

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

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

STEPHEN HAWKING

ile
Leonard Mlodinow

ZAMANIN DAHA KISA TARİHİ



Zamanın Daha Kısa Tarihi

Stephen Hawking

ZAMANIN DAHA KISA TARİHİ

Orjinal adı: *A Briefer History of Time*

© Stephen Hawking, 2005

Yazan: Stephen Hawking

İngilizce aslından çeviren: Selma Ögünç

Türkçe yayın hakları: © Doğan Kitapçılık A.Ş.

Bu kitabın Türkçe yayını hakları Akçelik Telif Hakları Ajansı aracılığıyla satın alınmıştır.

1. baskı / ekim 2006 / ISBN 975-293-499-4

Bu kitabın 1. baskısı 4 000 adet yapılmıştır.

Kapak tasarımı: Yavuz Korkut Baskı: Altan Basım Ltd. /

Yüzyıl Mahallesi Matbaacılar Sitesi 222/A 34200 Bağcılar -
İSTANBUL

Çeviren: Selma Ögünç

Doğan Kitapçılık A.Ş. Hürriyet Medya Towers, 34212 Güneşli - İSTANBUL, Tel:
(212) 449 66 06 - 677 07 39 Faks (212) 677 07 49 www.dogankitap.com.tr



Teşekkür

Kitaba son halini verirken büyük deneyimini ve yeteneğini bizden esirgemeyen Bantam'daki editörümüz Ann Harris'e teşekkürler. Bantam'ın sanat yönetmeni Glen Edelstein'a sabrı ve bitmez tükenmez çabası için teşekkürler. Biraz fizik öğrenmek için zaman ayırdıktan sonra kitabın bilimsel içeriğinden taviz vermeden enfes görünmesini sağlayan sanat ekibine, Philip Dunn, James Zhang ve Kees Veenenbos'a teşekkürler. Yazarlar Evi'ndeki temsilcilerimiz Al Zuckerman ve Susan Ginsburg'a anlayışları, özenleri ve destekleri için teşekkürler. Düzeltmen Monica Guy'a teşekkürler. Daha açık hale getirmek istediğimiz bölümleri bulmak için çeşitli taslakları okuyan Donna Scott, Alexei Mlodinow, Nicolai Mlodinow, Mark Hillery, Joshua Webman, Stephen Youra, Robert Barkovitz, Martha Lowther, Katherine Ball, Amanda Bergen, Jeffrey Boehmer, Kimberly Comer, Peter Crook, Matthew Dickinson, Drew Donovanik, David Fralinger, Eleanor Grewal, Alicia Kingston, Victor Lamond, Michael Melton, Mychael Mulhern, Matthew Richards, Michelle Rose, Sarah Schmitt, Curtis Simmons, Christine Webb ve Christopher Wright'a teşekkürler.

Önsöz

Bu kitabın başlığı, 1988'de basılan ilk kitaptan sadece dört harf farklı. *Zamanın Kısa Tarihi* Londra'da yayımlanan *Sunday Times*'in. çoksatınlar listesinde tam 237 hafta kaldı ve dünyadaki her 750 kadın, erkek ve çocuktan birine ulaştı. Bu, çağdaş fiziğin en zor konularından söz eden bir kitap için büyük bir başarıydı. Ancak bu zor konular, büyük ve temel sorulara yanıt aradığı için de çok heyecan verici: Evren hakkında gerçekten ne biliyoruz? Bunu nasıl biliyoruz? Evren nereden geliyor ve nereye gidiyor? *Zamanın Kısa Tarihi*'nin özünü oluşturan bu sorular, bu kitabın da odağında.

Zamanın Kısa Tarihi'nin basılmasından sonra dünyanın her tarafından, her yaştaki, çok farklı işkollarındaki okuyucular görüşlerini . iletiler. En çok yinelenen istek de, *Zamanın Kısa Tarihi*'nin, özünün korunduğu, ama en önemli kavramların daha açık, daha rahat bir şekilde açıklandığı yeni bir yorumuydu. Böyle bir kitabın *Zamanın Daha Kısa Tarihi* gibi bir başlık taşıması beklense de, yorumlardan üniversite düzeyine uygun, uzunca bir kozmoloji tezi bekleyen birkaç okuyucunun bulunduğu anlaşıyordu. Böylece şimdiki yaklaşımımız ortaya çıktı. *Zamanın Daha Kısa Tarihi*'ni yazarken ilk kitabın özünü koruduk ve genişlettik; ancak bunu yaparken uzunluğuna ve okunabilirliği-ne de özen gösterdik. Bu gerçekten daha kısa bir tarih, ama kitabın özünü oluşturan konuları daha derinlemesine irdelemekle, dışarıda bıraktığımız bazı teknik konuların telafinin de ötesinde bir iş yaptığımızı düşünüyoruz.

Ayrıca, yeni kuramsal ve gözlemsel sonuçları ekleyerek kitabı güncelleme fırsatı bulmuş olduk. *Zamanın Daha Kısa Tarihi*, fizik kuvvetlerini birleştiren eksiksiz bir kuramın bulunmasıyla ilgili son gelişmeleri de anlatıyor. Özellikle sicim kuramında meydana gelen gelişmeleri ve fizik kuramlarının birliğine işaret eden görünürde farklı kuramların benzerliklerini ya da "ikiliğini" anlatıyor. Gözlemsel açıdan, *Cosmic Background Explorer* (COBE) ve Hubble Uzay Teleskopu tarafından yapılan yeni ve önemli gözlemleri de kitapta bulacaksınız.

Kırk yıl kadar önce Richard Feynman, "Hâlâ keşifler yapılan bir çağ-

da yaşadığımız için şanslıyız. Tıpkı Amerika'nın keşfi gibi; bir kereden fazla keşfedilmez. Çağımız, doğanın temel yasalarının keşfedildiği çağdır" demişti. Bugün, evrenin doğasını anlamaya her zamankinden daha yakınız. Bu kitabı yazma amacımız, bu keşiflerin ve sonuçta ortaya konan yeni gerçeklik tablosunun heyecanını paylaşmaktır.

Evreni düşünmek

Tuhaf ama harika bir evrende yaşıyoruz. Evrenin yaşını, büyüklüğünü, gücünü ve güzelliğini kavramak olağanüstü bir hayal gücü gerektiriyor. Görünen o ki bu uçsuz bucaksız kozmista biz insanların kapladığı yer, epey önemsiz. Ve biz onu bütünüyle anlamaya, ona nasıl uyum sağladığımızı öğrenmeye çalışıyoruz. Onlarca yıl önce tanınmış bir bili-madamı (bazıları onun Bertrand Russell olduğunu söyler) astronomi üzerine herkese açık bir konferans veriyordu. Dünya'nın Güneş'in çevresinde, Güneş'in de galaksimiz denilen uçsuz bucaksız yıldızlar kümesinin merkezindeki yörüngesinde dönuşünü anlatır. Konferansın sonunda, salonda en arkalarda oturan ufak tefek yaşlı bir kadın yerinden kalkar ve "Bütün bu anlattıklarınız saçmalık. Aslında dünya, dev bir * kaplumbağanın sırtında duran düz bir tepsi" der. Bilimadamı kibirle gülmser ve, "Peki kaplumbağa neyin üstünde duruyor?" diye sorar. "Sen çok zekisin genç adam, çok zeki" der yaşlı kadın. "Ama onun altında da hep kaplumbağalar var!"

Artık günümüzde, evrenin sonsuz bir kaplumbağa kulesi olduğunu düşünmek pek çoğumuza saçma geliyor. Peki, daha iyi bildiğimizi düşünmemizin nedeni ne? Bir dakikalığına uzayla ilgili bildiklerinizi ya da bildiğinizi sandığınız şeyleri unutun. Sonra da gece gökyüzüne bakın. Bütün o ışıktı noktaların sizin için ne? Ufacık ateşler mi? Gerçekte ne olduklarını hayal etmek çok zor, çünkü onların gerçekten ne oldukları sıradan deneyimlerimizin ötesindedir. Düzenli bir biçimde yıldızları gözliyorsanız, alacakaranlıkta ufka yakın, asılıymış gibi duran o benzersiz ışığı görmüş olabilirsiniz. O bir gezegen, Merkür, ama bizim gezegenimiz hiç benzemez. Merkür'de bir gün, gezegen yılının üçte ikisi kadar sürer; yüzey ısısı güneş varken 400°C'nin üzerindedir ve gece neredeyse -200°C'ye düşer. Ancak gezegenimizden ne kadar farklı olsa da, Merkür'ü her saniye milyarlarca kilo maddenin yandığı, merkezinde ısının onlarca milyon derecelere ulaştığı tipik bir yıldız gibi düşünmek çok zordur.

Hayali yine çok zor olan bir başka şey de gezegenlerin ve yıldızların gerçekte ne kadar uzakta olduklarıdır. Eski Çin'de yıldızlara daha yakın-

dan bakabilmek için taş kuleler inşa edilmişti. Gezegenleri ve yıldızları gerçekte olduklarından çok daha yakınmışlar gibi düşünmek doğal; nihayetinde günlük yaşamımızda uzaydaki muazzam mesafeleri göremiyoruz. Bunlar o kadar büyük mesafeler ki, genelde kullandığımız kilometre ya da mil hesabına vurmak bir anlam taşımıyor. Bunların yerine, ışığın bir yılda kat ettiği mesafe olan ışık yılım kullanıyoruz. Bir ışık demeti bir saniyede 186 000 mil mesafe kat ediyor, yani bir ışık yılı çok çok uzun bir mesafe. Güneşimizin dışında bize en yakın yıldız olan Proxima Erboğa (*Alpha Centauri C* olarak da biliniyor) gezegenimizden dört ışık yılı uzaklıkta. Bu öylesine büyük bir uzaklık ki, tasarlanmış en hızlı uzay gemisiyle bile oraya ulaşmak yaklaşık on bin yıl sürer.

Eski insanlar evreni anlamak için çok çabaladılar, ancak o zamanlarda ne matematiğimiz ne de bilimimiz gelişmişti. Bugün çok güçlü araçlara sahibiz; bilimsel yöntemler ve matematik gibi akla dayalı araçlarımız, bilgisayar ve teleskop gibi teknolojik araçlarımız var. Bu araçlarla bilimadamları uzaya ilgili pek çok bilgiyi bir araya getirdiler. Ama evren hakkında acaba gerçekte ne biliyoruz, bu bilgiye nasıl ulaşıyoruz? Evren nereden geldi? Nereye gidiyor? Evrenin başlangıcı var mı, eğer varsa, öncesinde ne oldu? Zamanın doğası nedir? Zaman sona erecek mi? Zamanda geçmişe gidilebilir mi? Son zamanlarda fizikteki buluşlar, bir ölçüde de yeni teknolojiler, eski soruların bazılarını yanıtlar öneriyor. Bir gün bu yanıtlar, ya Dünya'nın Güneş'in çevresinde döndüğü gibi açık ve anlaşılır ya da kaplumbağa kulesi gibi saçma olacak. Yalnızca zaman (o da her neyse) bunu gösterecek.

2 Geliştirilmiş

evren tanımımız

Kristof Kolomb'un yaşadığı dönemde dünyanın düz olduğunu düşünen insanlara sıkça rastlansa da (hatta bugün bile böyle düşünen birkaç insan bulabilirsiniz), çağdaş astronominin köklerini Eski Yunan'a kadar uzatabiliriz. Yaklaşık MÖ 340'larda Yunanlı filozof Aristoteles *Göküztü Üzerine* adlı bir kitap yazdı. Bu kitabında Aristoteles, Dünya'nın düz değil, yuvarlak olduğuna dair inandırıcı savlar ileri sürdü.

Bu savlardan biri Ay tutulmalarıyla ilgiliydi. Aristoteles tutulmalara, Güneş ile Ay'ın arasına giren Dünya'nın neden olduğunu anlamıştı. Bu olduğunda Dünya'nın gölgesi Ay'ın üzerine düşüyor ve tutulmaya neden oluyordu. Aristoteles Dünya'nın gölgesinin daima yuvarlak olduğunu fark etmişti. Bu ancak Dünya küre biçimindeyse mümkündü, yassı bir disk biçimindeyse mümkün değildi. Eğer Dünya yassı bir disk olsaydı Dünya'nın gölgesinin yuvarlak olabilmesi için , tutulma sırasında Güneş'in bu diskin merkezinin altında olması gerekirdi. Tam altında olmadığında ise gölge, bir elips biçiminde (elips uzatılmış bir dairedir) olabilirdi ancak.

Yunanlıların Dünya'nın yuvarlak olduğuna dair bir savı daha vardı. Dünya düz olsaydı, ufuk çizgisindeki bir gemi önce küçük, şekilsiz bir nokta olarak görünürdü. Gemi yaklaştıkça yelkenleri ve gövdesi gibi ayrıntılar yavaş yavaş görülebilirdi. Ancak olan bu değil. Ufukta bir gemi belirdiğinde, ilkin yelkenlerini görürüz. Daha sonra gövdesini. Aslında geminin gövdesinden yukarıya uzanan direklerin, ufukta beliren geminin görünen ilk parçası olması, Dünya'nın top gibi yuvarlak oluşunun kanıtıdır.

Eski Yunanlılar gece gökyüzünde de çok ilgilendiler. Aristoteles dönemine gelindiğinde, insanlar yüzlerce yıldır gece göğünde ışıkların hareketini kaydetmişti. Gözlemlerine göre beşi dışında (Ay'ı saymıyoruz) binlere varan ışık gökyüzünde birlikte hareket ediyordu. Kimi zaman doğu-batı güzergahında hareket ediyorlar, sonra aynı yoldan dönüyorlardı. Bu ışıklara, "gezgin"ın Yunancası olan *planet* adı verildi. Yunanlılar ancak beş gezegeni gözlemleyebildi, çünkü çıplak gözle sadece bu beş gezegen: Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn görülebiliyordu.



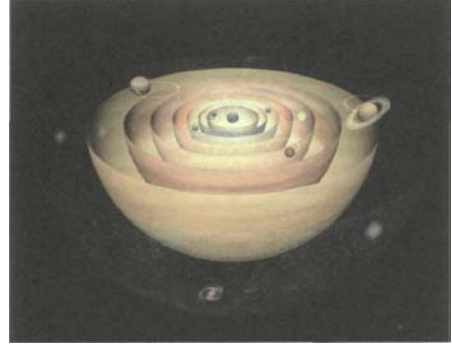
Ufuktan geliş.

