleri oluşturan *öz*ün ötesinde nesnelerin *biçim*inin o fazla şey olduğunu düşündü. Platon için bu biçimler mutlak bir dünyada, idealar dünyasında kendiliklerinden vardır. At ideası [düşüncesi] herhangi gerçek bir attan bağımsız olarak ve ondan önce vardır. Hatta Platon için gerçek bir at ideal bir atın soluk bir yansımasından başka bir şey değildir. Atı meydana getirmiş olabilecek atomlar ya pek az önemlidir ya da hiçbir şey ifade etmez: Önemli olan "at'lık", yani soyut biçimdir. Aristoteles biraz daha gerçekçidir ama onun için de biçim öze indirgenmez. Bir heykelde, yapıldığı taştan daha fazla bir şey vardır. Bu *fazlalık* Aristoteles için biçimdir. Demokritos'un güçlü materyalizmine antik dönemde getirilen eleştiri buydu, hâlâ da materyalizme karşı en temel eleştiri olarak kalmaya devam ediyor.

Ama Demokritos'un önerisi gerçekten her şeyi atomlara indirgemek miydi? Buna modern bilimin ışığında tekrar bir göz atalım. Demokritos, atomlar bir araya geldiğinde önemli olanın, nasıl birleştiklerinin yanı sıra, biçimlerinin ve yapıdaki yerlerinin de olduğunu söyler. Alfabedeki harfler örneğini vererek, yirmi civarında olmalarına karşın "komediler, trajediler, gülünç öyküler ya da büyük destansı şiirler yaratacak farklı biçimlerde bir araya gelebilirler."

Bu düşüncede atomlardan çok daha fazla bir şey vardır: Atomların birbirlerine göre yerleşme *tarzıyla* ortaya konan bir şey vardır. Ama yalnızca başka atomların bulunduğu bir dünyada atomların birbirlerine göre konumlanmasının ne gibi önemi olabilir?

Atomlar da bir alfabeyse, o zaman bu alfabeyle yazılan tümceleri kim okuyabilir?

Yanıt inceliklidir: Atomların yerleşme tarzı *diğer* atomların yerleşme tarzıyla korelasyon gösterebilir. Dolayısıyla bir grup atom bir başka grup atom hakkında, yukarıda anlatılan teknik ve kesin anlamıyla, *bilgi* sahibi olabilir.

Bu, fiziksel dünyada her an, her yerde sürekli olarak olmaktadır: Gözlerimize ulaşan ışık, kendi kaynağı olan cisimler hakkında bilgi taşır; denizin rengi, üzerindeki havayla ilgili bilgi taşır; bir hücrenin, kendisine saldıran virüs hakkında bilgisi vardır; yeni doğmuş bir çocuk bilgi sahibidir çünkü ebeveynleri ve türüyle kendi arasında korelasyon vardır ve sevgili okuyucu, sen bu satırları okurken benim yazarken düşündüklerim, yani bu metni yazarken beynimde olanlar hakkında bilgi alıyorsun. Senin beynindeki atomlar artık benim beyimdeki atomlardan hiç de bağımsız değildir.

Dolayısıyla dünya yalnızca çarpışan atomların oluşturduğu bir ağ değildir: Aynı zamanda atom grupları arasında bir ağdır, fiziksel sistemler arasında karşılıklı bilgi ağıdır.

Tüm bunların taşıdığı boyuta ne idealist ne de ruhsal demek mümkün: Shannon'ın, seçeneklerin sayılabileceğini söyleyen düşüncesinin bir uygulamasından başka bir şey değildir. Ama Dolomit Dağları'nın kayaları, arıların vızıltısı ve deniz dalgaları gibi dünyanın bir parçasıdır.

Bu bilgi ağının var olduğu anlaşılır anlaşılmaz, dünyayı kavramak için ondan yararlanmaya çalışmak doğaldır.

Dünya'nın 19. yüzyılın sonunda iyice anlaşılmış olan bir yönünü ele alalım: Isı. Isı nedir? Bir şeyin sıcak olması ne demektir? Sıcak bir fincan çay neden ısınmaz da soğur?

Bunu ilk anlayan, istatistiksel mekaniğin kurucusu Avusturyalı fen bilimci Ludwig Boltzmann oldu.[1] Isı, moleküllerin rastlantısal mikroskopik hareketidir: Çay sıcak olduğunda moleküller daha hızlı hareket eder. Öyleyse çay neden soğur? Boltzmann harika bir hipotez öne sürer: Çünkü moleküllerin sıcak çay ile soğuk havaya karşılık gelen olası durumlarının sayısı soğuk çay ve biraz ısınmış havaya karşılık gelenlerden daha fazladır. Shannon'ın bilgi kavramı açısından bu fikir hemen şu sava dönüştürülebilir: Çünkü soğuk çay ve ısınmış havada bulunan bilgi, sıcak çay ve soğuk havada bulunandan daha azdır. Çay da hiçbir zaman kendiliğinden ısınmaz çünkü bilgi hiçbir zaman tek başına artmaz.

Açıklayayım. Çaydaki moleküller çok sayıda ve çok küçük olduğu için biz de onların hareketlerini kesin olarak bilemeyiz. Bu nedenle bilgi eksiğimiz vardır. Bu bilgi hesaplanabilir (Boltzmann bu hesabı yapmıştı: Sıcak çaydaki moleküllerin kaç farklı durumda olabileceğini hesaplamıştı.) Çay soğuyunca enerjisinin bir bölümü havaya geçer; böylece çaydaki moleküller daha yavaş hareket eder ama hava molekülleri daha hızlı hareket etmeye başlar. Eksik bilgiyi hesaplarsam sonunda artmış olduğunu bulurum. Tersi olsaydı, yani çay daha soğuk havadan ısı alarak ısınsaydı, o zaman bilgi artmış olurdu (anımsayalım: Bilgi yalnızca olası seçeneklerin sayısıdır, bu örnekteyse verili çay ve hava moleküllerinin hareket etme yollarının sayısı olur). Ama bilgi gökten düşmez. Tek başına artamaz çünkü bir şeyi bilmiyorsak bilmeyiz, bu nedenle

1. Boltzmann bilgi kavramını kullanmamıştı ama çalışması bu biçimde okunabilir.

soğuk havayla temas durumundaki sıcak çay tek başına ısınamaz.

Boltzmann çok ciddiye alınmadı. 56 yaşındayken Trieste yakınlarındaki Duino'da intihar etti. Bugün fiziğin dâhilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Mezar taşına, (eksik) bilgiyi Shannon'ın anahtar düşüncesi olan seçeneklerin sayısı biçiminde ifade eden kendi formülü yazılmıştır:

$$S = k\log W$$

Boltzmann buna benzer niceliklerin termodinamikte kullanılan entropi kavramıyla birebir örtüştüğünü anlamıştı. Entropi "eksik bilgi", yani önünde eksi işareti olan bilgidir. Bilgi yalnızca azalabildiği için toplam entropi de yalnızca artabilir.[1]

Bilginin termodinamiğin temelini aydınlatmak için kavramsal bir araç olarak kullanılabileceği fikri, bugün fizikçiler tarafından kabul edilmiş bir görüştür. Daha cüretli ama bugün gittikçe artan sayıda kuramcı tarafından savunulan bir görüş, bilgi kavramının bizi kuantum mekaniğinin, 5. Bölüm'de söz ettiğim ve gizemlerini hâlâ koruyan yönlerini anlamaya götürebileceği düşüncesidir.

Unutmayın ki kuantum mekaniğinin anahtar öneme sahip düşüncelerinden biri tam da bilginin sınırlı olması fikridir. Klasik mekaniğe göre, fiziksel bir sistemi[2] ölçtüğümüzde elde edebileceğimiz farklı sonuçların sayısı sonsuzdur ama aslında, kuantum mekaniği sayesinde anladığımız gibi, sonludur. Dolayısıyla kuantum mekaniği, öncelikle bilginin doğada her zaman sonlu olduğunun bulunması olarak anlaşılabilir.

1. Entropi faz uzayının hacminin logaritmasıyla doğru orantılıdır. Oran sabiti *k*, bilgi birimi *bit*'i entropi ölçüm birimi *joule/kelvin*'e çeviren Boltzmann sabitidir.

2. Kendi faz uzayının sınırlı bir bölgesinde.

Kuantum mekaniğinin tüm yapısı bilgi açısından şöyle okunup anlaşılabilir. Fiziksel bir sistem her zaman yalnızca bir başka sistemle etkileştiği zaman ortaya çıkar. Bu nedenle fiziksel bir sistem her zaman bir başka fiziksel sisteme, etkileşime girdiği sisteme göre tanımlanır. Fiziksel bir sistemin durumunun herhangi bir tanımı, bu nedenle, her zaman bir fiziksel sistemin bir başka fiziksel sistem hakkında sahip olduğu *bilgi*nin, yani sistemler arasındaki *korelasyon*un bir tanımıdır. Kuantum mekaniğinin gizemleri, kuramı böyle yorumladığımızda, yani kuramı fiziksel sistemlerin birbirleri hakkında sahip oldukları bilginin tanımlanması olarak gördüğümüzde, biraz daha anlaşılabilir hale gelir.

Bir sistemin tanımı, sonuçta o sistemle olan tüm geçmiş etkileşimleri toplamak ve gelecek etkileşimlerin etkisinin ne olabileceğini öngörebilecek biçimde düzenlemeyi denemekten başka bir şey değildir.