Dünya yuvarlak olduğu için, ufukta beliren bir geminin direği ve yelkenleri, gövdesinden önce görünür.

Bugün gezegenlerin gökyüzünde izledikleri farklı güzergâhın nedenini biliyoruz; Güneş sistemimize kıyasla yıldızların hareketi güçlüğüle seziildiğinden Güneş'in yörüngesindeki gezegenlerin gece göğündeki hareketi, uzak yıldızlarınkinden daha karmaşıktır.

Aristoteles Dünya'nın hareketsiz olduğunu, Güneş'in, Ay'ın ve gezegenlerin Dünya'nın etrafında, dairesel bir yörüngede döndüklerini düşünüyordu. Mistik nedenlerle Dünya'nın evrenin merkezi olduğuna, dairesel hareketin ise mükemmelliğine inanıyordu. MS II. yüzyılda bir başka Yunanlı, Ptolemaios bu düşünceyi, gökyüzünün eksiksiz bir modeline dönüştürdü. Ptolemaios büyük bir tutkuyla çalışıyordu. "İç içe girmiş yıldız kümelerinin dairesel hareketlerini keyifle izlerken" diye yazmış, "ayakların yerden kesiliyor."

Ptolemaios'un modeline göre Dünya, dönüp duran sekiz küreyle kuşatılmıştı. Her küre, tıpkı iç içe geçen Rus oyuncak bebekleri gibi, bir öncekinden büyüktü. Dünya kürelerin merkezindeydi. Son kürenin dışında ne olduğu, net bir biçimde hiç açıklanamadıysa da insanın gözlemleyebildiği evrenden farklı olduğu kesindi. Yani en dıştaki küre ev-



Ptolemaios'un modeli.

Ptolemaios'un modelinde evrenin merkezindeki Dünya, bilinen bütün gök cisimlerini taşıyan sekiz küreyle kuşatılmıştır.

renin bir tür sınırı ya da taşıyıcısıydı. Bu küredeki yıldızların yeri sabitti; böylece küre döndüğünde, karşılıklı aynı konumda kalan yıldızlar, gökyüzünde hep birlikte, grup olarak dönuyorlardı, aynı gözlemlediğimiz gibi. iç küreler gezegenleri taşıyordu. Bunların, yıldızlar gibi kürelerinde sabit bir yerleri yoktu; kürelerin üzerindeki *ilmek* denilen daha küçük çemberlerin içinde dönuyorlardı. Gezegenleri taşıyan küreler dönerken, gezegenler de kendi küreleriyle dönuyor ve Dünya'ya göre karmaşık bir yol izliyorlardı. Böylece Ptolemaios, gezegenlerin gözlemlenen yörüngelerinin, gökyüzünü bir baştan bir başa geçen basit dairesel hareketlerden çok daha karmaşık olduğunu açıklayabilirdi.

Ptolemaios'un modeli sayesinde, gökssel cisimlerin konumlarını önceden kestirebileceğimiz doğruya yakın bir sistem oluşturulabilirdi. Ancak Ptolemaios, konumlarını doğru hesaplayabilmek için, Ay'ın Dünya'ya iki kat daha yakın bir yörüngeyi zaman zaman izlediğini varsaymak zorunda kalmıştı. Yani bu konumda Ay'ın, diğer dönemlere göre iki kat büyüklükte görünmesi gerekiyordu! Ptolemaios da bu hatayı görmüştü, ama yine de bu model evrensel olmasa bile, genel bir kabul gördü. Bu model, sabit yıldızlar küresinin dışında cennet ve cehennem fazlasıyla yer bıraktığı için kutsal metinlerle uyumlu bir evren görüşü olarak Hristiyan Kilisesi tarafından da benimsendi.

Bir başka model 1514 yılında, Polonyalı bir papaz olan Kopernik tarafından öne sürüldü. (Başlangıçta, belki de Kilisesi tarafından sapkınlıkla suçlanmaktan korktuğu için Kopernik modelini isimsiz olarak yayımladı.) Kopernik'in devrimci düşüncesine göre göksek cisimlerin tümünün Dünya'nın etrafında dönmeye gerekmiyordu. Aslında o, Güneş'in Güneş sisteminin merkezinde sabit durduğunu, Dünya'nın ve diğer gezegenlerin dairesel yörüngelerinde Güneş'in etrafında döndüğünü düşünüyordu. Ptolemaios'un modeli gibi, Kopernik'in modeli de başarılıydı; ama gözlemi aynı ölçüde mükemmel değildi. Ptolemaios'un modelinden daha basit oluşu, Kopernik'in modelinin insanlar tarafından kabulünün kolay olacağını düşündürtebilir. Ancak onun modelinin ciddiye alınması için bir yüzülya yakın bir zamanın geçmesi gerekti. Daha sonra iki astronom, Alman Johannes Kepler ve İtalyan Galileo Galilei, Kopernik'in kuramını açıkça savundular.

1609 yılında Galileo, icadı çok yeni olan teleskopla gece gökyüzünü gözlemlemeye başladı. Jüpiter gezegenine baktığında, çevresinde dönen birkaç küçük uyduyu ya da aylan gördü. Bu da, Aristoteles'in ve Ptolemaios'un düşündüğü gibi olmadığını, her şeyin doğrudan Dünya'nın çevresinde döndüğünü gösteriyordu. Bu sırada Kepler, gezegenlerin izlediği yörüngelerin daire değil elips biçiminde olduğunu öne sürerek Kopernik'in kuramını geliştiriyordu. Bu değişikliklerle birlikte kuramın hesaplamaları gözlemlerle uyumaya başladı. Bütün bunlar, Ptolemaios'un modeline ölümcül darbeler indirdi.

Elips biçiminde yörünge düşüncesi Kopernik'in modelini geliştirse de, Kepler bu varsayımların kısa ömürlü olduğunu düşünüyordu. Çünkü Kepler, doğa hakkında herhangi bir gözleme dayanmayan öngarılarla sahipti; tıpkı Aristoteles gibi, elipsin daire kadar mükemmel olmadığına inanıyordu. Gezegenlerin böylesine mükemmel olmayan bir yörüngeyi izlediği fikri, çok çirkin, nihai bir gerçeklik olarak Kepler'i sarstı. Kepler'i rahatsız eden bir başka şey de, yine kendi düşüncesine olan, gezegenlerin Güneş'in çevresinde dönmelerini manyetik bir gücün sağladığı fikri ile elips yörüngeyi bağdaştıramamasıydı. Kepler, gezegenlerin yörüngesini manyetik güçlerin oluşturduğu konusunda yanlışmış olsa bile, hareketin gerisindeki gücün varlığını fark etmesi önemlidir. Gezegenlerin niçin Güneş'in etrafında döndüğüyle ilgili doğru açıklama çok daha sonra, 1687'de Sir Isaac Newton tarafından yapıldı; yayımladığı *Philosophiae naturalis principia mathematica* belki de fizik bilimleri alanında yayımlanan en önemli çalışmadır.

Principia'da Newton, hareketsiz cisimlerin, bir kuvvet etkilemedikçe hareketsizliğini koruyacağını belirten yasayı açıkladı ve kuvvetin etkisinin cisimleri nasıl harekete geçirdiğini ya da cismin hareketini nasıl değiştirdiğini anlattı. Öyleyse gezegenler niçin Güneş'in etrafında elips bir yörüngede dönyordu? Newton bunun nedeninin belirli bir

kuvvet olduğunu söyledi ve bir cismin bırakıldığında hareketsiz kalmayıp düşmesinin nedeninin de aynı kuvvet olduğunu savundu. Newton bu kuvvete *gravity* (kütçekimi) adını verdi (onadan önce *gravity* sözcüğü ciddi bir ruhsal durumu ya da bir ağırlığın niteliğini belirtmek için kullanılırdı). Ayrıca kütçekimi gibi bir kuvvetin etkisinde kalan cisimlerin nasıl tepki verdiklerini sayısal olarak gösteren matematiği de geliştirdi ve ortaya çıkan denklemleri çözdü. Böylece -aynen Kepler'in daha önce söylediği gibi- Dünya'nın ve diğer gezegenlerin Güneş'in kütçekimi kuvveti yüzünden elips yörüngede hareket etmek zorunda olduğunu gösterdi; Newton bu yasanın yere düşen bir elmadan, yıldızlara ve gezegenlere kadar bütün evrene uygulanabileceğini savundu. Tarih boyunca ilk kez biri gezegenlerin hareketini, yeryüzündeki hareketleri de belirleyen yasalarla açıklıyordu; bu hem çağdaş fiziğin hem de çağdaş astronominin başlangıcı oldu.

Ptolemaios'un küreler kuramı geçerliliğini yitirince, en dıştaki kürenin evrenin doğal sınırı olduğu varsayımının dayanağı da kalmadı. Bunun dışında, Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönuştü yüzünden gökyüzünü boydan boya geçiyormuş gibi görünse de konumları değişmeyen yıldızların, Güneşimize benzeyen, ama çok daha uzaktaki cisimler olduğu varsayımı da doğal olarak kabul edildi. Dünya'nın evrenin merkezi olduğu fikri dışında Güneşimizin, belki de Güneş sisteminizin kozmostaki benzersizliği fikrinden de vazgeçiyorduk. Dünya'ya bakıştaki bu farklılaşma, insan düşüncesinde temel bir değişime neden oldu ve evrene modern bilimin kavrayışıyla bakmaya başladı.

Bilimsel bir kuramın doğası

Evrenin doğasıyla ilgili konuşmak, evrenin başlangıcı veya sonu var mı yok mu tartışabilmek için bilimsel kuramın ne olduğunu açıklıkla bilmek gerekiyor. Bir kuramın, evrenin bir modelinden ya da sınırlı bir bölümden ve modelin niceliklerini gözlemlerimizle bağlantılandıran bir kuralları dizisinden başka bir şey olmadığını kabulüne dayalı basit bir yaklaşıma göre hareket edeceğiz. Kuram yalnızca zihnimizdedir ve başka bir gerçekliği (bunun dışında herhangi bir anlamı) yoktur. Bir kuram, eğer şu iki şart varsa iyi bir kuramdır: Hem yalnızca birkaç öznel unsuru içeren bir model temel olarak yapılan gözlemlerin büyük bir bölümünü doğru bir biçimde tanımlamalı hemde daha sonra yapılacak gözlemlerin sonuçlarına ilişkin kesin kestirimlerde bulunmalı. Örneğin Aristoteles, Empedokles'in her şeyin dört unsurdan, toprak, hava, ateş ve sudan oluştuğunu ileri süren kuramına inanmıştı. Yeterince basitti, ama geleceğe dair kesin bir kestirimde bulunmuyordu. Öte yandan, Newton'un kütleçekimi kuramı daha da basit bir modele dayanıyordu; cisimler kütle denilen nicelikleriyle doğru orantılı; aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı bir güçle birbirlerini çekerler. Ancak bu kuram, Güneş'in, Ay'ın ve diğer gezegenlerin hareketlerini doğrultuk payı yüksek bir biçimde saytılabiliyordu.

Fiziksel kuramlar, birer varsayım olmaları bakımından daima geçicidir, asla kanıtlanamazsınız. Deneylerin sonuçları kuramla ne kadar uyumlu çıkarsa çıksın, bir sonraki sonucun kuramla çelişmeyeceğinden emin olamazsınız. Ayrıca, kuramın kestirimleriyle çelişen tek gözlemle bile kuramı çürütebilirsiniz. Bilim felsefesi Kari Popper'a göre iyi bir kuram, ilkesel olarak çürütülebilecek veya gözlemlerle yanlışlığı kanıtlanabilecek bir dizi kestirimde bulunabilecek nitelikte olmalıdır. Yeni deneylerin kestirimlerle uyuştugu gözlemlendikçe kuram ayakta kalmaya devam eder, ancak kuramla çelişen yeni bir gözlem, o kuramı bir kenara atmamızı ya da değiştirmemizi gerektirir.

En azından olması gereken buyusa da gözlemi yapan kişinin yeterliliği her zaman sorgulanabilir.

Uygulamada genellikle yeni tasarlanan kuram, aslında bir önceki kuramın uzantısıdır. Örneğin Merkür gezegeninin büyük bir özenle yapılan

gözlemleri, gezegenin hareketleri ile Newton'un kütleçekimi kuramının kestirimleri arasındaki küçük bir farkı ortaya çıkardı. Einstein'ın genel görelilik kuramı, Newton'un kuramından biraz daha farklı bir mekanizmayı öngörüyordu. Aslında gözlemlerle Newton'un kuramının değil de Einstein'ın kuramının uyuşması, yeni kuramı doğrulayan önemli bir unsurdur. Ancak Newton'un kuramını, ilgilendiğimiz her zamanki durumlarda genel görelilik kuramının sonuçlarından çok küçük farklılıklar gösterdiğinden uygulamada hâlâ kullanıyoruz. (Newton'un kuramının Einstein'ın kuramına göre üstünlüğü çok daha basit oluştu!)

Bilimin nihai amacı, evreni tümtüyle tanımlayan tek kuramı oluşturmaktır. Yine de çoğu bilimcinin gerçekte izlediği yol, sorunu ikiye böler, ilki, bize evrenin zamanla nasıl değiştiğini belirten yasalardır. (Evrenin herhangi bir dönemde nasıl olduğunu biliyorsak, burada geçerli fizik yasaları daha sonraki bir dönemde evrenin nasıl olacağını haber verir.) İkincisi, evrenin başlangıcıyla ilgili sorudur. Bazı insanlar bilimin sadece birinci bölümle ilgilenmesi gerektiğini düşünür; evrenin başlangıcıyla ilgili soruyu metafiziğin ya da dinin konusu olarak görürler. Onlara göre her şey gücü yeten Tanrı, evrenin başlangıcını istediği gibi şekillendirebilir. Böyle olabilir, ama bu durumda Tanrı, evreni tümtüyle keyfi bir yolda gelececek biçimde tasarlayabilirdi. Ancak öyle görünüşte ki Tanrı, evrenin belli yasalar uyarınca, çok düzenli bir şekilde yavaş yavaş gelişmesini tercih etmiş. Bu durumda, evrenin başlangıcını da yöneten yasaların olabileceğini varsaymak, aynı ölçüde akla yakın görünüyordu.