Kuantum mekaniğinin tüm biçimsel yapısı, bu düşünce temel alınarak iki basit aksiyomla önemli ölçüde özetlenebilir:[1]

1. Her bir fiziksel sistemin sahip olduğu anlamlı bilgi sınırlıdır.
2. Bir fiziksel sistem hakkında her zaman yeni bilgi elde edilebilir.

Burada "anlamlı bilgi", verili bir *sistem* hakkında, onunla geçmişteki etkileşimlerimizin sonucu olarak sahip olduğumuz ve aynı sistemle gelecekteki etkileşimlerin, bizim üzerimizde nasıl bir etki yapacağını öngörmemizi sağlayan bilgidir. İlk önerme kuantum mekaniğinin

1. Bu iki önermenin ayrıntılı bir tartışması, *Relational Quantum Mechanics*'te bulunabilir.

taneciklilik özelliğini, yani sınırlı sayıda olasılığın olduğunu ortaya koyar. İkincisi kuantum mekaniğindeki belirsizlik özelliğini, yani her zaman yeni bilgi edinmemizi sağlayan öngörülemez bir şey olduğunu işaret eder. Bir sistem hakkında yeni bilgi edindiğimizde, (ilk önermeye göre) anlamlı bilgi sonsuza kadar artamayacağı için, önceki bilginin bir bölümü *anlamsız* duruma gelmek, yani gelecekteki öngörüler üzerinde artık hiçbir etkiye sahip olmamak zorundadır. Bu nedenle, kuantum mekaniğinde, bir sistemle etkileşime girdiğimizde genel olarak yalnızca bir şeyler edinmeyiz, aynı zamanda o sistem hakkındaki bilginin bir bölümünü de "yok ederiz."[1]

Kuantum mekaniğinin tüm yapısı bu iki basit önerme sonucunda büyük ölçüde ortaya çıkar. Bu, kuramın bilgi açısından ifade edilebilmeye şaşırtıcı biçimde uygun olduğu anlamına gelir.

Kuantum gerçekliğini anlamak için bilgi kavramının temel öneme sahip olduğunu ilk kavrayan, kuantum kütle çekiminin babası John Wheeler oldu. Bu fikri ifade etmek için Wheeler "*It from bit*" sloganını uydurdu. Çevirmesi çok kolay değil; sözcüğü sözcüğüne çevrilirse "O bitten" olarak çevrilir, burada bit bilginin en küçük birimi, bir evet ile bir hayır arasındaki en küçük seçenektir. "*It*", yani "o" burada "herhangi bir şey" anlamına gelir. Dolayısıyla anlamı "Her şey bilgidir" gibi bir şey olur.

Bilgi böylece kuantum kütle çekimi kapsamında yeniden ortaya çıkar. Herhangi bir yüzeyin yüzölçümünün bu yüzeyi kesen ilmek spinleri tarafından belirlendiğini anımsıyor musunuz? Bu spinler yalınık niceliklerdir ve her biri yüzölçümünün oluşmasına katkıda bulunur. Sabit bir yüzölçümüne sahip bir yüzey bu temel kuantum-

1. Bu, yanlış biçimde, dalga fonksiyonunun "çökmesi" olarak adlandırılan şeydir.

lar tarafından pek çok farklı biçimde, diyelim ki N sayıda farklı yolla oluşturulabilir. Dolayısıyla yüzölçümünü biliyor ama yüzölçümü kuantumlarının nasıl dağıldığını bilmiyorsam, yüzey hakkında eksik bilgiye sahip olurum. Bu, tam da kara deliklerin ısısını ölçme yollarından biridir: Belirli bir yüzölçümüne sahip bir yüzey içinde kapalı olan bir kara deliğin yüzölçümü kuantumları, N farklı sayıda olası dağılım gösterebilir, bu nedenle de moleküllerin N farklı olası yolla hareket edebildiği sıcak bir fincan çaya benzer. Bu, "eksik bilgi" yani entropi miktarı ile bir kara deliği ilişkilendirebileceğimiz anlamına gelir.

Bir kara delikle böyle ilişkilendirilen bilgi miktarı doğrudan karadeliğin yüzölçümü A'ya bağlıdır: Kara delik ne kadar büyükse eksik bilgi de o kadar büyük olur.

Bilgi kara deliğe girdiğinde artık dışarıdaki biri için elde edilemez olur. Ama kara deliğe giren bilgi, kara deliği büyüten ve yüzölçümünü genişleten bir enerji taşır. Dışarıdan bakıldığında kara delikte kaybolan bilgi kara deliğin yüzölçümüyle ilişkili entropi gibi görünür. Buna benzer bir şeyden ilk şüphelenen, İsrailli fizikçi Jakob Bekenstein oldu.

Ama durum net olmaktan çok uzaktır çünkü bir önceki bölümde gördüğümüz gibi, kara delikler ısıl ışınım yayarak yavaşça buharlaşır, gitgide küçülür, büyük olasılıkla Planck ölçeğindeki uzayı oluşturan mikroskopik kara delik denizine karışarak yok olur. O zaman kara delik küçülürken, kara deliğe düşen bilgi nereye gider? Kuramsal fizikçiler bu soruyu halen tartışıyor, kimse de tam olarak net bir yanıta sahip değil.

Bir kara deliğin ısıl özellikleri olması gerektiğini ilk sezinleyen fizikçi Bekenstein, A yüzölçümü tarafından çevrelenen herhangi bir bölge içinde, aynı yüzölçümüne sahip bir kara delikten daha çok eksik bilgiye sahip bir sistemin hiçbir zaman saptanamayacağına yönelik genel

bir ilkenin var olduğu hipotezini öne sürdü. Bugün bazı fizikçiler bunun evrensel bir yasa olabileceğini varsayıyor, buna da "holografi ilkesi" diyor. "Holografi" adı üç boyutlu imgeler taşıyan düz yüzeyler olan hologramlardan geliyor. Holografi ilkesi de benzer bir şey söyler: Bir bölgeden elde edebileceğimiz bilginin hepsi, sınırının yüzey alanıyla sınırlıdır ve bu nedenle tümü bölgenin sınırında bulunuyorrmuş gibi düşünülebilir.

Aslında üzerinde çok konuşulsa da hiç kimse bu "holografi ilkesi"ni henüz net olarak anlamış değildir. Kuantum kütle çekiminde *süreçler* tanımladığımızı, bir sürecin de bir uzay-zaman olduğunu aklınızda tutun. Dolayısıyla içeride neler olduğunu hiçbir zaman kesin olarak tanımlayamadan, her zaman *sınırda* bulunanları hesaplıyor oluruz. Gerçeklik sanki bölgeler ya da sistemler arasındaki sınırlar kapsamında tanımlanmak istermiş ve "içeride" neler olduğunun tam olarak tanımlanmasını engellermiş gibidir.

Fizik, sistemler arasındaki ilişkilerden ve sistemlerin birbirleri hakkında sahip olduğu bilgiden söz eder. Bu durumda sınırların ötesindeki sistemlerle her zaman korelasyonlar olacaktır, bu nedenle her zaman "istatistiksel" bir durum da var olacaktır. Tüm bunlar –öyle inanıyorum ki– dünyayı anlama araçlarımızın temeline genel görelilik ve kuantum mekaniğinin yanı sıra ısı kuramının, yani istatistiksel mekanik ile termodinamiğin, yani bilgi kuramının da eklenmesi gerektiğini gösterir. Ama genel görelilik termodinamiği, yani uzay kuantumlarının istatistiksel mekaniği yalnızca emekleme dönemindedir. Hâlâ karmakarışık bir durumdadır ve anlaşılmayı bekleyen pek çok şey vardır.

Tüm bunlar bizi, bu kitapta yer vereceğim son fiziksel düşünceye, benim bildiklerimin sınırına ulaştırır: ısıl zaman kavramına.

Isıl zaman

Isıl zaman düşüncesini doğuran problem basittir. 7. Bölüm'de fiziği tanımlamak için zaman kavramını kullanmak gerekmediğini göstermiştim, hatta en temel düzeyde bu kavramı tamamen unutmak daha iyi olur. Zaman, fiziğin temel düzeyinde hiçbir rol üstlenmez. Bu anlaşılır anlaşılmaz kuantum kütle çekimi denklemlerini yazmak daha kolay olur.

Evrenin temel denklemlerinde, örneğin "yukarı" ve "aşağı" veya "sıcak" ve "soğuk" gibi, artık hiçbir rol üstlenmeyen çok sayıda gündelik kavram vardır; bu nedenle sıradan kavramların temel kuramdaki yerlerini yitirmelerinde garip bir şey yoktur. Öte yandan bu fikir kabul edildiği anda şüphesiz ikinci bir problem ortaya çıkar. Gündelik deneyimimizdeki "zaman" kavramını yeniden nasıl elde edebiliriz?

Örneğin "yukarı" ve "aşağı" fiziğin temel denklemlerine girmez ama biz, mutlak bir yukarı ve mutlak bir aşağı olmayan bir düzende de ne anlama geldiklerini biliriz. Kütle çekiminin bizi çektiği, yakındaki büyük bir kütleye doğru olan yöne "aşağı", bunun tersine "yukarı" deriz. Aynı şey "sıcak" ve "soğuk" için de geçerlidir. Mikroskopik ölçekte "sıcak" ya da soğuk şeyler yoktur ama çok büyük sayıda mikroskopik unsuru bir araya getirdiğimiz ve onları ortalama değerler olarak tanımladığımız an, "sıcak" kavramı ortaya çıkar: Bireysel öğelerinin ortalama hız değerleri yüksek olan cisimler sıcaktır. Dolayısıyla "yukarı" ve "sıcak" kavramlarının anlamlarını bazı uygun durumlarda anlayabilir oluruz: Yakınlarda büyük bir cisim var olduğunda ya da çok sayıda molekülün yalnızca ortalama değerleriyle çalışmamız gerektiğinde işe yararlar.