Evreni açıklayacak tek kuramı tasarlanamamış çok olduğu ortada. Bunun yerine, sorunu parçalara ayırıyor, birinden fazla kısmı kuram buluyoruz. Bu kısmi kuramların her biri gözlemin sınırlı bir bölümünü tanımlar ve kestirimde bulunurken, diğer niceliklerin etkilerini göz ardı eder ya da onları basit sayı kümeleriyle ifade eder. Bu yaklaşım tümtüyle yanlış olabilir. Evrendeki her şey temelde diğerlerine bağlıysa, sorunun bölümlerini birbirinden ayırarak incelemek, tam bir çözüme ulaşmayı olanaksız kılabılır. Yine de geçmişte kaydedilen gelişmelerin yöntemi kesinlikle buydu. Yine klasik örneğe, bize, iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin, cisimleri oluşturan maddeden bağımsız olarak, yalnızca kütlelerine bağlı olduğunu belirten Newtoncu kütleçekimi kuramına bakalım. Yani, yörüngelerini hesaplamak için Güneş'in ve gezegenlerin yollarına ve oluşumlarına dair kuramlara ihtiyacımız yok.

Güntümüzde bilimsel evreni iki temel kısmi kuramla açıklıyorlar; genel görelilik kuramı ve kuantum mekaniği. Bu iki kuram, XX. yüzyılın ilk yarısının büyük entelektüel başarılarıdır. Genel görelilik kuramı kütleçekimi kuvvetini ve evrenin büyük ölçekteki yapısını -yani, sadece birkaç milden başlayan, evrenin gözlemlenebilir büyüklüğü olan milyon kere milyon (1'den sonra yirmi dört sıfır) mile kadar uzanan ölçek-



Atomlardan galaksilere.

XX. yüzyılın ilk yarısında fizikçiler kuramlarını, Isaac Newton'un günlük dünyasından, evrenimizin hem en küçük hem de en büyük sınırlarına kadar genişlettiler.

sel yapıyı- ifade eder. Öte yandan kuvantum mekaniği, bir incin (2,54 cm) milyonda birinin milyonda biri gibi olağanüstü küçük ölçeklerdeki fenomenlerle ilgilenir. Ancak ne yazık ki, bu iki kuramın birbirleriyle çeliştiği bilinmektedir, ikisi birden doğru olamaz. Günümüzde fiziğin başlıca uğraşı ve bu kitabın asıl konusu, her ikisini de kapsayacak yeni bir kuram - kütteleğiminin kuvantum kuramı- aramaktır. Henüz böyle bir kuramımız yok ve gerçekleştirmek için kat edeceğimiz yol muhtemelen hâlâ çok uzun, ancak kuramda olması gereken pek çok özelliği şimdi den biliyoruz. Sonraki bölümlerde göreceğimiz gibi, kütteleğiminin kuvantum kuramının keşitirmleri hakkında da epeyce şey biliyoruz.

Şimdi, evrenin keyfi değil, belirli yasalarla yönetildiğine inanıyorsanız, kısmi kuramları, evrende olan her şeyi açıklayabilecek tam bir kuram oluşturmak üzere, nihai olarak birleştirirmeniz gerekiyor. Ancak böylesine eksiksiz ve birleştirilmiş bir kuram arayışında temel bir karşıtlık söz konusu. Ana hatlarını çizdiğimiz bilimsel kurama ilişkin tasavvur, bizim evreni istediği gibi gözlemlemekte ve gördüklerimizden mantıksal sonuçlar çıkarmakta özgür ve akil sahibi varlıklar olduğumuzu varsayıyor. Böyle bir düzende, evrenimizi yöneten yasalara gittikçe yaklaşıp ilerleme kaydedeceğimizi varsaymak mantıklıdır. Ancak, gerçekten tam bir birleşik kuram varsa, bu kuramın eylemlerimizi de belirleyeceğini varsayabiliriz, yani bizzat kuram, onu arayışımızın sonuçlarını da belirleyecektir! Öyleyse, kanıtlardan doğru sonuca var-

mamız neden amaçlansın ki? Aynı şekilde yanlış sonuçlara varmamız amaçlanmış olamaz mı? Ya da hiçbir sonuca varmamamız?

Bu soruna verilebilecek tek yanıt, Darwin'in doğal ayıklanma ilkesine dayanmaktadır. Bu ilkeye göre, kendi kendine çoğalan organizmaların bulunduğu her toplulukta, farklı bireylerin kalıtsal özelliklerinde ve yetişmelerinde değişiklikler olacaktır. Bu farklılıklar, bazı bireylerin onları çevreleyen dünyayla ilgili doğru yargılara varmaya ve bunun gereğince davranmaya diğerlerinden daha yetenekli olduğu anlamını taşır. Bu bireylerin hayatta kalma ve çoğalma şansları daha yüksek olduğundan, davranış kalıpları ve düşünce biçimleri baskın olacaktır. Zekâ ve bilimsel keşiflerin geçmişte yaşımsal üstünlük sağladığı kesinlikle doğrudur. Ancak durum hâlâ böyle mi, o kadar kesin değil, bilimsel keşiflerimiz hepimizi yok edebilir, yok etmese bile, tam ve birleşik kuram hayatta kalma şansımızı pek artırmayabilir. Evrenin düzenli bir şekilde evrimleştiği düşünüldüğünde, doğal ayıklanmanın bize kazandırdığı akıl yürütme yetisinin tam ve birleşik kuramı araştırırken de önemli olacağını ve bizi yanlış sonuçlardan koruyacağını umabiliriz.

Zaten sahip olduğumuz kısmi kuramlar, çok uç durumlar dışında doğru keşitirmlerde bulunmamıza yettiğinden, evrenin nihai kuramı için yürütülecek araştırmaları uygulama alanında doğrulamak çok zor görünüyor. (Benzer savlar, bize nükleer enerjiyi ve mikroelektronik devrimi getiren hem görelilik, hem de kuvantum mekaniğine karşı kullanılabilir.) Tam ve birleşik kuramı bulmak türümüzün hayatta kalmasını sağlayamayabilir. Hatta yaşam tarzımızı bile etkilemeyebilir. Ancak uygarlığın şafağına yaşamış olan insanlık, bağlantısı ve açıklanması zor olaylar görmekten hoşlanmıyor. Dünyanın temelinde yatan düzeni anlamayı çok istiyoruz. Bugün bile neden burada olduğumuzu ve nereden geldiğimizi bilmeye can atıyoruz. İnsanlığın bilgi için duyduğu bu en derinden arzusu, sürekli arayışımız için yeterli gerekçeyi sağlıyor. Amacımız, içinde yaşadığımız evreni eksiksiz olarak tanımlamaktan başka bir şey değil.

Newton'un evreni

Güntümüzün kütlelerin hareketine ilişkin düşüncesi Galileo ve Newton'a dayanır. Onlardan önce, hareketsizliğin kütlenin doğal durumu olduğunu, ancak bir kuvvet ya da itkiyle hareket geçebileceğini söyleyen Aristoteles'e inanılıyordu. Onun düşüncesine göre ağır bir cisim, hafif olan cisimden daha hızlı düşmeliydi, çünkü yere doğru çekimi daha güçlüydü. Aristotelesçi geleneğe göre, evreni yöneten yasalar salt düşünce yoluyla kavranabilirdi, gözlem yoluyla doğrulanmalarına gerek yoktu. Böylece Galileo'ya gelinceye kadar değişik ağırlıktaki cisimler, gerçekten de farklı hızlarda mı düşüyor araştırma zahmetine bile girilmedi. Galileo'nun İtalya'daki eğik Pisa Kulesi'nden ağırlıklar atarak Aristoteles'in inancının yanlış olduğunu kanıtladığı söylenir. Bu öykünün yutturma olduğu kesine de, Galileo buna eşdeğerde bir şey yaptı; değişik ağırlıktaki topları pürüzsüz, eğik bir yüzeyde yuvarladı. Durum, ağır cisimlerin dikey olarak düşmesine benzemekle beraber topların hızı az olduğu için gözlenmesi daha kolaydı. Galileo'nun ölçümleri, ağırlığı ne olursa olsun her cismin aynı ölçüde hızlandığını göstermiştir. Örneğin, her on metrede bir metre alçalan bir eğimde topu bıraktığımızda, bir saniye içinde top yaklaşık bir metre yuvarlanır, iki saniye sonra saniyede yaklaşık iki metre yuvarlanır, top ne kadar ağır olursa olsun bu böyle devam eder. Elbette kurşun ağırlık bir tüyden daha hızlı düşer, ama bunun tek nedeni hava direncinin tüyü yavaşlatmasıdır. Hava direncinin az olduğu iki cismi, örneğin farklı ağırlıktaki iki kurşunu bıraktığımızda, aynı hızda düşer. (Neden böyle olduğunu kısaca göreceğiz.) Cisimleri yavaşlatacak havanın bulunmadığı Ay'da, astronot David R. Scott tüy ve kurşun ağırlık deneyini yapmış; gerçekten de aynı anda yere düştüklerini görmüştür. Newton, Galileo'nun ölçümlerini, hareket yasalarında temel almıştır. Galileo'nun deneylerinde, eğimden yuvarlanan cisim daima aynı kuvvetin (kendi ağırlığının) etkisiyle hareket ediyordu ve bunun sonucunda hızı sürekli olarak artıyordu. Bu durum kuvvetin gerçek etkisinin, daha önce düşünüldüğü gibi cismi harekete geçirmekle kalmayıp, hızını da değiştirdiğini gösteriyordu. Ayrıca bu, cisim bir kuvvetin etkisiyle hareket etmi-

yorsa, düz bir çizgi üzerindeki hareketini aynı hızda sürdüreceği anlamına da geliyordu. Açık bir şekilde ilk kez 1687'de *Principia mathematica*'da açıklağı bu düşünce, Newton'un ilk yasası olarak tanındı. Bir kuvvetin etkisiyle hareket eden cisme ne olduğu, Newton'un ikinci yasası oldu. Bu yasaya göre cisim kuvvette doğru orantılı olarak hızlanır ya da hızını değiştirir. (Örneğin, kuvvet iki katına çıktığında hız da iki kat artar.) Cismen kütlesi (ya da maddenin niceliğı) artarsa, cismen hızı azalır. (Aynı kuvvetin, kütlesi iki kat fazla olan cisimde yaratacağı hız yarı yarıyadır.) Araba örneğini yakından biliyoruz; motor ne kadar güçlüyse araba o kadar çabuk hızlanır; ancak aynı motora sahip daha ağır bir arabanın hızlanması daha yavaştır.

Newton'un kütleçekimi kuramı, cisimlerin kuvvette nasıl tepki gösterdiğini tanımlayan hareket yasalarına ek olarak, belirli bir kuvvetin, kütleçekimi kuvvetinin gücünü nasıl belirlediğini de açıklar. Dedğimiz gibi, bu kurama göre her cisim diğer bir cismi kütleleriyle doğru orantılı bir güçle çeker. Yani, cisimlerden birinin kütlesi (A cismen diyelim) iki katma çıkarsa, iki cismen arasındaki kuvvet de iki katına çıkar. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü bu yeni A cismen, her biri başlangıçtaki kütleyle sahip iki cismenden oluştuğu düşünülebilir. Her iki A cismi, B cismeni başlangıçtaki kuvvette çeker. Böylece A ve B cisimleri arasındaki kuvvet başlangıçtaki iki katı olur. Diyelim ki cisimlerden birinin kütlesi altı kat fazla ya da biri iki kat, diğer de üç kat kütleyle sahip; bu durumda aralarındaki kuvvet altı kat güçlü olacaktır.



Birleşik cisimlerin kütleçekimi kuvveti. Bir cismen kütlesi iki katına çıktığında, kütleçekimi kuvveti de iki kat artar.

Şimdi bütün cisimlerin neden aynı hızla düştüğünü anlayabilirsiniz. Newton'un kütleçekimi yasasına göre kütleli iki kat ağır olan bir cismin yere çekilme kuvveti de iki kat fazla olacaktır. Ancak, kütleli iki kat fazla olduğu için Newton'un ikinci yasasına göre her kuvvet birimi basma hızı yan yarıya azalacaktır. Newton yasalarına göre bu iki etki birbirini götürceği için hız, ağırlık ne olursa olsun aynı kalacaktır.

Newton'un kütleçekimi yasası, birbirinden uzaklaşan cisimlerin çekim güçlerinin azalacağını da söyler. Yasaya göre bir yıldızın kütleçekimi kuvveti, yarı uzaklıktaki benzeri bir yıldızın tam olarak dörtte biri kadardır. Bu yasayla Dünya'nın, Ay'ın ve gezegenlerin yörüngeleri büyük bir doğrulukla hesaplanabilir. Bir yıldızın kütleçekimi kuvveti uzaklığa göre artsa ya da azalsaydı, gezegenlerin yörüngesi elips olmazdı; sarmal bir yörüngeyle ya Güneş'e doğru giderler ya da Güneş'ten uzaklaşırlardı.

Aristoteles'in düşüncesi ile Galileo'nun ve Newton'un düşünceleri arasındaki büyük fark, Aristoteles'in, iten bir kuvvet veya bir dürtü olmadıkça cismin hareketsiz kalacağına inanmasıydı. Özellikle de Dünya'nın hareketsiz olduğunu düşünüyordu. Ancak Newton yasalarının ortaya koyduğu gibi, öyle eşsiz bir hareketsizlik düzeyi yoktur. A cismi hareketsizken B cisminin sabit bir hızla A cismine doğru gittiği söylenebileceği gibi, B cisminin hareketsiz olduğu ve A cisminin hareket ettiği de söylenebilir. Örneğin, Dünya'nın kendi etrafında ve Güneş'in etrafında dönüşü bir yana bırakırsak ya Dünya hareketsiz ve bir tren saatte doksam mil hızla kuzeye gidiyor ya da tren duruyor ve Dünya saatte doksam mil hızla güneye gidiyor diyebiliriz. Deneyleri trenin içinde hareket eden cisimlerle yaptığımızda bu bütün Newton yasaları geçerliliklerini korur. Newton mu haklı, yoksa Aristoteles mi; bunu nasıl söyleyebilirsiniz?

Şöyle bir sinama yapabiliriz: Diyelim ki bir kutunun içinde kapalımsız ve kutu hareket eden bir trenin zemininde mi yoksa yerde mi bilmiyorsunuz. Kutunun yerde olduğu düşünürüz, (tren yolculuğu sırasında hiç sarsıntı, dönüşün ya da bir rahatsızlığın olmadığını varsayıyoruz) "sabit" duran tren istasyonunda kutunun içinde nasılansız, hareket eden trenin içinde de durumunuz aynı olacaktır. Trende pingpong oynadığınızda topun, rayların kenarında duran pingpong masasındaki gibi hareket ettiğini görürsünüz. Yine tren ve kutunuzun içinde pingpong oynadığınızı düşünelim; tren Yer'e göreli olarak saatte sıfır, elli ve doksam mil hızla yol alsın, her durumda topun hareketi aynı olacaktır. Dünya'nın hareketi böyledir ve Newton yasalarının matematiği bu şekilde yansır: Dünya'nın mı, yoksa trenin mi hareket etti-



Uzaklığın görelliği. Bir nesnenin uzaklığı -ve aldığı yol- farklı gözlemlere farklı görünürler.

gini söylemenin hiçbir yolu yoktur. Hareket kavramı, ancak diğer nesnelerle ilişkili olarak bir anlam taşır.

Aristoteles'in ya da Newton'un doğru olmasının bir anlamı var mı gerçekten? Bu yalnızca bir görüş ya da felsefi bir farklılık mı, yoksa bilim için önem taşıyan bir sorun mu? Aslında mutlak hareketsizlik halinin olmayışı fiziki derinlemesine etkiler; bu, farklı zamanlarda meydana gelen iki olay, uzayda da aynı durumda oluşuyor mu oluşmuyor mu belirleyemeyeceğimiz anlamına gelir.

Bunu anlayabilmek için, trende birinin pingpong topunu masada zıplattığını düşünün; masada zıplayan top aynı noktaya bir saniyelik aralıklarla çarpıyor olsun. Bu kişi için topun bir saniye aralıkla çarptığı yerin uzaysal aralığı sıfırdır. Ancak rayların kenarında duran biri için topun masaya çarpma aralığı yaklaşık kırk metredir, çünkü tren iki çarpma arasında bu kadar yol alır. Newton'a göre, her iki gözlemci de kendilerinin hareketsiz konumunda olduklarını söyleyebilir ve her ikisinin de görüşü aynı ölçüde kabul edilebilir. Aristoteles'in inandığı gibi, biri diğerinden üstün değildir. Olayların gözlemlendiği konumlar ve aralarındaki uzaklık, trendeki ve rayların kenarındaki insana göre değişecektir; bu nedenle birinin gözlemini diğerine tercih etmenin bir nedeni olmayacaktır.

Newton mutlak konumun ya da o zamanki deyişle mutlak uzayın yokluğu yüzünden çok endişeliydi; çünkü bu durum onun mutlak Tanrı

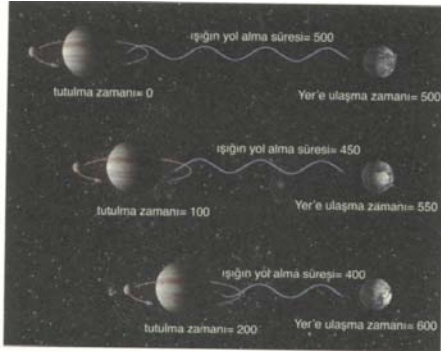
Görelilik

düşüncesiyle uyuşmuyordu. Aslında Newton, yasalarının ortaya koyduğu mutlak uzayın yokluğu düşüncesini kabul etmek istemedi. Newton bu akıldışı inancı yüzünden şiddetle eleştirildi; en dikkate değer eleştiri de bütün nesnelerin, uzayın ve zamanın bir yanılsama olduğuna inanan filozof Piskopos Berkeley'den geldi. Berkeley'in düşünceleri anlatıldığında ünlü Dr. Johnson, "Ben onu işte böyle çürütürüm!" diye bağırarak, ayak basparmağını büyük bir taşla vurmuştu.

Hem Aristoteles, hem de Newton mutlak zamana inanıyordu. Yani, iki olay arasındaki zaman aralığının kesin olarak ölçülebileceğine, iyi bir saat kullanılması koşuluyla her kim ölçerse ölçsün, aynı sonuçlara varılacağına inanıyorlardı. Mutlak uzayın tersine, mutlak zaman Newton yasalarıyla uyumluydu. Pek çok insan bunu sağduyuya uygun bir görüş olarak kabul etti. Ancak XX. yüzyılın fizikçileri, hem zaman hem de uzay hakkındaki görüşlerin değişmesi gerektiğini anladılar. Tıpkı pingpong topunun zıpladığı yerin gözlemciye göre değişmesi gibi, olaylar arasındaki zaman uzunluğunun da gözlemciye göre değiştiğini buldular. Ayrıca zamanın uzaydan tüümüyle ayrı ve bağımsız olmadığını da buldular. Bu yeni kavrayışın anahtarı, ışığın özelliklerine yeni bir bakış açısı. Bunların deneyimlerimize ters düştüğü ileri sürülebilir; ancak bizim görüşümüzde sağduyulu fikirlerimiz, emalar ya da gezegenler gibi nispeten yavaş hareket eden cisimlerde geçerli olsa da ışık hızında ya da ona yakın hızda hareket eden şeyler için geçerli değil.

Işığın sonlu olduğu ancak çok büyük bir hızla yol aldığı ilk kez 1676'da, Danimarkalı gökbilimci Ole Christensen Roemer tarafından bulundu. Jüpiter'in uydularını gözlemlediğinizde, uyduların zaman zaman görünmediğini, çünkü dev gezegenin arkasına geçtiğini fark edersiniz. Jüpiter'in uydularının düzenli aralıklarla gezegenin gölgesinde kalması gerektiğini düşünürsünüz, ancak Roemer bunların düzenli aralıklarla gerçekleşmediğini gözlemledi. Uydular yörüngelerinde dönerken bir şekilde hızlanıyor ve yavaşlıyor olabilir miydi? Roemer'in başka bir açıklaması vardı. Işık sonsuz bir hızla yol alsaydı, biz dünyadaki Jüpiter'in aylarının tutulmasını, tıpkı kozmik saatin vuruşları gibi düzenli aralıklarla, gerçekleşir gerçekleşmez izleyebilirdik. Işık herhangi bir uzaklığı bir anda geçebileceğinden, Jüpiter'in Dünya'ya yaklaşması ya da uzaklaşması bu durumu değiştirmeyecekti.

Şimdi ışığın sonlu bir hızla yol aldığı düşünün. Bu durumda tutulmaları gerçekleştiikten bir süre sonra görülebilir. Bu gecikme ışığın hızına ve Jüpiter'in Dünya'dan uzaklığına bağlıdır. Jüpiter'in Dünya'dan uzaklığı değişmeseydi, her tutulma, aynı gecikmeyle izlenecekti. Ancak Jüpiter zaman zaman dünyaya yaklaşıyor. Bu durumda, peş peşe gelen tutulmaların "sinyalleri" gittikçe azalan bir uzaklığı kat ediyorlar; yani ışık, Jüpiter'in sabit bir konumda olduğunda kat edeceği zamandan daha kısa sürede bize ulaşıyor. Aynı şekilde, Jüpiter Dünya'dan uzaklaşırken, uyduların tutulmalarını gittikçe daha geç görüyoruz. Işığın erke ya da geç ulaşmasının derecesinin, ışığın hızına bağlı oluşu bizim ışığın hızını ölçebilmemizi sağlıyor. Roemer'in yaptığı da buydu. Roemer, Dünya'nın Jüpiter'in yörüngesine yaklaştığı zamanlardan birinde, uydulardan birinin zamanından önce göründüğünü fark etti; daha sonra Dünya Jüpiter'den uzaklaşırken de aynı şeyin olduğunu gördü ve bu farkı ışığın hızını hesaplamakta kullandı. Yalnız, Dünya'nın Jüpiter'den uzaklık farkını çok doğru olarak ölçemedi; onun ışık hızı için bulduğu değer saniyede 225 000 kilometreydi, günümüzde ışık hızının saniyede 300 000 kilometre olduğunu biliyoruz. Buna rağmen Roemer'in başarısı, sadece ışığın sonlu bir hızla gittiğini kanıtlamakla kalmayıp ışığın



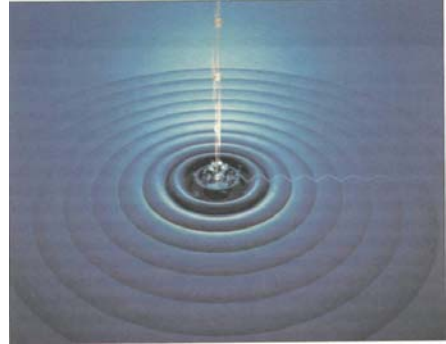
Işığın hızı ve tutulma zamanı. Jüpiter'in ayarının gözlemlenen tutulma zamanları, hem tutulmanın gerçek zamanına, hem de ışıkların Jüpiter'den Dünya'ya ulaşma süresine bağlıdır. Böylece, Jüpiter Dünya'ya doğru hareket ederken tutulmalar daha sık, Dünya'dan uzaklaşırken daha seyrek gözlemlenir. Bu etki, daha iyi görülebilmesi için burada abartılmıştır.

hızını ölçebildiği hem de bunu Newton'un *Principia mathematica*'sının yayımlanmasından on bir yıl önce yaptığı için çok önemlidir.

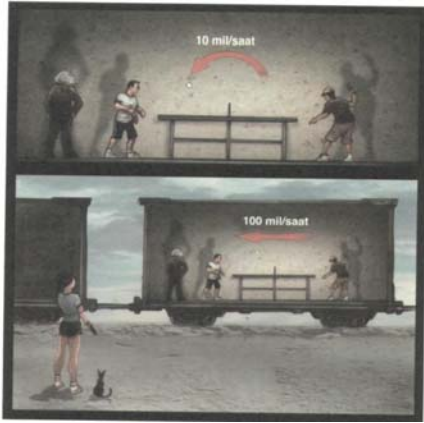
Işığın yayılmasıyla ilgili doğru kuram, ancak 1865'te, elektrik ve manyetik kuvvetleri tanımlamada kullanılan kısmi kuramları bir araya getirmeyi başaran İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell tarafından öne sürüldü. Elektrik ve manyetik kuvvetler eski dönemlerden beri biliniyor olsa da, elektrik yüklü iki cisim arasındaki gücü yöneten nicel yasalar ancak XVIII. yüzyılda, İngiliz kimyacı Henry Cavendish ve Fransız fizikçi Charles Augustin de Coulomb tarafından saptandı. Birkaç on yıl sonra, XIX. yüzyılın başlarında bazı fizikçiler aynı şekilde manyetik kuvvet yasalarını saptadı. Maxwell, elektrik ve manyetik güçlerin birbirlerine doğru hareket eden parçacıklardan kaynaklanmadığını matematiksel olarak gösterdi; her elektrik akımı ve yükü, çevrelediği uzaya bir alan yaratıyor ve bu alan, o uzaydaki her elektrik akımına ve yüküne bir kuvvet uyguluyordu. Maxwell, elektrik ve manyetik kuvvetleri tek alanın taşıdığını buldu; yani elektrik ve manyetik aynı kuvvetin ayrılmaz parçalarıydı. Buna elektromanyetik kuvvet adını verdi ve bu kuvveti taşıyan alana elektromanyetik alan dedi.

Maxwell'in denklemlerine göre elektromanyetik alanda dalgamsı karışıklıklar olabiliyordu ve bu dalgalar, tıpkı gölde yayılan halkalar gibi, sabit bir hızla yayılabilirdi. Bu hızı hesapladığında, ortaya çıkan sonuç ışığın hızıyla tam olarak aynıydı! Maxwell'in dalgaları, dalga santimetrenin kırk ve seksen milyonda bir uzunluğunda olduğunda, ışık olarak çıplak gözle görülebilir. (Bir dalga birbirini izleyen tepe ve çukurlardan oluşur.) Dalga uzunluğu görünen ışıktan daha kısa olan dalgalar morötesi ışınlar, röntgen ve gama ışınları olarak bilinir. Daha uzun dalga boylarına radyo dalgaları (bir metre ya da daha uzun), mikrodalga (yaklaşık bir santimetre) veya kızılötesi ışınlar (bir santimetrenin on binde birinden daha kısa olan ama görme ekriminin ötesinde kalan ışınlar) diyoruz.

Maxwell'in kuramı radyo ve ışık dalgalarının sabit bir hızda yol aldığını ortaya koyuyordu. Bu kuramın, Newton'un mutlak hareketsizlik halinin olmayışı kuramıyla uzlaşması zordu, çünkü eğer öyle bir durum yoksa bir nesnenin hızıyla ilgili evrensel bir uzlaşma söz konusu olamazdı. Bunun nedenini anlamak için yine trende pingpong oynadığımızı düşündün. Topu trenin ilerisine doğru saatte on mil hızla attığınızda, trenin dışında duran bir gözlemci topun hızını saatte yüz mil olarak algılayacaktır; bunun on millik bölümü topun trene göre hareketi, artı dok-



Dalgaboyu. Bir dalganın boyu, birbirini karşılayan dalga tepelerinin ya da çukurlarının arasındaki mesafedir.



Pingpong topının farklı hızları.

Görelilik kuramına göre, birbirleriyle örtüşmeseler bile, her gözlemcinin ölçtüğü hız eşit bir biçimde doğrudur.

san millik bölüm de trenin yere göre hareketidir. Topun hızı nedir? Saatte on mil mi, yoksa yüz mil mi? Topun hızı trene göre mi, yoksa yere göre mi hesaplanır? Mutlak hareketlilik hali olmadan topon mutlak hızım hesaplayamazsınız. Hızın ölçüldüğü yer göz önüne alınarak, aynı topon iki farklı hızda olduğunu söyleyebilirsiniz. Newton'un kuramına göre aynı durum ışık için de geçerli. Öyleyse Maxwell'in kuramında belirttiği ışık dalgalarının sabit bir hızda yol alması ne anlama geliyor?