"Zaman" için de benzer bir şey geçerli olsa gerek. Temel düzeyde zaman kavramının hiçbir rolü olmasa da

yaşamımızda (yukarı ve sıcak gibi) önemli bir rolü olduğu kesindir. Zaman dünyanın temel tanımı içinde yer almıyorsa "zamanın geçmesi" ne anlama gelir? *Isıl zaman* düşüncesinin çözüm getirdiği problem budur.

Yanıt basittir: Zamanın kaynağı sıcaklığınkine benzer. Çok sayıdaki mikroskopik değişkenin ortalamasının alınmasından gelir. Anlamaya çalışalım.

Zaman ile sıcaklık arasında derinlerde bir bağ olduğu düşüncesi, hiç kimsenin bu bağın tam olarak ne olduğunu hiçbir zaman anlamış olmamasına karşın, çok eski ve sık sık karşımıza çıkan bir düşüncedir. Üzerinde düşünürseniz, zamanın geçişiyle ilişkilendirdiğimiz tüm olayların içinde sıcaklığın da olduğunu görürsünüz.

Bunu daha kesin olarak ifade etmeye çalışalım. Zamanın en belirgin özelliği hep ilerlemesi, hiç geriye gitmemesi, yani tersinmez olmasıdır. Zaman dediğimiz şeyi belirleyen özellik tersinmezliktir. "Mekanik" olaylar, yani işin içine ısının girmediği olaylar hep tersinir olaylardır. Yani bu olayları filme çekip sonra tersten oynatırsanız son derece gerçekçi görünür. Örneğin bir sarkacın ya da yukarı fırlatıldıktan sonra düşen bir taşın filmini çekip tersten oynatırsanız yine mantığa uygun hareket eden bir sarkaçla önce yukarı çıkan, sonra aşağı inen bir taş görürsünüz. Aa! Ama bu doğru değil diyeceksiniz! Doğru, aslında taş yere ulaştığında durur, peki enerjisi nereye gider? Üstüne düştüğü yeri *ısıtmaya* gider! Bir miktar *ısı*ya dönüşür. Tam ısı oluştuğu anda tersinemez bir olay gerçekleşmiş olur: Bu olay doğru oynatılmış filmi, tersten oynatılan filmden, geçmişi de gelecekten açıkça ayıran olaydır. Sonuçta geçmiş ile geleceği ayıran şey hep ısıdır.

Bu, evrensel bir şeydir: Bir mum yanar ve dumana dönüşür, duman muma dönüşmez, bir mum da ısı üretir. Sıcak bir çay fincanı soğur ve ısınmaz: Isı yayar. Biz yaşar ve yaşlanırız: Isı üretiriz. Bisikletimiz zamanla eskir ve

yıpranır: Sürtünmeyle ısı meydana getirir. Güneş sistemini düşünün: İlk bakışta hiçbir zaman değişmeyen kocaman bir mekanizma gibi sürekli dönermiş gibi görünür. Isı üretmez ve aslında ters yönde döndüğünü görürsek hiçbir gariplik fark etmeyiz. Ama daha yakından bakıldığında durum böyle değildir. Güneş hidrojenini tüketmektedir, bir gün bu yakıt bitecek ve güneş de sönecektir: Güneş de yaşlanır, gerçekte de ısı üretir. Ama bu kadar da değil: Ay da hiç değişmeden hep dünya çevresinde dönermiş gibi görünür ama aslında yavaşça dünyadan uzaklaşmaktadır çünkü gelgit denizleri biraz ısıtır ve aydan enerji çalar. Zamanın geçişini belgeleyen her olay olduğunda ısı üretilir. Isı da çok sayıda değişkenin ortalamasını almaktır.

Isıl zaman düşüncesi bu gözlemi tersine çevirir. Yani zamanın neden ısı kaybına yol açtığını anlamaya çalışmak yerine ısı kaybının neden zamanı oluşturduğunu sorgular.

Boltzmann'ın dehası sayesinde ısı kavramının yalnızca çok sayıdaki değişkenin ortalama değerleriyle etkileşimde bulunmamızdan kaynaklandığını biliyoruz. Isıl zaman düşüncesi, zaman kavramının da ortalama değerlerle etkileşimde bulunduğumuzda ortaya çıkması anlamına gelir.[1]

Kendimizi sistemin eksiksiz bir tanımıyla sınırladığımız sürece, sistemin tüm değişkenleri eşittir ve hiçbiri zamanı temsil etmez. Ama sistemi çok sayıdaki değişkenin ortalaması yardımıyla tanımladığımız anda, her şey hemen bu ortalama değerlerin zaman varmış gibi davranacağı biçimde değişir. Bu zaman, içinde ısının dağıldığı zamandır. Gündelik deneyimimizdeki zamandır.

1. Bir Boltzmann istatistiksel durumu, faz uzayında *hamiltonyen*in üssü olan bir fonksiyonla tanımlanır. Hamiltonyen zamanın akmasına neden olan dönüşümlerin yaratıcısıdır. Zamanın tanımlanmadığı bir sistemde hamiltonyen olmaz. Ama elimizde istatistiksel bir durum varsa onun logaritmasını almak yeter, bu da bir hamiltonyeni, dolayısıyla bir zaman kavramını tanımlar.

Bu yüzden zaman dünyanın temel unsurlarından biri değildir ama yine de her yerde karşımıza çıkar çünkü dünya çok büyüktür ve biz de bu evrende yalnızca her zaman sayılamayacak kadar çok mikroskopik değişkenin ortalamasını alan makroskopik değişkenlerle etkileşen küçük sistemleriz. Biz, gündelik yaşamımızda hiçbir zaman tek tek temel parçacıklara ya da uzay kuantumlarına bakmayız. Taşlara, güneş batışına, arkadaşlarımızın yüzlerindeki gülümsemelere bakarız ve gördüğümüz şeylerin her biri, akıl almaz sayıdaki temel öğenin bir araya gelmiş halidir. Biz her zaman ortalamalarla korelasyon içindeyiz. Ortalamalar da her zaman ortalama gibi davranır: Isı kaybeder ve doğaları gereği zamanı oluştururlar.

Bu fikri kavramakta zorlanmamızın nedeni zamanın olmadığı bir dünyayı ve zamanın yaklaşık biçimde oluşmasını düşünmenin çok zor olmasıdır. Biz gerçekliği yalnızca zaman içinde var olan bir şey olarak düşünmeye çok alışkınız. Zaman içinde yaşayan varlıklarız, zaman içinde oturur, zamandan besleniriz. Mikroskobik değişkenlerin ortalama değerlerinin oluşturduğu bu zamansallığın bir ürünüyüz. Ama sezgilerimizin çıkardığı güçlükler bizi yolumuzdan saptırmamalıdır. Dünyayı daha iyi anlamak genellikle sezgilerimize karşı gelmek demektir. Böyle olmasaydı onu anlamak daha kolay olurdu.

Zaman, nesnelerin mikro ölçekteki durumlarını göz ardı etmemizin bir etkisinden başka bir şey değildir. Zaman sahip olmadığımız bilgidir. Zaman bizim bilgisizliğimizdir.

Gerçeklik ve bilgi

Bilgi kavramı neden bu kadar kilit bir rol oynar? Belki de bir sistem hakkında bildiklerimiz ile sistemin mutlak durumunu karıştırmamak gerektiği içindir. Daha ke-

sin bir ifadeyle söylenecek olursa, bildiğimiz şey her zaman sistem ile bizim aramızdaki ilişkiye ait bir şeydir. Her bilgi doğası gereği ilişkiseldir; bu nedenle hem öznesine hem nesnesine bağlıdır. Bir başka fiziksel sistemle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkide olmayan sistem durumları yoktur. Klasik mekanik bu basit gerçeği göz önünde tutmadan da işleyebileceğini ve en azından kuramsal olarak, gerçekliğin kimin baktığından bağımsız bir imgesini verebileceğini düşünmüştü. Ama fiziğin gelişimi sonuçta bunun olanaksız olduğunu gösterdi.

Dikkat: Örneğin bir fincan çayın sıcaklığı hakkında "bilgimiz olduğu"nu ya da her bir molekülün hızı hakkında "bilgimiz olmadığı"nı söylediğimizde, zihinsel durumlar veya soyut düşüncelerle ilgili bir şey söylemiş olmayız. Yalnızca fizik yasalarının bizimle sıcaklık arasında (örneğin bir termometreye bakmak gibi) bir korelasyon belirlediğini ama bizimle moleküllerin hızı arasında belirlemediğini söylemiş oluruz. Bunu tam olarak senin elindeki beyaz misketin benim elimdeki misketin de beyaz olduğu hakkında "bilgisi olduğu" anlamında söylemiş oluruz. Söz konusu olan zihinsel kavramlar değil, fiziksel gerçeklerdir. Bir misket, düşünmese bile bilgi sahibi olabilir, tıpkı düşünmeyen bir USB bellek çubuğunun bilgi içermesi gibi. (USB üzerindeki gigabayt sayısı ne kadar bilgi alabildiğini gösterir.) Bu bilgiye, sistemlerin durumları arasındaki bu korelasyona evrenin her yerinde, her zaman rastlanır.