Maxwell'in kuramını Newton yasalarıyla uzlaştırmak için, her yerde, hatta "boş" uzaya bile *esir* denilen bir madde olduğu öne sürüldü. Esir fikrinin bilimadamları için bir çekiciliği daha vardı; tıpkı su dalgalarının suyun varlığını gerektirmesi ya da ses dalgalarının havanın varlığını gerektirmesi gibi, elektromanyetik enerjinin dalgalandı kendilerini taşıyacak bir ortamı gerektiriyordu. Bu bakışa göre, nasıl ses dalgaları havada yol alıyorsa, ışık dalgaları da esirin içinde yol alıyordu: Maxwell'in denklemlerinden türemiş ışık dalgalarının hızı da esire göre

ölçülebilirdi. Farklı gözlemciler, ışığın onlara doğru farklı hızlarda geldiğini göreceklerdi, ancak esire göre ölçülen ışığın hızı sabit kalacaktı.

Bu düşünce sulanabilir. Bir kaynaktan yayılan ışığı düşünün. Esir kuramına göre ışık esirin içinde ışık hızında yol alıyor. Esirin içinde ışığa doğru hareket ettiğinizde, ışığa yaklaşma hızınız, esirde hareket eden ışığın hızının ve sizin esirdeki hızınızın toplamı olacaktır. Diyelim ki siz hareket etmezseniz ya da farklı bir yöne doğru hareket ederseniz, ışık size daha hızlı ulaşacaktır. Ancak ışığın hızı, bizim ışığın hızına doğru hareketimizin hızına kıyasla çok büyük olduğundan, hızlıca farklılığı ölçmek çok zordur.

1887'de Albert Michelson (Nobel Ödülü'nü alan ilk Amerikalı fizikçi) ve Edward Morley, Cleveland'daki Case Uygulamalı Bilimler Okulu'nda (artık Case Western Reserve Üniversitesi) büyük bir dikkat gerektiren, çok zor deneyler yaptılar. Dünya, Güneş'in yörüngesinde saniyede yaklaşık yirmi millik bir hızla dönerken çalıştıkları laboratuvarın da esirin içinde epey yüksek bir hızla hareket etmesinin gerektiğini fark ettiler. Elbette, hiç kimse esirin Güneş'e göre hareket yönünü ve hızını ya da esir hareket ediyor mu etmiyor mu bilmiyordu. Dünya, yörüngesinde farklı konumlardayken, yılın farklı dönemlerinde deneyi tekrarlayarak, bu bilinmeyen etkeni açıklayabilmeyi umdular. Böylece Michelson ve Morley ışığın hızını, dünyanın esir içindeki hareketinin yönüne göre (ışığın kaynağına doğru hareket ederken) ve bu hareketin dik açılarına göre (ışığın kaynağına doğru hareket etmezken) ölçüp karşılaştırdıkları bir deney yaptılar. Her iki yöndeki hızın bire bir aynı olduğunu görünce çok büyük bir şaşkınlık yaşadılar.

1887 ve 1905 arasında esir kuramını kurtarma girişimleri oldu. Bunlar içinde en dikkat çeken, Michelson-Morley deneyinin sonucunu esirde devinirken kısalan cisimler, yavaşlayan saatlerle açıklamaya kalkışan Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz oldu. Ancak 1905 yılında ünlü bir gazetede, İsviçre Patent Bürosu'nda adı henüz duyulmamış bir memur olarak çalışan Albert Einstein'ın, mutlak zaman kavramından vazgeçilmesi koşuluyla esir kuramının tümüyle gereksiz olduğunu gösteren bir makalesi yayımlandı. Birkaç hafta sonra Henri Poincaré benzer bir tezi savundu. Bu soruna tamamen matematiksel açıdan yaklaşan, öncünce kadar da Einstein'ın kuramla ilgili yorumlarını kabul etmeyen Poincaré'den çok Einstein'ın savlan, fiziğe daha yakındı.

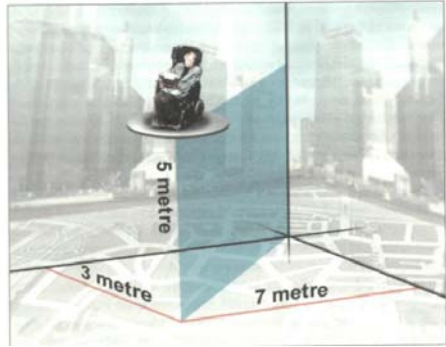
Einstein'ın görelilik kuramının temel postulasına göre, hızlan ne olursa olsun, özgürce hareket eden her gözlemci için bilim yasaları aynıdır. Bu Newton'un hareket yasaları için de geçerliydi, ancak Einstein savını, Maxwell'in kuramını da içine alacak şekilde genişletmişti. Bir başka deyişle, Maxwell ışığın hızının belirli bir değeri olduğunu saptadığına göre, özgürce hareket eden bütün gözlemcilerin, ışık kaynağına ya da kaynağın tersine doğru hangi hızda hareket ederlerse etsinler,

aynı değeri bulmaları gerekiyordu. Bu basit düşünce -ne esir ne de tercih edilmiş herhangi bir referans sistemi olmadan- Maxwell'in denklemindeki ışığın hızını açıkladığı gibi, genelde sezgi karşısı ve dikkate değer bazı sonuçlara da yol açtı.

Örneğin, ne kadar hızlı olursa olsun ışığın hızını bütün gözlemcilerin kabul etmesinin gerekliliği, zaman kavramımızı değiştirmeye bizi zorladı. Yine hızla giden treni düşünelim. 4. Bölüm'de gördüğümüz gibi, pingpong topunu zıplatan biri için top neredeyse aynı noktaya çarparken, rayların kenarında duran biri için top yaklaşık kırk metrede bir yere çarpıp zıplamaktadır. Aynı şekilde, trendeki gözlemci bir el feneri yakığında, trendeki ve yerdeki gözlemci için ışığın kat ettiği mesafe farklı olacaktır. Hız, zamana bölünen mesafe olduğuna göre, gözlemciler ışığın kat ettiği mesafe konusunda anlaşmazlığa düşerlerse, ışığın hızı konusunda anlaşabilmelerinin tek yolu, bu yolculuğun yapıldığı zaman konusunda da uyumamalarıdır. Başka bir şekilde söyleyecek olursak, görelilik kuramı mutlak zaman düşüncesinin sonu demektir! Bunun yerine, her gözlemcinin, yanındaki saatle kaydettiği kendi zaman ölçümü olmalıdır, farklı gözlemcilerce kullanılan benzer saatlerin uyumması gerekmez.

Görelilikte, Michelson-Morley deneyinin ortaya koyduğu gibi, varlığı bulunamayan bir esir düşüncesine gerek yoktur. Görelilik kuramı uzay ve zaman konusundaki düşüncelerimizi temelden değiştirmeye zorlar bizi. Zamanın uzaydan tümüyle ayrı ve bağımsız olmadığını, uzay-zaman denilen nesneyi oluşturmak üzere bu ikisinin birleştiğini kabul etmek zorundayız. Bunlar kavranılması kolay düşünceler değildir. Göreliliğin fizikçiler arasında bile evrensel kabulü yıllar almıştır. Görelilik kuramı, Einstein'ın bu kuramı kavradığının ve kendi mantığına duyduğu güvenin kanıtıdır, kuramın yol açtığı garip yargılara rağmen Einstein mantığıyla önemli sonuçlar almıştır.

Ortak deneyimimizle biliyoruz ki, uzadaki bir noktanın yerini üç rakamla ya da koordinatla belirtiyoruz. Örneğin, bir odadaki bir noktanın, bir duvardan yedi metre, diğerinden üç metre, zeminden de beş metre yukarıda olduğunu söyleyebiliriz. Veya bir noktanın yerini belli bir enleme, boylama, deniz seviyesinden yüksekliğine göre belirtiriz. Geçerliliği sınırlı olsa da, uygun olan rasgele üç koordinatı kullanmakta özgürüz. Ayın konumunu belirtmek için, onun Piccadilly Meydanı'ndan kuzey ve batı yönlerinde kaç mil uzakta olduğunu ya da deniz seviyesinden kaç metre yukarıda olduğunu söylememiz anlamsız olur. Bunun yerine Ay'ın Güneş'e uzaklığını, gezegenlerin yörünge düzlemlerine olan uzaklığını ve Güneş'i ve Ay'ı birbirine bağlayan çizgi ile Güneş'i yakındaki bir yıldız, örneğin Proxima Erboğa'ya bağlayan çizginin arasındaki açıya göre Ay'ın konumunu belirleriz. Bu koordinatlar bile Güneş'in galaksimizdeki konumunu ya da galaksimizin yakındaki



Uzayda koordinatlar.

Uzay üç boyutludur demek, bir noktayı belirlemek için üç sayı veya koordinat kullanıyoruz demektir. Bu belirlememize zamanı da eklediğimizde uzay, dört boyutlu uzay-zaman olur.

galaksiler içindeki konumunu belirlemekte pek işe yaramazlar. Aslında tüm evreni birbirinin üzerine binmiş parçalar yığını olarak tanımlayabiliriz. Bir noktanın konumunu belirlemek için her parçada farklı üçlü koordinat grubu kullanılır.

Göreliliğin uzay-zamanında, uzayın belli bir noktasında ve belli bir zamanda meydana gelen herhangi bir olay dört sayıyla ya da dörtlü koordinatla belirlenebilir. Koordinatların seçimi yine keyfi olabilir; iyi tanımlanmış herhangi bir üçlü uzaysal koordinatla herhangi bir zaman oluşumunu kullanabiliriz. Ancak görelilikte uzay ve zaman koordinatları arasında gerçek bir ayrım yoktur; tıpkı iki uzay koordinatı arasında gerçek bir farklılığın olmadığı gibi. Seçtiğimiz uzay koordinatı, bundan önce seçilmiş olan ilk ve ikinci koordinatların birleşimi de olabilir. Yani yeryüzündeki bir noktanın konumunu sadece Piccadilly Meydanı'nın kuzeyinden ve batısından çizilen doğruların uzunluğuna göre değil, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerinde çizilen doğrularla da belirleyebiliriz. Aynı şekilde, bir noktanın Piccadilly'nin kuzeyine uzanan doğruya uzaklığını, eski zaman (saniyede) artı uzaklık (ışık saniyede) olarak hesaplayabileceğimiz yeni bir zaman koordinatı kullanabiliriz.

Göreliliğin iyi bilinen sonuçlarından biri de, Einstein'ın ünlü denklemi $E=mc^2$ (E enerji, m kütle ve c ışık hızı) olarak özetlenen, kütle ve enerjinin eşitliğidir, insanlar bu denklemi genellikle, örneğin bir parça maddenin saf elektromanyetik ışınma çevrilmesiyle ne kadar enerji üretileceğini hesaplamak için kullanırlar. (Işığın hızı çok büyük olduğundan, çıkan sonuç da çok büyüktür; örneğin Hiroşima şehri yok eden bombadaki enerjiye çevrilen maddenin ağırlığı 28,35 gramdan daha azdı.) Ancak denklem bize enerjisi artan bir nesnenin kütesinin de artacağını ve buna bağlı olarak ivmeye direncinin artacağını ya da hızının değişeceğini de söyler.

Enerjinin biçimlerinden biri hareket halindeki enerjidir ve buna kinetik enerji denir. Arabanızı hareket ettirmek için nasıl enerji gerekiyorsa, herhangi bir nesnenin hızını artırmak için de enerji gerekir. Hareket halindeki bir nesnenin kinetik enerjisi, onu harekete geçirmek için harcamak zorunda olduğunuz enerjiye denktir. Bu nedenle nesnenin hızı çoğaldıkça, daha çok kinetik enerjiye sahip olur. Ancak enerji ve kütle arasında denklige göre, kinetik enerji nesnenin kütesini artırır, yani nesne ne kadar hızlı hareket ediyorsa, ivmesini artırmak da o kadar zorlaşır. Bu etki, sadece ışık hızına yakın bir hızda hareket eden nesnelerde gerçekten anlamlıdır. Örneğin, ışık hızının onda biri kadar hızı olan bir nesnenin kütesi, normal halinden yalnızca 0,5 kadar fazladır; ışık hızının yüzde doksani kadar bir hızda sahip olduğunda nesnenin kütesi de normal halinin iki katı olacaktır. Nesne ışık hızına yaklaştıkça kütesi daha da hızlı artar ve onu daha da hızlandırmak için daha da fazla enerji gerekir. Görelilik kuramına göre, bir nesne asla ışık hızına ulaşamaz, çünkü o zaman sonsuz bir kütleyle ulaşması gerekir; enerji ve kütle arasında denklige göre bu duruma erişmesi için aldığı enerjinin de sonsuz olması gerekmektedir. Bu nedenle herhangi bir normal nesne görelilikle sınırlı olduğundan, daima ışık hızının altında hareket etmek zorundadır. Yalnızca ışık ya da kendine ait kütesi olmayan dalgalar ışık hızında hareket edebilir.

Einstein'ın 1905'teki görelilik kuramına özel görelilik denmiştir. Çünkü ışığın bütün gözlemlilere göre aynı hızda hareket ettiğini ve ışık hızına yakın hareket eden nesnelere ne olacağını başarıyla açıklasa da, Newton'un kütleçekimi kuramıyla uyumuyordu. Newton'un kuramına göre, herhangi bir zamanda nesneler, o anki uzaklıklarına bağlı bir güçle birbirlerini çekerler. Bu, bir nesneyi hareket ettirdiğinizde, diğer nesne üzerindeki kuvvet anında değişecek demektir. Diyelim ki Güneş bir anda kayboldu; Maxwell'in kuramına göre Dünya sekiz dakika daha aydınlık kalır (bu ışığın Güneş'ten Dünyamıza ne kadar zamanda eriştiğine bağlıdır); ancak Newton'un kütleçekimi yasasına göre Dünya o anda Güneş'in yokluğunu hissedecek ve kendi yörüngesinden çıkacaktır. Güneş'in kayboluşunun kütleçekimi etkisi böylece bize sonsuz bir

hızda erişecektir; göreliliğin özel kuramının söylediği gibi ışık hızında ya da ışık hızının altında değil. Einstein, 1908 ve 1914 yılları arasında, özel görelilik kuramıyla uyumlu bir kütleçekimi kuramı bulmak için bazı başarısız girişimlerde bulundu. Sonunda 1915'te, bugün genel görelilik kuramı dediğimiz, çok daha devrimci olan bir kuramı öne sürdü.