Gerçekliği anlamak için söz konusu şeyin dünyanın dokusunu ören bu ilişkiler ve karşılıklı bilgi ağına sıkı sıkıya bağlı olduğunu aklımızdan çıkarmamamız gerektiğine inanıyorum. Aslında söz ettiğimiz şey her zaman budur.

Biz, örneğin, gerçekliği tamamen nesneler çevresinde parçalara ayırırız. Ama gerçeklik nesnelerden oluşmaz. Sürekli değişen, kesintisiz bir akıştır. Bu değişkenlik

içinde gerçeklikten söz edebilmemizi sağlayan sınırlar belirleriz. Denizde bir dalga düşünün. Bir dalga nerede biter? Bir dalga nerede başlar? Bunu kim söyleyebilir? Yine de dalgalar gerçektir. Dağları düşünün. Bir dağ nerede başlar, nerede biter? Toprak altında ne kadar devam eder. Bunlar anlamsız sorulardır çünkü dalgalar ve dağlar tek başlarına birer nesne değildir, dünya hakkında daha kolay konuşabilmek için sahip olduğumuz bir sınıflandırma yöntemidir. Sınırları, isteğe bağlı olarak seçilmiş, genel kabul görmüş ve kullanışlıdır. Elimizdeki bilgiyi düzenleme yöntemleridir, ya da daha iyi bir ifadeyle, elimizdeki bilgi biçimleridir.

Ama biraz düşünecek olursak, aslında bu durum her nesne için, hatta canlı bir sistem için de geçerlidir. Bu nedenle yarım kesilmiş bir tırnağın hâlâ benim bir parçam olup olmadığını, kedimin divanımın üzerine döktüğü tüylerin hâlâ ona ait olup olmadığını ya da bir çocuğun ne zaman yaşamaya başladığını sormanın çok anlamı yoktur. Bir çocuk, bir erkek ve bir kadın onu ilk kez düşündüğünde veya içinde kendi imgesi ilk kez oluştuğunda veya ilk kez nefes aldığında veya adını ilk öğrendiğinde ya da herhangi başka bir geleneksel ayrıma göre yaşamaya başlar; bunların tümü tamamen isteğe bağlı şeylerdir. Hepsi birer düşünme biçimi ve karmaşıklık içinde yol bulma yöntemidir.

Fiziğin büyük bölümünün dayandığı "fiziksel sistem" kavramı da, hiç şüphesiz bir idealleştirmeden, gerçekliğe dair dalgalı bilgimizi düzene sokma yönteminden başka bir şey değildir.

Canlı bir sistem, dış dünyayla durmadan etkileşerek sürekli olarak kendine benzer biçimde yeniden yaratılan özel bir biçimdir. Bu sistemlerden yalnızca hayatta kalmayı becerebilenler ayakta kalır ve bu nedenle var olan sistemlerde onların hayatta kalmasını sağlayan özellikler

ortaya çıkar. Bunun için canlı sistemler yoruma açıktır, biz de onları niyetler ve amaçlar çerçevesinde yorumlarız.

Biyoloji dünyasında amaç dediğimiz şey, etkin olarak hayatta kalan karmaşık sistemlerin seçiliminin sonucuna verdiğimiz –Darwin'in büyük buluşu olan– addır. Ama bir çevrede hayatta kalmanın en etkin yolu, dış dünyayla olan korelasyonu, yani dünya hakkındaki bilgileri iyi yönetmek ve bilgiyi toplamayı, zihinde canlandırmayı, iletmeyi ve incelemeyi bilmektir. DNA şifreleri, bağışıklık sistemleri, duyu organları, sinir sistemleri, karmaşık beyinler, diller, kitaplar, İskenderiye Kütüphanesi, bilgisayarlar ve Wikipedia bunun için vardır: Bilgi, yani korelasyon yönetimini en etkin biçimde kullanabilmek için.

Aristoteles'in bir mermer blokta gördüğü heykel vardır, gerçektir ve bir mermer bloktan daha fazlasıdır ama heykelin kendisinde biten bir şey değildir: Aristoteles'in beyni ya da bizim beynimiz ile mermer arasındaki etkileşimde bulunan bir şeydir. Mermerin bir başka şey hakkında sahip olduğu ve Aristoteles ile bizim için anlamlı olan bilgiye ilişkin bir şeydir. Bir disk atıcı, [heykeltıraş] Feidias, Aristoteles ve mermerle ilgili, heykeldeki atomların kendi aralarında ve bunlar ile bizim kafamızdaki ve Aristoteles'in kafasındaki binlerce diğeriyle korelasyon içindeki dizilişinde yer alan oldukça karmaşık bir şeydir. Bunlar bizimle, tıpkı senin elindeki beyaz misketin sana benimkinin de beyaz olduğunu söylemesi gibi konuşur. Biz, tam da bunu, bilgiyi, (hayatta kalabilmek açısından) en iyi biçimde yönettiği için seçilmiş yapılarız.

Bu, çok kısa bir özet ama bilgi kavramının dünyayı anlamak için günümüzde yürütülen çalışmalarda önemli bir rol oynadığı açıktır. İletişim sistemlerinin yapısından biyolojideki genetik temellere, termodinamikten kuantum mekaniğine ve kuantum kütle çekimine kadar her alanda bilgi kavramı bir anlama yöntemi olarak önemli

yer edindi. Dünyayı belki de atomların biçimsiz birlikteliği olarak değil, bu atomların oluşturduğu yapılar arasındaki korelasyonlara dayanan bir yansıtma oyunu olarak düşünmek gerekir.

Demokritos'un dediği gibi: Önemli olan yalnızca hangi atomların olduğu değil, aynı zamanda atomların hangi düzen içinde yerleşmiş olduklarıdır. Atomlar bir alfabenin harfleri gibidir; bu olağanüstü alfabe okumayı, düşüncelere dalmayı hatta kendisi hakkında düşünmeyi başaracak kadar zengindir. Biz atom değiliz, hem diğer atomları hem bizi yansıtabilen atomların bir araya geldiği bir düzeniz.

Demokritos "insan" için garip bir tanım yapar: "İnsan hepimizin tanıdığı şeydir."[1] Kulağa ahmakça ve boş geliyor ve bu yüzden de eleştirilmiştir de ama işin aslı öyle değil. En önemli Demokritos araştırmacısı Salomon Luria, Demokritos'un sözlerinin sıradan sözler olmadığı gözlemini yapar. Bir insanın doğası fiziksel iç yapısıyla değil, içinde var olduğu kişisel, ailesel ve toplumsal ağ tarafından belirlenir. Bizi biz "yapan", bizi gözeten şeyler bunlardır. İnsan olarak, başkalarının bizim hakkımızda bildikleri, bizim kendi hakkımızda bildiklerimiz ve başkalarının bizim bildiklerimiz hakkında bildikleriyiz. Çok zengin bir karşılıklı bilgi ağının karmaşık düğüm noktalarıyız.

Bütün bunlar bir kuram değildir. Çevremizdeki dünyayı daha iyi anlamaya çalışmak için –öyle inanıyorum ki– üzerinde ilerlediğimiz yollardır. Daha anlaşılmayı bekleyen çok şey var, bir sonraki son bölümde bunlardan söz edeceğim.

1. *Academica Priora*, II, 23, 73.

13

GİZEM

"Gerçeklik derinlerdedir."

Demokritos

Şu âna dek öğrendiklerimiz ışığında, nesnelerin doğalarının nasıl olduğu hakkındaki düşüncelerimi anlattım. Temel fiziğin bazı önemli fikirlerinin gelişimini hızlıca gözden geçirdim, 20. yüzyıl fiziğinin büyük buluşlarını açıkladım ve kuantum kütle çekimine yönelik araştırmalarda ortaya çıkmakta olan dünya imgesini anlattım.

Bütün bunlardan emin miyiz? Hayır.

Bilim tarihinin en eski ve en güzel sayfalarından biri, Platon'un *Phaidon*'unda Sokrates'in yeryüzünün biçimini açıkladığı bölümdür. Sokrates dünyanın, büyük vadileri olan, üzerinde insanların yaşadığı bir küre olduğuna "inanır". Biraz kafa karışıklığıyla da olsa oldukça doğru. Sonra ekler: "Bundan emin değilim." Bu sayfa diyaloğun geri kalanını dolduran, ruhun ölümsüzlüğü hakkındaki saçmalıklardan çok daha önemlidir. Önemli olan yalnızca bunun dünyanın yuvarlak olabileceğini açıkça dile getiren ve bize kadar ulaşmış en eski metin olması değildir. Her şeyden önemlisi Platon'un zamanının bilgi

birikiminin *sınırlarının* farkında olmasının ışıl ışıl parlamasıdır. "Emin değilim," der Sokrates.

Bilgisizliğimize ilişkin bu son derece belirgin farkındalık, bilimsel düşüncenin ruhudur. Dünya hakkında bu kadar çok şeyi, bilgilerimizin sınırları hakkındaki bu farkındalık sayesinde öğrendik. Sokrates'in dünyanın yuvarlaklığı konusunda şüphe içinde olması gibi biz de bugün kuşku duyduğumuz konulardan emin değiliz ama bilgilerimizin sınırında bulunanları araştırıyoruz.

Bilgilerimizin sınırlarının farkında olmak, aynı zamanda, bildiğimiz ya da bildiğimizi sandığımız şeylerin sonradan belirsiz ya da hatalı olabileceğinin de farkında olmaktır. İnançlarımızın yanlış olabileceğini gerçekten aklımızda tuttuğumuzda ancak, onlardan kurtulup daha çok şey öğrenebiliriz. Daha çok şey öğrenebilmek için, bildiğimizi düşündüğümüz şeylerin, en köklü inançlarımızın bile yanlış, fazla safça ve biraz aptalca olabileceğini kabul etme cesareti göstermeliyiz. Tıpkı Platon'un mağarasının duvarlarına yansıtılan gölgeler gibi...

Bilim bu alçakgönüllülükten doğar: Sezgilere körü körüne güvenmemekten... Herkesin söylediğine inanmamaktan... Babalarımızın ve dedelerimizin bilgi birikimine yaslanmamaktan... İşin özünü zaten bildiğimizi ve bu temel bilginin zaten bir kitapta yazılı olduğunu ve kabilenin büyükleri tarafından korunduğunu düşünürsek hiçbir şey öğrenemeyiz. İnsanların inandıkları şeylere iman ettikleri yüzyıllar, her şeyin durağan olduğu ve kimsenin yeni bir şey öğrenemediği dönemler oldu. Atalarının bilgilerine körü körüne inansalardı, ne Einstein, ne Newton ne de Copernicus her şeyi tartışmaya açabilir, bilimin gelişimini sağlayabilirdi. Hiç kimse şüphe etmeseydi, hâlâ firavunlara tapınıyor ve dünyanın büyük bir kaplumbağanın kabuğunun üstünde durduğunu sanıyor olurduk. Newton'ın ortaya koyduğu en yararlı bil-

ginin bile sonunda, Einstein'ın gösterdiği gibi fazla safça olduğu ortaya çıkabilir.

Bilim bazen her şeyi açıklama ve tüm sorulara yanıt verebilme iddiasında olmakla suçlanır. Bu eleştiri bir biliminsanına ilginç gelir. Oysa dünyanın herhangi bir laboratuvarındaki herhangi bir araştırmacının bildiği gibi, gerçek bunun tam tersidir: Bilim yapmak her gün kendi sınırlarıyla, nasıl yapılacağı bilinmeyen ve başarılamayan sayısız şeyle karşı karşıya kalmak demektir. Nerede kaldı her şeyi açıklamayı öne sürmek! Gelecek yıl CERN'de hangi parçacıklarla karşılaşacağımızı, gelecekteki teleskoplarımızın neler göreceğini veya hangi denklemlerin dünyayı gerçekten açıklayacağını bilmiyoruz; elimizdeki denklemleri nasıl çözeceğimizi, hatta bazen ne anlama geldiklerini bile bilmiyoruz; üzerinde çalıştığımız güzel kuramın doğru olup olmadığını bilmiyoruz; Büyük Patlama ötesinde ne olduğunu, bir fırtınanın, bir bakterinin, bir gözün, gövdemizdeki hücrelerin ve düşüncelerimizin nasıl işlediğini bilmiyoruz. Bir biliminsanı kendi sayısız kısıtları ve bilginin sınırlarıyla doğrudan temas içinde, bilginin uç noktalarında yaşayan kişidir.

Eğer hiçbir şeyden emin değilsek bilimin bize anlattıklarına nasıl güvenebiliriz? Yanıt basittir: Bilimin güvenilirliği verdiği kesin yanıtlardan kaynaklanmaz. Bilime güven duyulur çünkü bize şimdiye kadar bulunmuş en iyi yanıtları verir. Bildiklerimiz arasında karşı karşıya kaldığı problemleri en iyi yansıtan şey bilimdir. Öğrenmeye karşı açık olması ve eldeki bilgiyi tartışması, ortaya koyduğu yanıtların eldekilerin en iyileri olduğundan emin olmamızı sağlar: Daha iyi yanıtlar bulunursa, bu yeni yanıtlar bilimin bir parçası olur. Einstein daha iyi yanıtlar bularak Newton'ın yanıldığını gösterdiğinde, bilimin daha iyi yanıt verme olanağını tartışmaya açmış olmadı; tam tersine bu gücü yalnızca perçinlemiş oldu.

Sonuçta bilimin ortaya koyduğu yanıtlar kesin oldukları için güvenilir değildir, o an için elde olan en iyi yanıtlar oldukları için güvenilirdir. Ayrıca, eldekilerin en iyisidirler çünkü onların kesin olduklarını kabul etmez, onları her zaman daha iyi duruma getirmeye hazır oluruz. Bilime bu olağanüstü güvenilirliği veren, bilgisizliğimizin farkında olmamızdır.

İhtiyacımız olan şey de kesinlik değil, güvenilirliktir. Çünkü herhangi bir şeye körü körüne inanmadığımız sürece, elimizde gerçek kesinlikler yoktur ve hiçbir zaman da olmayacaktır. En güvenilir yanıtlar bilimsel yanıtlardır, çünkü bilim kesin değil, daha güvenilir yanıtlar aramaktır.

Kaynağı önceki bilgiler olsa da bilim serüveninin ruhunda değişim vardır. Size anlattığım öykü, kökleri binlerce yıl öncesine dayanan ve her bilgi kırıntısından yararlanan ama aynı zamanda daha iyi işleyen bir şeyler bulunduğunda eskileri çöpe atmaktan hiçbir zaman çekinmeyen bilimin bir öyküsüdür. Bilimsel düşüncenin doğası eleştireldir, asidir, her *a priori* [önsel] anlayışa, her yüceltmeye, her dokunulmaz gerçeğe karşı tahammülsüzdür. Bilimsel araştırma kesinlikten değil, radikal olarak kesinliğin olmamasından beslenir.

Bu, gerçeği avucunda tuttuğunu söyleyenlere itibar etmemek anlamına gelir. Bu yüzden bilim ile din genellikle ciddi bir çatışma içindedir. Bunun nedeni bilimin kesin yanıtlara sahip olma iddiasında olması değildir, tam tersidir çünkü kesin yanıtları bildiğini ve Gerçek'e ayrıcalıklı bir erişimi olduğunu söyleyenler bilim ruhunu özümsemiş insanları yalnızca gülümsetir.

Bilgimizin önemli ölçüde belirsiz olduğunu kabul etmek, bilgisizlikle kuşatılmış olarak, yani gizemler içinde yaşamayı kabul etmek demektir. Nasıl yanıt vereceğimizi bilmediğimiz (ya da, kim bilir, belki de hiçbir zaman bilemeyeceğimiz) sorularla birlikte yaşamak demektir.

Belirsizlik içinde yaşamak zordur. Açıkça dayanaksız da olsa herhangi bir kesinliği, kendi sınırlarının farkına varmaktan kaynaklanan belirsizliğe tercih edenler vardır. İçtenlik cesareti göstererek bilmek istediğimiz her şeyi bilmeden yaşadığımızı kabul etmek yerine, herhangi bir öyküye –doğru da olsa, yanlış da olsa– sırf kabilenin ataları inandığı için inanmayı tercih edenler vardır.

Bilgisizlik korkutucu olabilir. Bu korku nedeniyle kendimize bizi güvende hissettiren, endişelerimizi gideren bir öykü anlatabiliriz. Yıldızların ötesinde, bizi kollarına alacak bir babanın olduğu büyülü bir bahçe vardır. Doğru olup olmaması önemli değildir; bizi rahatlatan bu öyküye inanmaya karar verebiliriz ama bu, öğrenme isteğimizi elimizden alır.

Dünyada bize kesin yanıtlar vereceğini iddia eden birileri hep var olmuştur. Hatta dünya büyük Gerçek'i bildiğini söyleyen kişilerle doludur. Ya babalardan öğrenmişlerdir ya Büyük Kitap'ta okumuşlardır ya da doğrudan bir tanrıdan edinmişlerdir. Belki de ruhlarının derinliklerinde bulmuşlardır. Kendisini Gerçek'in emanetçisi ilan eden ve endişe verici sorulara rahatlatıcı yanıtlar vermeye koşturan biri ya da bir kurum her zaman vardır. "Korkmayın, yukarıda bir yerlerde bizi seven birileri var," derler. Dünyanın diğerlerinden farklı, her biri kendi Gerçek'ine sahip, başka Gerçek emanetçileriyle dolu olduğu gerçeğine gözlerini kapatıp Gerçek'in emanetçisi olduğunu öne süren birileri her zaman bulunur. Beyazlar giyinmiş ve, "Beni dinleyin, ben yanılmam," diyen bir beyefendi hep vardır.

Ben masallara inanmayı seçenleri eleştirmiyorum: Hepimiz istediğimize inanmakta ve kendi aklımızı istediğimiz gibi kullanmakta özgürüz. Soru sormaktan korkanlar, dünyayı yaratmadan önce Tanrı'nın ne yaptığını soran birine, biraz da şaka yollu şu yanıtı veren Aziz Augustinus'u izleyebilir: "*Alta... scrutantibus gehennas*

parabat",[1] "Derin gizemleri araştırmayı deneyenler için cehennemi hazırlıyordu." Demokritos'un bu bölümün başındaki alıntısında gerçeği gidip aramamızı söylediği "derinlik" de bu derinliktir.

Ben kendi adıma bilgisizliğimizle yüzleşmeyi, ötelere bakıp anlayamadığımız şeyleri anlamaya çalışmayı tercih ederim. Bunun nedeni yalnızca bu bilgisizliği kabul etmenin boş inanç ve önyargılara takılıp kalmamak için en temel yol olması değil, bu kabulün en doğru, en güzel ve her şeyden de önemlisi en dürüst yol olmasıdır.