6 Eğrilmiş

uzay

Einstein'ın genel görelilik kuramının devrimci önerisine göre, kütleçekimi kuvveti diğer kuvvetler gibi değildir, ama önceden sanıldığının tersine, uzay-zamanın düz olmayışı gerçeğinin bir sonucudur. Genel görelilikte uzay-zaman ya eğridir ya da içindeki kütle ve enerjinin dağılımı yüzünden "bükülmüş"tür. Dünya gibi cisimler kütleçekimi denilen kuvvet yüzünden çok eğrilmiş uzayda, jeodezik denilen, doğru çizgiye en yakın yolu izlediklerinden eğik yörüngeler üzerinde harekete ederler. Teknik olarak söyleyecek olursak jeodezik, iki komşu nokta arasındaki en kısa (ya da en uzun) yoldur.

Bir geometrik düzlem, ikiboyutlu uzaya örnektir ve düzlemin çizgileri jeodeziktir. Dünya'nın yüzeyi, ikiboyutlu eğik uzaydır. Yeryüzündeki jeodeziğe büyük çember denir. Ekvator büyük bir çemberdir. Yerkürede, Dünya'nın merkeziyle çıkan her çember, büyük çemberdir. ("Büyük çember" tanımı, bunların yerkürede çizilebileceğinin büyük çember olması gerçeğine dayanmaktadır.) Jeodezik iki havalimanı arasındaki en kısa yol olduğundan, havayolu uçuş görevlileri pilota bu rotada uçuşmasını söyleyecektir. Örneğin, New York'tan Madrid'e uçarken pusulamız genel enlem çizgisine göre dümdüz doğuyu gösterirken 3 707 mil kat edersiniz. Ancak büyük çember boyunca uçarsanız, yani kuzeydoğuya yönelip, sonra yavaş yavaş dönüp güneydoğuya yönelirseniz, kat ettiğiniz mesafe 3 605 mil olacaktır. Bu yolun, yerküreyi düz gösteren harita üzerindeki görüntüsü aldatıcıdır. "Doğrudan" doğuya giderken, aslında doğrudan yol almıyorsunuz ya da en azından en doğrudan yol olan jeodezik anlamında değil.

Genel görelilikte cisimler, dörtboyutlu uzay-zaman içerisinde daima jeodezikleri izler. Madde olmadığında, dörtboyutlu uzay-zaman içindeki bu jeodezikler, üçboyutlu uzaydaki doğru çizgilere tekabül eder. Maddenin var olduğu durumda, dörtboyutlu uzay-zaman eğrilir, üçboyutlu uzaydaki cisimlerin yollarını, bir anlamda kütleçekimi kuvvetinin etkileriyle açıklanan eski Newtoncu kuramdaki gibi eğilitir. Bu, tepelik bir arazinin üzerinde uçan uçağı izlemek gibidir. Uçak, üçboyutlu uzayda düz bir çizgide ilerliyor olsa da, üçüncü boyutu -yüksekliği- kaldr-



Kürenin üzerindeki uzaklıklar.

Kürenin üzerindeki en kısa uzaklık, büyük çember boyunca olandır; düz bir haritada baktığınızda gördüğünüz düz çizgiden farklıdır.

diğimizda, uçağın gölgesinin ikiboyutlu arazide eğri bir yol izlediğini görürsünüz. Ya da uzayda düz bir çizgi üzerinde yol alan, doğrudan Kuzey Kutbu'nun üzerinden geçmekte olan bir uzay gemisi düşünelim. Onun yolunu aşağıya, yerkürenin ikiboyutlu yüzeyine yansıttığımızda, kuzey yarıkürede uzanan bir boylamı izleyerek bir yarım daire çizdiğini görürsünüz. Düşünmesi çok güç bir fenomen olmakla birlikte, Güneş'in kütleli uzay-zamanı öylesine eğri ki, Dünya dörtboyutlu uzay-zamanda düz bir yörünge izliyor olsa da, üçboyutlu uzayda neredeyse dairesel bir yörünge izliyormuş gibi görünür.

Farklı olarak ele alınsa da, aslında gezegenlerin genel göreliliğe göre hesaplanan yörüngeleri, Newtoncu kütleçekimi kuramına göre yapılan hesaplamalara göre de hemen hemen aynıdır. En büyük sapma, Güneş'e en yakın gezegen olan Merkür'ün yörüngesinde görülür; gezegen Güneş'in kütleçekimi kuvvetinden en fazla etkilendiğinden uzatılmış elips bir yörüngeye sahiptir. Genel görelilik kuramına göre elips yörün-

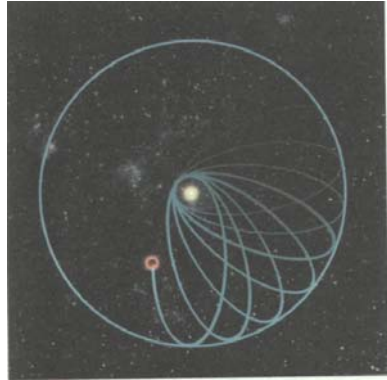


Uzay gemisinin gölgesinin yolu.

Uzayda düz bir çizgi boyunca uçan uzay gemisinin gölgesi ikiboyutlu küreye yansıdığında, eğri görünecektir.

gesinin uzun eksenı Güneş'in etrafında yaklaşık on bin yılda bir derece döndüyor olmalıdır. Küçük olmasına rağmen bu etki (3. Bölüm'e bakın) 1915'ten çok önce fark edilmiş, Einstein'ın kuramını ilk doğrulayan gözlemlerden biri olmuştur. Sonraki yıllarda, diğer gezegenlerin yörüngelerinde de Newtoncu hesaplara göre daha küçük sapmalar radarla ölçülmüş ve bu sapmaların genel görelilik hesaplamalarına uygun olduğu anlaşılmıştır.

Işık ışınları da uzay-zaman içerisinde jeodezikleri izlemek zorundadır. Aynı şekilde, uzay eğridir dediğimizde bu, ışığın uzayda doğru bir çizgi üzerinde yol aldığı artık göremeyeceğiz anlamına gelir. Bu durumda genel görelilik, kütleçekimi alanlarının ışığı eğeceği kestiriminde bulunur. Örneğin bu kurama göre, Güneş'in yakınındaki ışık yollar, Güneş'in kütesinin etkisi yüzünden hafifçe eğilir. Bu, uzak bir yıldızdan gelen ışığın Güneş'in yakınından geçerken küçük bir açıyla sapsması, Dünya'daki bir gözlemcinin bu sapsma yüzünden yıldızı farklı bir konumda görmesi demektir. Elbette, yıldızın ışığı her zaman Güneş'in yakınından geçseydi, ışık sapıyor mu, yoksa yıldız gerçekten gördüğümüz yerde mi, anlayamazdık. Ancak Dünya Güneş'in etrafında döner-

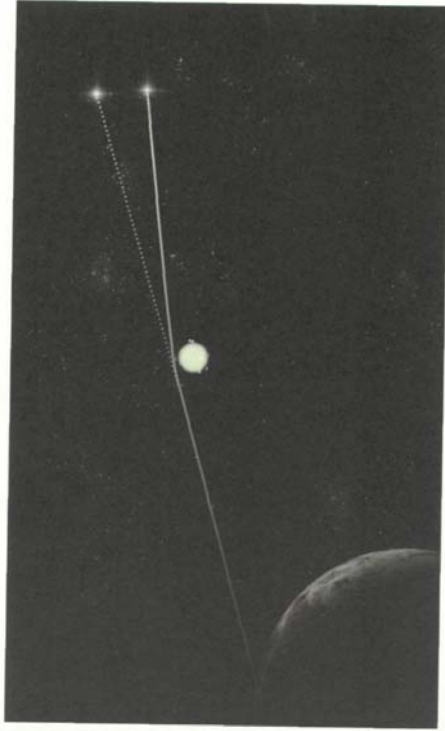


Merkür'ün yörüngesinin kayışı.

Merkür tekrar tekrar Güneş'in etrafında dönerken, elips biçimli yolu uzun eksenı yavaşça döner ve 360 000 yılda bir tam daire çizer.

ken, Güneş'in arkasından geçiyormuş gibi görünen farklı yıldızların ışıkları sapsmaya uğramıştır. Bu nedenle görünürdeki konumları diğer yıldızlara göre değişiyormuş gibidir.

Normalde bu etkiyi görmek çok zordur, çünkü Güneş'in ışığı kendisine yalan olan yıldızları gözlemlemeyi olanaksız kılar. Ancak Güneş tutulması sırasında, Ay, Güneş ışığını engellediğinde bu etkiyi görebilmek mümkündür. 1915'te Birinci Dünya Savaşı sürdüğünden Einstein'ın ışığın sapsmasına dair öngörüsü hemen sınanamadı. 1919'da bir İngiliz araştırma grubu Batı Afrika kıyılarında Güneş tutulmasını izleyerek, kuramın öngördüğü gibi ışığın gerçekten Güneş tarafından saptırıldığını gözlemledi. Bir Alman'ın kuramının İngiliz bilimciler tarafından kanıtlanması, iki ülke arasında savaş sonrası büyük bir uzlaşma olarak övgülerle karşılandı. Işın tuhafı, araştırma sırasında çekilen fotoğraflar sonradan incelendiğinde, yapılan hataların ölçülmeye çalışılan etki kadar büyük olduğu ortaya çıktı. Ölçümlerin sonuçları büyük bir şansla ya da bilimde sıkça rastlandığı gibi, alınmak istenilen sonucun önceden bilinmesiyle ilgiliydi. Neyse ki, daha sonra yapılan pek çok gözlemle ışığın sapsması tam olarak doğrulandı.



İşığın Güneş'in yakınında eğilmesi.
Güneş doğrudan Dünya ve uzak bir yıldız arasında olduğunda, Güneş'in kütleçekimi alanı, o andaki konumuna bağlı olarak yıldız ışığının yönünü değiştirir.

Genel göreliliğin bir başka kestirimi, Dünya gibi büyük cisimlerin yanında zamanın daha yavaş akıyor gibi görünmesidir. Einstein bunu ilk kez 1907'de, kütleçekimi kuvvetinin aynı zamanda uzayın biçimini de değiştirdiğini fark etmesinden beş yıl, kuramını tamamlamasından sekiz yıl önce anlamıştı. Bu etkiyi, özel görelilik kuramının temel varsayımı olan ve genel görelilik kuramında önemli bir yer tutan eşitlik ilkesini kullanarak türetti.

Özel görelilik kuramının temel postulasını hatırlayalım: Hızları ne olursa olsun, özgürce hareket eden gözlemciler için bilim yasaları aynıdır. Kabaca anlatacak olursak, eşitlik ilkesi, kütleçekimi alanının etkisinde kaldığı için özgürce hareket edemeyen gözlemcileri de kapsar. İlkenin tam ifadesinde bulunan, kütleçekimi alanının tekbiçimli olmadığı gerçeği ve bir dizi küçük, birbirinin üzerine binmiş parçalarda ilkenin ayrı ayrı uygulanması gerektiği gibi bazı teknik noktalarla burada ilgilenmeyeceğiz. Amacımıza uygun olarak eşitlik ilkesini şöyle ifade edeceğiz: Uzayın yeterli küçüklükteki bölgelerinde kütleçekimi alanında hareketsiz mi duruyoruz, yoksa boş uzaya tekbiçimli bir şekilde ivme mi kazanıyoruz, söylemek olanaksızdır.

Boş uzaya bir asansörde olduğunuzu düşünün. Kütleçekimi yok, "aşağı" yok, "yukarı" da yok. Özgürce boş uzaya yüzüyorsunuz. Şimdi asansör sabit bir ivmeyle hareket etmeye başlasın. Birden ağırlığınızı hissedersiniz. Yani, size asansörün tabanymış gibi gelen tarafa doğru bir anda çekildiğinizi hissedersiniz! Şimdi elimizde bir elma olsun; elmayı bıraktığımızda yere düşer. Aslında, ivme kazandığımız için asansörde olanlar, asansör hiç hareket etmediği ve tekbiçimli kütleçekimi alanı içindeyken olanlarla tıpatıp aynıdır. Trendeyken tekbiçimli bir şekilde hareket ediyor musunuz etmiyor musunuz söyleyemeyeceğiniz gibi, asansördeyken tekbiçimli bir şekilde ivme kazanıyor musunuz, yoksa tekbiçimli kütleçekimi alanının içinde mi duruyorsunuz, söyleyemezsiniz. Einstein'ın fark ettiği de buydu. Sonuçta eşitlik ilkesini buldu.

Eşitlik ilkesi ve yukarıda verdiğimiz örnek ancak, eylemsiz kütle (Newton'un ikinci yasasında, bir kuvvetin etkisine tepki olarak ne kadar ivme kazanılacağına belirleyen kütle) ile kütleçekimli kütlenin (Newton'un kütleçekimi yasasında, kütleçekimi kuvvetinin ne kadar hissedileceğini belirleyen kütle) aynı olması durumunda doğrudur. Her iki kütle de aynı olduğunda, kütleçekimi alanındaki bütün nesnelerin düşme hızları, kütleleri ne olursa olsun, aynı olacaktır. Eğer bu eşitlik gerçek değilse, kütleçekimi kuvvetinin etkisinde kalan bazı nesneler diğerlerinden daha hızlı düşecektir; bu da, kütleçekiminin çekiş gücünü, her şeyin aynı hızda düştüğü tekbiçimli imden ayırt edebiliriz demektir. Einstein'ın eşitlik ilkesini ve nihayetinde genel görelilik kuramını oluşturmak için eylemsiz kütle ile kütleçekimli kütlenin eşitliğini

kullanması, düşünce tarihinde eşi görülmemiş, amansız mantık tartışmalarının çıkması demektir.

Artık eşitlik ilkesini bildiğimize göre, Einstein'ın mantığını izlemek üzere, zamanın niçin kütleçekiminden etkilendiğini gösteren bir başka düşünce deneyi yapabiliriz. Uzayda bir roket düşünün. Kolayca anlaşılması açısından bu roket öyle uzun olsun ki, ışığın geminin en tepesinden en altına ulaşması bir saniye sürsün. V.e de geminin tavanında ve zemininde, birbirinin aynı saatleri saniyede bir tıkkayan iki gözlemci olsun.