Daha uzağa bakmanın, daha uzaklara gitmenin, yaşama bir anlam veren harika şeylerden biri olduğunu düşünüyorum. Tıpkı sevmek ve gökyüzüne bakmak gibi... Öğrenme, keşfetme, tepenin ardına bakmayı isteme, elmanın tadına bakma merakı bizi insan yapan şeylerdir. Dante'nin Ulysses'inin arkadaşlarına anımsattığı gibi: "Hayvanlar gibi yaşamak için dünyaya gelmediniz, erdem ve bilgi peşinde koşmak göreviniz."[2]

Dünya ataların anlattığı herhangi bir masaldan daha olağanüstü ve daha derindir. Onu gidip görmek isteriz. Belirsizliği kabullenmek, gizem duygusunu elimizden almaz. Tersine, dünyanın gizemleri ve güzellikleriyle kuşatılmış oluruz. Kuantum kütle çekiminin ortaya koyduğu dünya, yeni, garip, hâlâ sırlarla dolu ama basit ve aydınlık güzelliğiyle tutarlı bir dünyadır.

Bu dünya uzayda yer almayan ve zaman içinde değişim geçirmeyen bir dünyadır. Yalnızca, kuantumların kaynaşmasının, çok yoğun bir etkileşim ağı yoluyla uzayı, zamanı, parçacıkları, dalgaları ve ışığı yarattığı kuantum alanlarından oluşan bir dünyadır (Resim 13.1).

1. Agostino d'Ippona, *Confessiones*, XI, 12 (İtalyanca çeviri: *Le Confessioni*, Bompiani, Milano, 2012).

2. *İlahi Komedya*, "Cehennem", XXVI. Kanto, dize 119-120, s. 220. (Ç.N.)



Resim 13.1. Kuantum kütle çekiminin sezgiye dayalı bir temsili.

Ve devam etti,
devam etti ölüm ve yaşam kaynamaya
merhametli ve düşmanca, açık ve bilinemez olarak.

Şair şöyle devam eder:

Bu kadardır gözün görebildiği bu gözetleme kulesinden.[1]

Bu kaynaşma için kendisinden daha küçük hiçbir şeyin olamadığı bir en küçük ölçek olması nedeniyle sonsuz küçüklüğün var olmadığı, sonsuzluğu olmayan bir dünyadır bu. Uzay kuantumları uzay-zaman köpüğü içinde birbirlerine karışır ve nesnelerin yapısı da dünyanın fark-

1. Mario Luzi, "Dalla torre", *Dal fondo delle campagne* içinde, Einaudi, Torino 1965, s. 214.

lı bölgeleri arasındaki korelasyonları ören karşılıklı bilgiden doğar. Bir dizi, belki de düzeltilmesi gereken, denklemle ifade edebildiğimiz bir dünyadır.

Hâlâ açıklanmayı, incelenmeyi bekleyen çok büyük bir dünyadır. En büyük hayalim, bu kitabın en genç okuyucuları arasından birinin ona yelken açması, onu aydınlatması ve keşfetmesidir. Tepenin ardında hâlâ keşfedilmemiş daha da büyük dünyalar var.

AÇIKLAMALI KAYNAKÇA

Alfieri, V.E., *Lucrezio*. Le Monnier, Floransa 1929. Lucretius şiirinin ve yazarın kişiliğinin romantik okuması. Büyüleyici, şairin yaşamı konusunda çok güvenilir değil ama harika bir şiirsel duyarlığa sahip. Odifreddi'nin (aşağıya bakınız) yazdıklarıyla neredeyse zıt, ilginç bir okuma.

Andolfo, M. (ed.), *Atomisti antichi. Frammenti e testimonianze*, Rusconi, Milano 1999. Antik dönem atomculuğundan geriye kalanlarla ilgili oldukça eksiksiz bir derleme. Sunuş bölümünde dilbilimsel mecazların öneminin vurgulanması ilginç.

Aristoteles, *Oluş ve Bozuluş Üzerine*, çev. Celal Gürbüz, Ara Yayıncılık, İstanbul, 1990. Aristoteles'in, Demokritos düşüncesi üzerine bilgi edindiğimiz temel yapıtı.

Bitbol, M., *Physical Relations or Functional Relations? A Non-metaphysical Construal of Rovelli's Relational Quantum Mechanics*, Philosophy of Science Archives, 2007, http://philsci-archive.pitt.edu/3506/. İlişkisel kuantum mekaniğinin Kantçı anlamda bir yorumu.

Baggott, J., *The Quantum Story: A History in 40 Moments*, Oxford University Press, New York, 2011. Kuantum mekaniğinin başlangıcından günümüze dek geçtiği önemli aşamaların güzel ve eksiksiz bir anlatımı.

Bojowald, M., *Once Before Time, A Whole Story of the Universe*. Alfred A. Knopf, New York, 2010 (İtalyanca çeviri: *Prima del Big Bang, Storia completa dell'universo*. Bompiani, Milano, 2011). İlmek kuantum kütle çekiminin evrenin doğuşuna uygulanmasının öğretici bir tanıtımı. Yazar bu uygulamayı başlatanlardan biriydi. Büyük Patlama'dan önce yaşanmış olabilecek "evren sekmesi"ni açıklıyor.

Calaprice, A., *Sevgili Einstein*, çev. İrem Gültan, Affectum Libris Yayınevi, İstanbul, 2015. Einstein ile bazı çocuklar arasında yazılmış mektupların nefis bir derlemesi.

Democrito, Raccolta dei frammenti. S. Luria'nın yorum ve açıklamaları. İtalyanca çeviri: Bompiani, Milano, 2007. Demokritos'tan parçaların ve yaşamının eksiksiz derlemesi. Giovanni Reale'nin sunuş bölümünde Demokritos'un materyalizmini Sovyet sansürüne benzer biçimde budamaya çalışması ilginç.

Diels, H., Kranz, W. (ed.), *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Weidmann, Berlin, 1903. İtalyanca çeviri: Q. Cataudella, *I frammenti dei presocratici*. Cedam, Padova, 1958; G. Giannantoni, *I presocratici: testimonianze e frammenti*, Laterza, Bari, 1969; G. Reale, *I presocratici*. Bompiani, Milano, 2006. En eski Yunan düşünürlerinden parçalar ve onların yaşamları hakkında klasik referans metni.

Dorato, M., *Rovelli's Relational Quantum Mechanics, Monism and Quantum Becoming*, Philosophy of Science Archives, 2013, http://philsci-archive.pitt.edu/9964/. İtalyan felsefecinin kuantum mekaniğinin ilişkisel yorumu üzerine bir tartışması.

Dorato, M., *Che cos'è il tempo? Einstein, Gödel e l'esperienza comune*, Carocci, Roma, 2013. Zaman kavramının Einstein tarafından değiştirilmesi olan özel göreliliğe odaklanan titiz ve eksiksiz bir tartışma.

Fano, V., *I paradossi di Zenone*. İtalyanca çeviri: Carocci, Roma, 2012. Zenon ikilemlerinin doğurduğu sorunların güncelliğini öne çıkaran güzel bir kitap.

Farmelo, G., *The Strangest Man. The Hidden Life of Paul Dirac, Quantum Genius*. Faber, Londra, 2009. (İtalyanca çeviri: *L'uomo più strano del mondo. Vita segreta di Paul Dirac, il genio dei quanti*. Raffaello Cortina, Milano, 2013). Sarsıcı bir kişiliğe sahip olan ve Einstein'dan sonraki en büyük fizikçi kabul edilen Dirac'in uzun ama kolay okunan yaşam öyküsü.

Richard Feynman, *Fizik Dersleri*, çev. Zekeriya Aydın, Alfa Yayınları, İstanbul, 2016. En büyük ABD'li fizikçinin derslerinden oluşan, üniversite başlangıç düzeyindeki temel fizik kitabı. Çok parlak, özgün, canlı ve son derece akıllıca yazılmış. Bilime gerçekten ilgi duyan hiçbir fizik öğrencisi bu kitabı mutlaka okumalı ve yanından ayırmamalıdır.

Fölsing, A., *Albert Einstein: A Biography*. Penguin, New York, 1998. Einstein'ın geniş ve eksiksiz yaşamöyküsü.

Gorelik, G., Frenkel, V., *Matvei Petrovich Bronstein and Soviet Theoretical Physics in the Thirties*, Birkhauser Verlag, Boston, 1994. Kuantum kütle çekimi araştırmalarını başlamasını sağlayan ve Stalin'in polisi tarafından idam edilen genç Rus Bronštejn hakkında tarihsel bir araştırma.

Greenblatt, S., *The Swerve: How the World Became Modern*, W.W. Norton, New York, 2011. Lucretius'un şiirinin bulunmasının modern dünyanın doğuşuna etkilerini anlatan bir kitap.

Heisenberg, W., *Fizik ve Felsefe*, çev. M. Yılmaz Öner, Belge Yayınları, İstanbul, 2000. Kuantum mekaniğini gerçekten başlatan kişi, genel bilim felsefesi sorunları hakkında düşünüyor.

Kumar, M., *Quantum: Einstein, Bohr and the Great Debate about the Nature of Reality*. Icon Books, Londra, 2009 (İtalyanca çeviri: *Quantum. Da Einstein a Bohr, la teoria dei quanti, una nuova idea della realtà*. Mondadori, Milano, 2011). Kuantum mekaniğinin doğuşu ve özellikle de Bohr ile Einstein arasında yeni kuramın anlamı konusundaki uzun görüş alışverişinin açıklayıcı ama ayrıntılı ve güzel bir anlatımı.

Lucretius, *Evrenin Yapısı*, çev. Tomris Uyar, Turgut Uyar, Hürriyet Yayınları, İstanbul, 1974. Antik dönem atomculuğunun düşüncelerini ve ruhunu bize yeniden kazandıran temel metin.

Martini, S., *Democrito: filosofo della natura o filosofo dell'uomo?* Armando, Roma, 2002. Demokritos'un doğabilimci ve hümanist olarak iki yönünü gün ışığına çıkaran ders kitabı.

Newton, I., *A Treatise of the System of the World*, F. Fayram, Londra, 1731 (İtalyanca çeviti: *Il sistema del mondo*. Boringhieri, Torino, 1969). Newton'ın evrensel kütle çekimi kuramını büyük yapıtı *Principia*'dan daha az teknik bir dille açıkladığı az bilinen bir kitabı.

Odifreddi, P., *Come stanno le cose. Il mio Lucrezio, la mia Venere*, Rizzoli, Milano, 2013. Lucretius'un şiirinin, bilimsel ve modern yönünü vurgulayan ve yorumlara geniş ölçüde yer veren güzel bir çevirisi. Okullar için ideal bir metin. Alfieri'nin (yukarı bakınız) yazdıklarıyla neredeyse zıt, ilginç bir Lucretius okuması.

Platon, *Phaidon, Ruh Üzerine*, çev. Nazile Kalaycı, Kabalcı Yayınları, İstanbul, 2012. Dünyanın yuvarlak olduğundan açıkça söz eden en eski metin.

Rovelli, C., "Relational quantum mechanics", *International Journal of Theoretical Physics*, sayı 35 içinde, 1996, s. 1637 http://arxiv.org/abs/quant-ph/9609002. Kuantum mekaniğinin ilişkisel yorumunun ilk kez sunulduğu özgün metin.

Rovelli, C., *Che cos'è il tempo? Che cos'è lo spazio?* Di Renzo, Roma, 2000. Kişisel ve bilimsel yolculuğuma yeniden bir göz attığım ve bu kitapta daha ayrıntılı biçimde yer verdiğim bazı düşüncelerin doğuşundan söz ettiğim uzun bir söyleşinin yazıya aktarılmış hali.

Rovelli, C., "Relational quantum mechanics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* içinde, http://plato.stanford.edu/archives/win2003/entries/rovelli/. Kuantum mekaniğinin ilişkisel yorumunun ansiklopedi maddesi tarzında bir özeti.

Rovelli, C., *Quantum Gravity*. Cambridge University Press, Cambridge, 2004. Kuantum kütle çekimi teknik el kitabı. Fizik eğitimi olmayanlara tavsiye edilmez.

Rovelli , C., "Quantum gravity", Butterfield , J., Earman, J. (ed.), *Handbook of the Philosophy of Science, Philosophy of Physics* içinde. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2007, s. 1287-1330. Kuantum kütle çekiminin güncel durumunu, yanıtlanmamış sorularını ve farklı yaklaşımları ayrıntılı biçimde tartışan, felsefecileri hedefleyen uzun bir makale.

Rovelli, C., *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Mondadori, Milano, 2012. Bu kitap her şeyden önce bir anlamda, insanlık tarihinin ilk ve en büyük bilimsanlarından biri olan Anaksimandros'un düşüncelerinin ve onun bilimsel düşüncenin gelişimine yaptığı muhteşem katkının bir anlatımıdır. Bilimsel düşüncenin ne olduğunu, dinsel düşünceden farklarını, sınırlarının ve gücünün neler olduğunu ortaya koyar.

Smolin, L., *The Life of Cosmos*, Oxford University Press, Oxford, 1997 (İtalyanca çeviri: *Vita del cosmo*. Einaudi, Torino 1998). [Evrenin Yaşamı, çev. Ömür Akyüz, Alfa-Bilim, 2011.] Smolin'in fizik ve kozmoloji hakkındaki düşüncelerini ortaya koyduğu eğitici, güzel bir kitap.

Smolin, L., *Three Roads to Quantum Gravity*. Basic Books, New York, 2002. Kuantum göreliliği ve yanıtsız kalan sorular hakkında.

Van Fraassen, B., "Rovelli's world", *Foundations of Physics* içinde, 40, 2010, s. 390-417. Yaşayan en büyük çözümlemeci felsefecilerden birinin ilişkisel kuantum mekaniği üzerine bir tartışması.

3-küre 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 103, 104

A

Abdera 19, 23, 37, 129, 168

Agullo, Ivan 212, 213, 214

Alan
  elektrik alanı 62, 75, 76, 79, 110, 149
  elektromanyetik alan 75, 79, 82, 83, 113, 123, 125, 126, 127, 143, 149, 162, 165, 166, 169, 212
  kütle çekimi alanı 79, 80, 82, 87, 90, 145, 147, 149, 159, 161, 163, 165, 166, 169, 170, 174, 175, 181, 182, 188, 191, 214, 221, 223
  manyetik alan 59, 62, 75, 76, 79

Alesci, Emanuele 182

Alfieri, Vittorio Enzo 42, 261, 263

Alighieri, Dante 39, 42, 53, 96, 97, 98, 101, 103, 258

Almagest (Ptolemaios) 48, 49

Anaksagoras 55

Anaksimandros 7, 20-22, 47, 55, 148, 189, 191, 263

Anaksimenes 24

Andromeda gökadası 75, 77

A priori düşünme biçimleri 190

Aristarkhos 47, 55, 191

Aristoteles 25-28, 31, 36, 37, 45, 46, 51, 53, 80, 97, 103, 133, 167, 168, 236, 250, 261

Arkhimedes 31, 78, 229, 230, 231

Arkhytas 93

Ashtekar, Abhay 156, 212, 213

Atina 20, 22

B

Beethoven, Ludwig van 105

Bekenstein, Jacob 242

Bianchi, Eugenio 223, 224

Bilgi 233-243, 247, 248, 249, 250, 251, 255, 258

Bohr, Niels 114, 116, 121, 122, 135, 136, 137, 139, 147, 149, 154, 262

Boltzmann, Ludwig 32, 238, 239, 246

Bolzano, Bernhard 31

Bracciolini, Poggio Giovanni Francesco 39

Bronštejn, Matvei 148, 151, 152, 154, 167, 262

Bulutsular [nebulalar] 198

Büyük Patlama (Big Bang) 12, 13, 89, 97, 104, 146, 195, 198, 200-204, 215, 220, 225, 233, 255, 261

Büyük Sekme (Big Bounce) 203

C

Cavalcanti, Guido 39

Cenevre 208, 209

Cicero, Marco Tullio 24, 251

Cilento 29

D

Dalga fonksiyonları 124, 241

Dalgalanmalar 35, 62, 123, 131, 212, 213, 215, 223

Darwin, Charles 14, 40, 112, 250

Demokritos 23-29, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 41-43, 54, 55, 70, 80, 81, 89, 129-131, 167, 168, 236, 251, 253, 258, 261, 263

Denklem
  Dirac denklemi için bkz. Dirac, Paul
  Hamilton-Jacobi denklemi 155
  Schrödinger denklemi için bkz. Schrödinger, Erwin
  Wheeler-DeWitt denklemi 156, 157, 159, 160, 174

Descartes, René 80

DeWitt, Bryce 155, 156

Diogenes Laertios 36

Dirac, Paul 119-126, 135, 136, 147, 149, 152, 162, 163, 166, 207, 225, 226, 262
  Dirac denklemi 126, 127, 167

Dorato, Mauro 138, 262

E

Eğrilik 84, 85
  uzay-zamanın eğriliği 83, 84, 90, 92, 145, 148, 170
  Riemann eğriliği için bkz. Riemann, Bernhard

Einstein, Albert 12, 17, 32-35, 40, 41, 61, 69-85, 89-94, 96, 97, 100, 103-107, 110-113, 116-121, 126, 129, 134-139, 143, 145, 147-150, 154, 159, 161, 166, 173, 181, 187, 189, 190, 191, 197, 199-202, 205-207, 211, 214, 219, 220, 226, 228, 254, 255, 261, 262

ek boyutlar 211

Elea 23, 29

Elektron 56, 111, 112, 114-116, 118, 119, 122-127, 131, 132, 135, 143, 152, 164, 171, 202, 203

eLISA, bkz. LISA

Enerji 12, 57, 67, 75, 76, 84, 88, 90, 110-112, 116, 121, 126, 136, 146, 150, 162, 189, 201, 221, 238, 242, 245, 246

Entropi 239, 242

Eudoksos 47

Eukleides 48, 69, 98, 155

Euripides 231

Evrenin genişlemesi 89, 97, 105, 198, 199, 200, 203, 205

Evrensel kütle çekimi 60, 263

F

Faraday, Michael 57-59, 61-64, 79, 82, 89, 112, 115, 126, 129, 147, 159, 160, 163, 189

Feynman diyagramları 184-186

Floransalı Poggio (Bracciolini, Poggio) 39, 40, 49

Frinikos 22

G

Galilei, Galileo 50, 177

Gökadalar (galaksiler) 12, 104, 125, 197, 198, 201, 204, 212, 222, 228

Goodman, Nelson 134

Gravitonlar 153

H

Hamiltonyen 246

Hawking, Stephen 221, 222, 223, 224

Heisenberg, Werner 117-119, 121, 124, 131, 135, 147, 149, 150, 182, 189, 262

Hekataios 20, 21

Hiero 229

Higgs, Peter 127
Higgs bozonu 128, 209, 210

Hilbert, David 91, 92, 93
Hilbert uzayı 121, 187

Hipparkhos 47, 52

Hiroşima 76

Holografi ilkesi 243

Holonomi 170

Hubble, Edwin 191, 198, 199

Hulse, Russell Alan 88

Huygens, Christiaan 52

I-İ

Iamblikhos 46, 47

Iraksamalar 226, 227

Isham, Chris 153

"*It from bit*" 241

İkiz yıldız 88

İlk atom 198; ayrıca bkz. Büyük Patlama

İlmek [loop] 97, 101, 156, 157, 165, 170, 202, 220

İskenderiye 48, 50, 54, 250

İstatistiksel durum 246

J

Jacobson, Ted 157, 159

K

Kant, Immanuel 56, 69, 190

Kara delik 11, 13, 88, 89, 143, 145, 146, 150, 154, 195, 217-224, 233, 242
gökada merkezindeki kara delik 88