Geminin tavanında bulunan gözlemcinin, saati tıklar tıklamaz zemindeki gözlemciye bir ışık sinyali gönderdiğini düşünelim. Tavanındaki gözlemcinin saati bir daha tıkladığında aynı şekilde ışık sinyali göndersin. Bu durumda her sinyalin yolculuğu bir saniye sürecektir ve zemindeki gözlemci tarafından alınacaktır. Tavanındaki gözlemci bir saniye arayla iki sinyal gönderdiğine göre, zemindeki gözlemci de bir saniye arayla iki sinyal alacaktır.

Bu roket uzayda özürtürce yüzmeğe yerine, Dünya'da, kütleçekiminin etkisinde olsaydı farklılık ne olurdu? Newton'un kuramına göre kütleçekiminin herhangi bir etkisi olmazdı. Tavanındaki gözlemci bir saniye arayla iki sinyal gönderdiğinde, zemindeki gözlemci bir saniye arayla iki sinyal alırdı. Ancak eşitlik ilkesinin hesaplarına göre durum farklı olurdu. İlkenin belirttiğine göre, kütleçekiminin etkisi yerine tekebiçim-li imvenin etkisini düşündüğümüzde ancak ne olduğunu görebiliriz. Bu örnek, Einstein'ın yeni kütleçekimi kuramını yatırırcın eşitlik ilkesini nasıl kullandığını gösteriyor.

Şimdi de roketin ivme kazandığını düşünelim. (ivme yavaş olsun ki ışık hızına erişemeyelim!) Roket yukarı doğru hareket ettiğine göre, ilk sinyalin aldığı mesafe bir öncekine göre daha kısa olacaktır ve bir saniyeye yakın bir sürede gözlemciye ulaşacaktır. Roket sabit bir hızda hareket ediyorsa, ikinci ışık sinyali de tam olarak aynı sürede gelecek ve böylece iki sinyal arasındaki süre yine bir saniye olacaktır. Ancak ivme yüzünden roket ikinci sinyal gönderildiği sırada daha hızlı hareket etmeye başladıysa, ikinci sinyalin alacağı mesafe ilk sinyalden daha da kısa olacak ve zemindeki gözlemciye ilk sinyalden daha da kısa sürede ulaşacaktır. Bu nedenle zemindeki gözlemci sinyaller arasında bir saniyeden daha kısa bir süre ölçecek, bir saniye arayla iki sinyal gönderdiğini iddia eden tavanındaki gözlemciyle ters düşecektir.

Bu durum ivme kazanan bir rokette çok şaşırtıcı olmayabilir; nasıl olduğunu açıkladık. Ancak, eşitlik ilkesine göre aynı durumun kütleçekimi alanında duran bir rokette de uygulanabileceğini anımsayın. Yani roket yeryüzündeki fırlatma kızgında dururken, tavanındaki gözlemci (kendi saatine göre) bir saniye arayla sinyaller gönderdiğinde, zemindeki gözlemci (kendi saatine göre) sinyalleri daha kısa aralıklarla alacaktır, işte bu çok şaşırtıcıdır!

Yine de kütleçekimi zamanı mı değiştiriyor, yoksa sadece saatleri mi bozuyor diye sorabilirsiniz. Zemindeki gözlemcinin saatleri karşılaştırmak üzere tavanındaki gözlemcinin yanına çıktığını düşünelim. Saatler ayındır ve iki gözlemci de saniyenin uzunluğu konusunda kesinlikle hemfikiridir. Zemindeki gözlemcinin saatinde herhangi bir sorun yoktur; nerede olursa olsun yerel zamanın akışını ölçebilmektedir. Tıpkı, görelî hareketlerinde gözlemciler için zamanın farklı aktığını söyleyen özel görelilik kuramı gibi, genel görelilik kuramı da, bir kütleçekimi alanı içinde farklı yüksekliklerdeki gözlemciler için zamanın farklı aktığını söyler. Genel görelilik kuramına göre, yeryüzüne yakın olduğunda zaman daha yavaş akacağından, zemindeki gözlemci sinyaller arasındaki zamanı ölçtüğünde bu bir saniyeden kısa olacaktır. Alan güçlü olduğu oranda etki güçlüdür. Newton'un hareket yasası uzaydaki mutlak konum düşüncesinin sonu olmuştur. Şimdi de görelilik kuramının mutlak zaman kavramının işini bitirdiğini görüyoruz.

Bu keştirim 1962'de, bir su kulesinin tepesine ve dibine yerleştirilen çok duyarlı saatlerle denendi. Kulenin dibine yerleştirilen ve yeryüzüne yakın olan saatin, genel görelilik kuramına tamamen uygun olarak daha yavaş çalıştığı gözlemlendi. Uydulardan gelen sinyallere bağlı çalışan çok duyarlı seyir sistemlerinin geliştirilmesiyle, yeryüzütün değişik yüksekliklerinde bulunan saatlerin hızları arasındaki fark büyük bir önem kazandı. Genel görelilik kuramının keştirimleri göz ardı edildiğinde, konum hesaplarında millerle ölçülen yanlışlar yapılabılır.

Biyolojik saatlerimiz de zamanın akışındaki değişikliklerden aynı ölçüde etkilendir. Örneğin, ikizlerden biri deniz seviyesinde kalırken, diğeri yaşamak üzere bir dağın tepesine gönderilsin. Dağın tepesinde yaşayan, deniz seviyesinde kalan ikizinden daha hızlı yaşlanacaktır. Yani bir daha karşılaştıklarında ikizlerden biri daha yaşlı olacaktır. Bu durumda yaş farklılığı çok azdır, ama ikizlerden biri ışık hızına yakın bir hızla yol alan bir uzay gemisiyle uzun bir yolculuğa çıkarsa, yaş farkı çok daha büyü. Döndüğünde, dünyada kalan ikizinden çok daha genç olacaktır. Bu durum ikizler paradoksu olarak bilinir, ancak bu, zihninizin bir köşesinde mutlak zaman düşüncesi varsa bir paradokstur. Görelilik kuramında eşsiz bir mutlak zaman yoktur; bunun yerine her bireyin bulunduğu yere ve hareket edişine bağlı kişisel zaman ölçüleri vardır.

1915'ten önce uzay ve zaman, olayların gerçekleştiği, ama içinde olup bitenlerden etkilanmeyen değişmez bir arena olarak düşünülüyordu. Özel görelilik kuramı için bile bu düşünce geçerlidir. Cisimler hareket ediyor, kuvvetler birbirlerini çekiyor ve itiyor, ama zaman ve uzay bunlardan hiç etkilanmeden, öylece sürüp gidiyordu. Uzay ve zamanın sonsuza kadar süreceğini düşünmek doğaldı. Genel görelilik kuramında ise durum oldukça farklıdır. Uzay ve zaman artık dinamik niceliklerdir;

bir cisim hareket ettiğinde ya da bir kuvvet etkisini gösterdiğinde uzay ve zamanın eğriliği değişir ve karşılığında uzay-zamanın yapısı cisimlerin hareketini ve kuvvetlerin işleyişini etkiler. Uzay ve zaman evrende olan her şeyden etkilenmekle kalmaz, olan her şeyi etkiler de. Uzay ve zaman kavramları olmadan evrende gerçekleşen olaylardan söz edemeyeceğimiz gibi, genel görelilik içinde de evrenin sınırları dışında kalan bir uzay ve zamandan söz etmek anlamsızdır. 1915'i izleyen onlarca yıl içinde bu yeni uzay ve zaman anlayışı evren hakkındaki düşüncelerimizde köklü değişikliklere yol açtı. Aslında değişmeyen, hep var olan ve sonsuza kadar varlığını sürdürecektir olan evren kavramının yerini dinamik, genişleyen, geçmişte sonlu bir zamanda başlamış ve gelecekte sonlu bir zamanda bitecek olan bir evren kavramı aldı.

Genişleyen evren

Aysız ve berrak bir gecede gökyüzüne baktığımızda, muhtemelen göreceğiniz en parlak cisimler Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenleri olacaktır. Aynı zamanda tıpkı Güneşimize benzeyen, ama bizden çok uzakta olan çok sayıda yıldız da göreceksiniz. Dünya Güneş'in etrafında dönerken, durağan yıldızların bazılarının konumları, birbirlerine göre hafifçe değişiyormuş gibi görünür. Aslında hiç de durağan değil! Bunun nedeni, görece bize daha yakın olmalarıdır. Dünya Güneş'in etrafında dönerken, bize daha yakın olan yıldızları, bize daha uzak olanların önünde, farklı konumlarda görürüz. Bu, açık bir yolda araba sürerken, bize yakın olan ağaçların görelî konumunu ufukta her ne varsa onun önünde görmemizle aynı etkidir. Ağaçlar ne kadar yakınsa, o kadar hareketli görünürler. Görelî konumdaki bu değişikliğe iraklık açısı denir. Bu durum, yıldızların bize olan uzaklıklarını doğrudan ölçebilmeyi sağlar.

1. Bölüm'de değindiğimiz gibi, bize en yakın yıldız olan Proxima Erboğa dört ışık yılı ya da otuz yedi milyon kere milyon kilometre uzaklıktadır. Çıplak gözle görebildiğimiz yıldızların çoğu bizden birkaç yüz ışık yılı uzaklıktadır. Bunlarla karşılaştığımızda Güneşimiz bizden sadece sekiz ışık dakikası uzaklıktadır! Gece gözle görebildiğimiz yıldızlar bütün gökyüzüne dağılmış gibi dursalar da, adına Samanyolu dedğimiz bir kuşakta özellikle yoğunlaşmışlardır. 1750'lerde bile bazı gökbilimciler, Samanyolu'nun görüntüsünün, bugün sarmal yıldız kümesi dedğimiz, görülebilen yıldızların çoğunun diske benzer tek yapıda kümelenmesi olarak tanımlanabileceğini ileri sürmüşlerdi. Sadece birkaç on yıl geçtikten sonra, çok sayıda yıldızın konumlarını ve uzaklıklarını titizlikle kataloglayan Sir William Herschel bu düşünceyi doğruladı. Buna rağmen, düşüncenin tümüyle kabulü XX. yüzyılın başlarında mümkün oldu. Samanyolu'nun -yani galaksimizin- yüz bin ışık yılı genişliğinde olduğunu ve yavaşça döndüğünü artık biliyoruz; galaksimizin sarmal kollarındaki yıldızlar, merkezin etrafında birkaç yüz milyon yılda bir anca dönerler. Güneşimiz bu sarmal kolların birinin iç kenarına yakın, sıradan, orta büyüklükte, sarı renkli bir yıldızdır. Dün-

ya'nın evrenin merkezi olarak düşünüldüğü Aristoteles'in ve Ptolemaios'un döneminde bu yana epeyce uzun bir yol kat ettik!

Evrene dair çağdaş anlayışımız, 1924'te Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble, Samanyolu'nun evrendeki tek galaksi olmadığını gösterdiğinde oluştu. Gerçekten de Hubble, aralarında boş uzayın uçsuz bucaksız bölgeleri bulunan pek çok galaksi keşfetti. Bunu kanıtlamak için Hubble'ın Dünya'nın diğeri galaksilere olan uzaklığını ölçmesi gerekti. Ancak bu galaksiler o kadar uzaktı ki, gerçekten de konumlan, yakındaki yıldızların tersine, sabit görünüyordu. Hubble, bu galaksilerin uzaklığını ölçerken ıraklık açısından yararlanamadığından, dolaylı ölçüm yöntemleri kullanmak zorunda kaldı. Parlaklığı, bir yıldızın uzaklığını netlikle ölçmenin yollarından biridir. Ancak, yıldızın görüntüdeki parlaklığı yalnızca uzaklığa değıl, yaydığı ışının (ışığın) miktarına da bağılıdır. Donuk donuk parlayan bir yıldız, eğer yeterince yakınsa, uzak galaksilerden birindeki en parlak yıldızı bile gölgede bırakacaktır. Uzaklık ölçümü gibi bir sınıflandırmada parlaklık kullanılır, ancak bunun için yıldızın ışık gücünü bilmemiz gerekir.

Yakın yıldızların ışık gücü, parlaklıklarına göre hesaplanabilir, çünkü ıraklık açısı uzaklıklarını bilmemizi sağlar. Hubble, yakın yıldızları verdikleri ışığa göre sınıflandırarak belirli türle ayırdı. Belirli tür yıldızların ışık gücü her zaman aynıydı. Sonra Hubble, aynı türde yıldızların uzak galaksilerde de bulunabileceğini savundu; uzaktaki yıldızların ışık gücünün tıpkı yakındakiler gibi olduğunu varsayabiliriz. Bu bilgiyle o galaksinin uzaklığını ölçebiliriz. Bu ölçümü aynı galaksideki birkaç yıldızla yapabilirsek ve ölçümlerimiz hep aynı uzaklığı verirse, tahminlerimize oldukça güvenebiliriz. Bu şekilde Hubble, dokuz farklı galaksinin uzaklığını hesapladı.

Bugün, çıplak gözle görebildiğimiz yıldızların, bütün yıldızların çok ufak bir bölümü olduğunu biliyoruz. Görebildiğimiz beş bin yıldız, sadece bizim galaksimizdeki yıldızların ancak milyarda biridir. Samanyolu, gelişmiş teleskoplarla görülen ve her biri ortalama yüz milyon yıldız içeren, yüz milyondan fazla galaksiden biridir sadece. Her bir yıldız bir tuz tanesi büyüklüğünde olsaydı, çıplak gözle görülebilen yıldızları bir çay kaşığına sığdırabiliriz; ancak evrendeki bütün yıldızları genişliği yaklaşık on üç kilometre olan bir topa sığdırabiliriz.