KEDİ; bkz. QED

Klasik mekanik 202, 248

Kopenhag 116, 117, 124, 136, 154

Copernicus, Mikolaj 14, 49, 50, 54, 148, 207, 254

Korelasyonlar 243, 251, 260

Kozmik ardalan ışıması 212

Kozmoloji 26, 97, 145, 204, 264

KREDİ; bkz. QCD

Kuantum alanları 12, 128, 143, 145, 165, 166, 188, 189, 190, 258
kuantum çalkalanmaları ve istatistiksel dalgalanmalar 223

Kuantumlar 109, 110, 126, 128, 146, 149, 152, 162, 165, 173, 174, 181, 184-186, 188, 190, 207, 213, 241, 258

Kuark 11, 127, 185, 228

Kütle çekimi dalgaları 88, 89, 145, 209, 210, 214, 215

Kütle çekimsel çökme 79, 182

L

Landau, Lev 79, 149, 152

Latini, Brunetto 98, 99, 100

Leavitt, Henrietta 198

Lemaître, Georges 198-200, 205

Leopardi, Giacomo 54

Leukippos 19, 23, 24, 31, 33, 167

Lewandowski, Jurek 160

LHC (Large Hadron Collider) 208

LISA 215

Loop için bkz. ilmek

Lucretius (Tito Lucrezio Caro) 35, 37-42, 49, 132, 173, 261-263

Luria, Salomon 26, 251, 261

M

Magliaro, Elena 182

Maxwell, James Clerk 57, 58, 61-64, 69, 70, 71, 75, 77, 79, 82, 114, 126, 127, 129, 147, 189, 211

Mezopotamya 20, 22

Miletos 17, 19, 20, 22, 23, 29, 46, 47

Minnai, Emanuela 102

Mısır 20, 22, 47

N

Nebulalar, bkz. bulutsular

Nelson, William 212, 214

Newton, Isaac 31, 40, 43, 46, 51-58, 60, 61, 64, 70, 71, 75-78, 80-82, 85, 87, 89, 90, 98, 112, 115, 122, 125, 129, 131, 147, 150, 179, 189, 190, 207, 211, 254, 255, 263
  Newton sabiti 53, 150

Niccoli, Niccolò 39

Nötrinolar 127

Numa Pompilius 55

O-Ö

Odifreddi, Piergiorgio 42, 261, 263

Öğeler (Eukleides) 48, 69

Operatörler 155, 187

Örgü 185, 186

P

Palomar Gözlemevi 198

Papa XII. Pius 200

Paralel evrenler 211

Paralel taşıma 100

Parçacıklar 12, 29, 34, 35, 40, 55, 56, 64, 82, 106, 126-129, 143, 145, 184, 188, 189, 208, 209, 211

Parmenides 29

Penzias, Arno 105

Perini, Claudio 182

Petrarca, Francesco 39, 154

Phaidon (Platon) 27, 253, 263

Planck, Max 110, 111, 116, 126, 201
  Planck ölçeği 155, 201, 225, 228, 242
  Planck sabiti 110, 116, 130, 133, 134, 151, 227, 228
  Planck uzunluğu 151, 163, 227, 228, 229

Planck uydusu 12, 201, 209, 210

Platon 13, 26, 27, 28, 37, 45-48, 55, 125, 139, 167, 236, 253, 254, 263

Porfirios 47

Psammites [Kum Sayıcı] (Arkhimedes) 229, 230, 231

PSR B1913+16 ikiz sistemi 88

Ptolemaios 48, 49, 207

Pullin, Jorge 160

Q

QCD (Quantum Chromo-Dynamics) 185

QED (Quantum Electro-Dynamics) 133, 184

Quintilianus, Marcus Fabius 39

R

Reale, Giovanni 261

Riemann, Bernhard 84, 89, 100, 105, 165
  Riemann eğriliği 84, 90

Rosenfeld, Léon 149

Rubbia, Carlo 128

S

Schrödinger, Erwin 124, 155
  Schrödinger denklemi 155

Seneca, Lucio Anneo 24

Sextus Empiricus 25

Shannon, Claude 234, 235, 237-239

Sicim kuramı 157, 208
  ilmekçiler ve sicimciler 208, 209, 211

Simplikios 23

Sirak Kitabı (Ecclesiasticus) 229, 230

Sıcaklık 201, 221, 223, 245, 248
  kara delik sıcaklığı 13, 221-223, 233, 242

Smolin, Lee 7, 156, 157, 159, 264

Sophokles 231

Sokrates 27, 253, 254

Spektrum 114-116, 118, 122, 123, 161, 162, 163, 167
  hacim spektrumu 161-163, 167
  yüzölçümü spektrumu 161, 163, 167

Speziale, Simone 172

Spin 164, 169, 184, 241

Spin ağları 168-171, 183, 184, 188

Spin köpüğü 182-186, 188, 204

Spin network, bkz. spin ağları

Spinfoam, bkz. spin köpüğü

Standart model 127, 128, 184, 185, 210, 211
  kozmolojik standart model 12, 210
  temel parçacıkların standart modeli 127, 184, 210

T

Tainaron Burnu 21

Taormina 231

Taranto 93

Taylor, Joseph 88

Tekillik 191, 225, 227

Thales 20

Theodosius 37

U

Ufuk 219, 223

Üstünsimetri [süpersimetri] 211

üstünsimetrili parçacıklar 12, 195, 208-211

Uzay 11, 12, 17, 24, 25, 32, 43, 53-56, 58, 59, 61-64, 67, 70, 72-77, 80-90, 92, 94, 96-101, 106, 109, 112, 121, 123, 124, 126, 128, 129, 131, 136, 143-157, 159-174, 176, 180-183, 185, 186, 188-191, 195, 203, 204, 207, 211, 212, 214, 215, 217, 219, 222, 223, 225, 226, 228, 229, 231, 242, 243, 247, 258, 259
  yalınık uzay 116, 130, 146, 159, 162, 172, 191, 226, 241

Uzay kuantumları 17, 164, 166, 169, 170, 172, 176, 180, 186, 190, 211, 222, 228, 243, 259

Uzay-zaman 72, 74-76, 82-84, 86, 87, 90, 92, 100, 106, 128, 129, 143, 145, 146, 148, 154, 170, 173, 174, 180-183, 186, 188-190, 204, 243, 259

Uzay-zaman suşisi 180

V

Vidotto, Francesca 203, 204

VIRGO 214

Vitruvius (Marco Vitruvio Pollione) 39

W

Weierstrass, Karl 31

Wheeler, John 154, 155, 156, 204, 241
  Wheeler-DeWitt denklemi 156, 157, 159, 160, 174

Wilson, Robert 105
  "Wilson ilmeği" 170

Y

Yollar toplamı 133

Z

Zaman 12, 20, 29-33, 35, 37, 39, 50-53, 55, 56, 61, 69-77, 80-87, 90, 92-94, 99, 106, 111, 113, 115, 119, 124, 128-131, 135, 136, 143, 146, 151, 153, 154, 156, 162, 168, 170, 172-183, 186, 188-190, 199, 204, 206, 207, 211, 218, 219, 221, 222, 228, 230, 233, 235, 237-249, 256-259
  ısıl zaman 243-246

Zenon 23, 29, 30, 31, 166, 262
  "Akhilleus ve Kaplumbağa" ikilemi 30, 166, 167

"Dünya sınırsız ve rengârenktir; gidip onu görmek isteriz. Gizemi ve güzelliği çevremizi sarar, tepelerin ardında da daha keşfedilmemiş yerler vardır. Bilmediklerimizin derin uçurumunun üzerinde asılı durumdayken, çevremizi kuşatan bu belirsizlik ve kararsızlık yaşamı anlamsız kılmaz, tersine değerini artırır."

Fizik Üzerine Yedi Kısa Ders'te, fizikle haşır neşir olmayan okura modern fizik yasalarını anlaşılır bir temel çerçevede sunan Rovelli, *Gerçeklik Göründüğü Gibi Değildir*'de aynı akıcı ve keyifli anlatımıyla "Nesnelerin doğası nedir? Ne tür dinamikleri vardır?" sorularının izini sürüyor. İnsanoğlunun evrene yönelik keşif serüvenini anlatan dünyaca ünlü fizikçi, temel fiziğin öne çıkan fikir ve sorunlarının Antik Yunan'dan günümüze geçirdiği değişim sürecini, 20. yüzyıl fiziğinin büyük buluşlarını ve kuantum kütle çekimine yönelik araştırmalarda ortaya çıkmakta olan dünya imgesini mercek altına alıyor.

Gerçeklik Göründüğü Gibi Değildir, yazarının evrenin gizemlerine ve bilime duyduğu tutkuyu her satırda duyumsattığı, dahası okuru da bu heyecanlı keşif yolculuğuna ortak ettiği olağanüstü bir çalışma.



can

26 TL
KDV DAHİL

ISBN: 978-975-07-3852-4

canyayinlari.com twitter.com/canyayinlari facebook.com/canyayinevi