Yıldızlar o kadar uzaktır ki, bize ancak içine ucu büyüklüğündeki ışıklar olarak görünürler. Onların büyüklüklerini ve biçimlerini göremeyiz. Ancak, Hubble'ın fark ettiğı gibi, pek çok farklı türde yıldız var ve onları ışıklarının renklerine göre ayırt edebiliriz. Newton, güneş ışığının prizma denilen üçgen bir cam parçasından geçirdiğinde, tıpkı gökkuşağı gibi, bileşimindeki renklere ayrıştığını keşfetmişti. Belirli bir ışık kaynağından yayılan çeşitli renklerin görece yoğunluklarına, o ışığın tayfi denir. Bir teleskopu belirli bir yıldız ya da galaksiye odak-

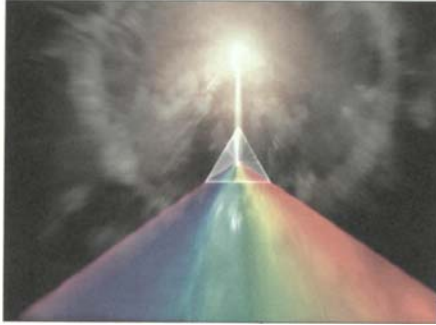


İrakklık açısı.

İster bir yolda ister uzayda hareket ediyor olun, size göre uzak ya da yakın olan nesnelerin göreceli konumları, siz ilerledikçe değışecektir. Bu değışimin ölçüsü, nesnelerin göreceli uzaklıklarını belirlemede kullanılabilir.

layarak, o yıldızın ya da galaksinin ışığına ait tayfi gözlemlenebiliriz.

Bu ışığın bize vereceğı şeylerden biri de sıcaklıktır. 1860'ta, Alman fizikçi Gustav Kirchhoff, maddesi olan her cismin ısındığında, tıpkı korlaştığında parlayan bir kömür parçası gibi, ısıya da ışıının yaydığını fark etti. Böyle ısıtılı nesnelerin ışığına, içindeki atomların ısı hareketi neden olur. Buna kara cisim ışıının denir (her ısıtılı nesne kara



Yıldız tayfı.

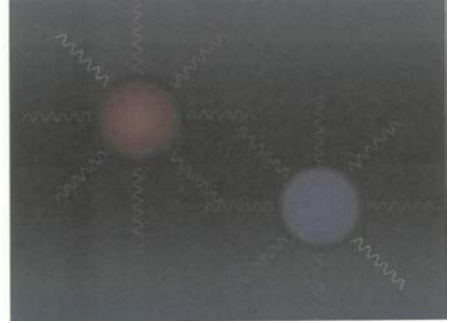
Bir yıldız ışığının bileşiminde bulunan renklerin incelenerek, yıldızın sıcaklığı ve atmosferinin yapısı belirlenebilir.

değildir). Kara cisim ışınının tayfında hata çok zordur; cismin ısıyla değişim gösterdiğinden kolaylıkla ayırt edilebilen bir biçimi vardır. Bu yüzden ısıtılı bir nesneden yayılan ışık, termometre gibi okunur. Farklı yıldızlarda gözlenen tayf her zaman kesinlikle bu biçimdedir; o yıldızın ısı durumunu gösteren bir etikettir.

Daha yakından baktıkça yıldız ışığının bize ifade ettikleri fazlaşır. Bazı özgül renklerin olmadığını ve bu eksik renklerin yıldızdan yıldızda değiştiğini biliyoruz. Kimyasal elementlerin karakteristik bir renk takımını soğurduğunu bildiğimizden, bu renkleri belli bir yıldızın tayfında eksik olan renklerle karşılaştırdığımızda, o yıldızın atmosferinde var olan elementleri kesin olarak saptayabiliriz.

1920'lerde gökbilimciler diğer galaksilerdeki yıldızların tayfına bakmaya başladıklarında, çok tuhaf bir şey buldular. Galaksimizdeki yıldızlarda olduğu gibi, o yıldızlarda da eksik renklerin kendilerine özgü bir modeli vardı, ancak var olan renklerin hepsi, aynı göreci oranda tayfa kırmızıya doğru kaymışlardı.

Bir fizikçi, bir rengin ya da frekansın kaymasını Doppler etkisi olarak tanımlar. Bu etkiyi ses alanında tanıyoruz. Yoldan geçen bir arabayı dinleyin; araba yaklaşırken motor -ya da korna- sesinin tizliği artar, araba geçip gittikten sonra, uzaklaşırken tizliği azalır. Arabanın motorunun ya da kornasının sesi, birbirini izleyen tepe ve çukurlardan oluş-

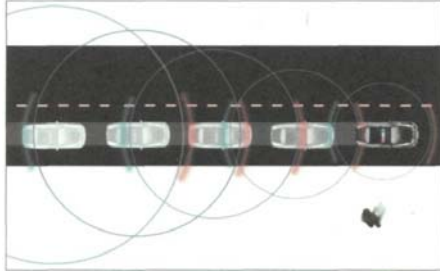


Kara cisim tayfı. Bütün nesneler -sadece yıldızlar

değil- mikroskobik unsurlarının ısı hareketinin sonucu olarak ışınım yayar. Bu ışınımındaki frekansların dağılımı, nesnenin ısı özelliklerini gösterir.

şan bir dalgadır. Araba bize doğru yaklaşırken, ses dalgaları yayar; hareket halindeki arabanın yaydığı dalgalar arasındaki mesafe -sesin dalgaboyu- duran bir arabadan daha kısadır. Dalgaboyu kısalıdıkça, her saniye kulağımıza ulaşan bu çalkalanma artacaktır; aynı şekilde sesin tizliği ya da frekansı da. Araba bizden uzaklaşırken sesin dalgaboyu daha uzun, kulağımıza erişen ses ise daha düşük frekansta olacaktır. Araba ne kadar hızlı hareket ederse, etki de o kadar büyüyeceğinden, Doppler etkisini hızı ölçmede kullanabiliriz. Işığa ya da radyo dalgalarında da işleyiş aynıdır. Gerçekten de polisler taşıtların hızını saptarken Doppler etkisini kullanırlar ve taşıtlardan yansıyan radyo dalgalarının boylarını ölçerler.

5. Bölüm'de değindiğimiz gibi, görüntür ışığın dalgaboyu çok çok küçüktür; bir santimetrenin kırk milyonda birinden, seksen milyonda birine kadar uzanır. İnsan gözünün görebildiği farklı renkler, ışığın farklı dalgaboylarıdır; tayfın bir ucundaki kırmızı renk en uzun dalga-boyuna, diğer ucundaki mavi renk ise en kısa dalgaboyuna sahiptir. Şimdi, bizden sabit uzaklıktaki bir ışık kaynağının -örneğin bir yıldızın- sabit dalgaboyunda ışık dalgaları yaydığını düşünelim. Bize ulaşan dalgaların boyları, yayıldıkları andaki dalgaboylarıyla aynı olacaktır. Sonra bu ışık kaynağının bizden uzaklaşmaya başladığını varsayalım. Tıpkı seste olduğu gibi, ışığın dalgaboyu uzayacak ve bu



Doppler etkisi.
Bir dalgalının kaynağı gözlemciye doğru hareket ettiğinde, dalgaboyları daha kısa görünür. Dalga kaynağı uzaklaştığında ise dalgaboyları daha uzundur. Bu duruma Doppler etkisi denir.

yüzden tayfın kırmızı ucuna doğru kayacaktır.

Başka galaksilerin varlığını katalıyan Hubble, bundan sonraki yıllarını galaksilerin uzaklıklarını kataloglayarak ve tayflarını gözlemleyerek geçirdi. O zamanlar daha çok, galaksilerin gelişigüzel bir şekilde hareket ettiği düşünülüyordu; bu nedenle Hubble, kızıl kayan tayflar kadar, mavile kayan tayflar da bulmayı bekliyordu. Bu nedenle, galaksilerin çoğunluğunun tayfında kızıl kaydıklarını bulmak çok şartıcı oldu; neredeyse hepsi bizden uzaklaşmaktaydı! Hubble'ın 1929'da yayımladığı bir bulgu daha da şartıcıydı: Bir galaksinin kızıl kayma miktarı bile gelişigüzel değildi, bize olan uzaklığıyla doğru orantılıydı. Bir başka deyişle, galaksi bizden uzak olduğu oranda hızlı uzaklaşıyordu! Bu da, önceden düşünülen tersine, evrenin duran olmadığını, büyüklüğünün değiştiği anlamını taşıyordu. Aslında evren genişlemekte, farklı galaksiler arasındaki mesafe her an büyümekteydi.

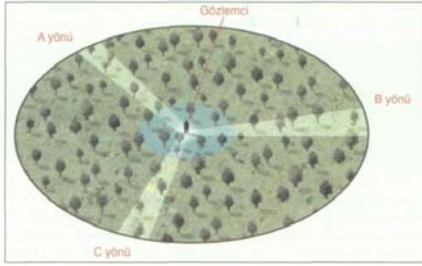
Evrenin genişlediği keşfi, XX. yüzyılın en büyük düşünce devrimlerinden biridir. Bunu öğrendikten sonra geriye bakıp, neden kimsenin bunu daha önce düşünemediğini merak ediyoruz. Newton ve diğerleri, duran bir evrenin dengesez olacağını fark edebilmiş olmalıydılar; çünkü duran bir evrende, birbirine etki eden bütün yıldızların ve galaksilerin kütleçekimi gücünü dengeleyecek gerilici bir kuvvet yoktur. Bu nedenle, evren bir dönem duran olmuş olsa bile, duran kalmayı sürdüremeyecekti, çünkü bütün yıldızların ve galaksilerin ortak kütleçekimi kuvveti çok geçmeden evrenin bütümlüme başlamasına neden

olacaktı. Aslında, evren epey yavaş genişlese bile, kütleçekimi kuvveti, sonunda onun genişlemesine son verecek ve evren bütümlüme başlayacaktır. Eğer evren kritik noktayı aşan bir hızla genişlese, kütleçekimi kuvveti asla genişlemeyi durdurabilecek güce ulaşamaz ve evren sonsuza kadar genişlemeyi sürdürür. Bu durum biraz, yeryüzünden uzaya bir roket fırlatıldığında olanlara benzer. Eğer roketin hızı düşürse, kütleçekimi sonunda roketi durdurur ve roket düşmeye başlar. Eğer roket kritik noktayı aşan bir hızla (saniyede yaklaşık on bir kilometre) sahipse, kütleçekimi kuvveti onu geri çekebilecek güce olmayacak ve roket yeryüzünden uzaklaşmayı sürdürecektir.

XIX., XVIII., hatta XVII. yüzyılın sonlarında Newton'un kütleçekimi kuramına bakarak evrenin bu işleyişi tahmin edilebilirdi. Ancak duran evren inancı o kadar güçlüydü ki, XX. yüzyılın başlarına kadar inatla varlığını sürdürdü. 1915'te genel görelilik kuramını kesinleştiren Einstein bile evrenin duran olduğundan o kadar emindi ki, bu sonucu mümkün kılmak için kuramını değiştirerek, denklemlerine kozmolojik sabit denilen uydurma bir sayı ekledi. Kozmolojik sabitin yeni bir "kütleçekimi karşıtı" kuvvet olarak etkisi vardı ve bu kuvvet, diğer kuvvetlerin tersine, belirli bir kaynaktan gelmiyordu, uzay-zamanın kendi yapısı içinde yaratılıyordu. Bu yeni kuvvet yüzünden uzay-zaman, yapısından kaynaklanan bir genişleme eğilimi gösteriyordu. Einstein kozmolojik sabiti kuramına uygun hale getirmekle, bu eğilimin gücünü de uyarlamış oluyordu. Bu gücü, evrendeki bütün maddelerin ortak çekim gücünü dengeleyecek biçimde uyarlayabileceğim ve sonuçta duran bir evrene ulaşabileceğimi bulmuştum. Einstein daha sonra kozmolojik sabiti reddetti, bu uydurma sayıyı "en büyük hatası" olarak gördü. Birazdan göreceğimiz gibi, Einstein'ın bu kuramı ileri sürmekte haklı olabileceğine bugün inanmamızı sağlayacak bir nedenimiz var. Ancak Einstein'ın hayal kırıklığına uğratan şey, duran evren inancının, görelilik kuramının -evrenin genişlemekte olduğu- kestirimine üstün gelmesine izin vermedi. Öyle görünyor ki, yalnızca bir kişi, genel görelilik kuramının bu kestirimini tam olarak değerlendirmişti. Einstein ve diğer fizikçiler genel görelilik kuramının statik olmayan evreninden kaçmaya çalışırken, Rus fizikçi ve matematikçi Alexander Friedmann, evrenin genişlemekte olduğunu açıklamaya koyulmuştu.

Friedmann evren hakkında çok basit iki varsayımı bulundu. Hangi yöne bakarsak bakalım evren aynı görünüyor; evreni hangi noktadan gözlemlesek gözlemleyelim bu doğru olur. Sadece bu iki düşüncesiyle Friedmann, genel göreliliğin denklemlerini çözerek, evrenin statik olmasının beklenemeyeceğini gösterdi. Böylece 1922'de, Edwin Hubble'ın keşfinden birkaç yıl önce, onun keşfedeceği şeyin tam bir kestiriminde bulundu!

Evrenin her yönde aynı görüldüğü varsayımı, gerçekte tam olarak



İzotropik orman.

Bir ormandaki ağaçların dağılımı tekbicimlî olsa bile, yakındaki ağaçlar grup halinde görülür. Aynı şekilde, evren bize yakın yerlerde tekbicimlî görünmez, ancak geniş ölçekte hangi yöne bakarsak bakalım, gördüğümüz aynı olacaktır.

doğru değildir. Örneğin, daha önce gördüğümüz gibi, galaksimizdeki yıldızlar, Samanyolu dediğimiz belirgin bir ışık kuşağı oluştururlar. Ancak uzak galaksilere baktığımızda, her yönde aşağı yukarı aynı sayıda oldukları görülür. Yani evren, galaksiler arasındaki uzaklıklara oranla büyük ölçeklerle bakıldığında ve küçük ölçeklerde ortaya çıkan farklar göz ardı edildiğinde, her yönde yaklaşık aynı görünür. Ağaçların rasgele büyüdüğü bir ormanda olduğunuzu düşünün; bir yöne baktığınızda en yakındaki ağaç bir metre uzaklıkta olabilir. Diğer yöne baktığınızda da en yakındaki ağaç üç metre uzaklıkta olabilir. Üçüncü yönde, iki metre uzaklıkta bir ağaç kümesi görülebiliriz. Orman her yönde aynıymış gibi görünmemektedir; ama bir ortaklaştıra bir bölgenin içindeki ağaçlara baktığınızda, farklılıklar ortalamaya bir düzeye inecek, hangi yöne bakarsanız bakın orman aynı görünecektir.

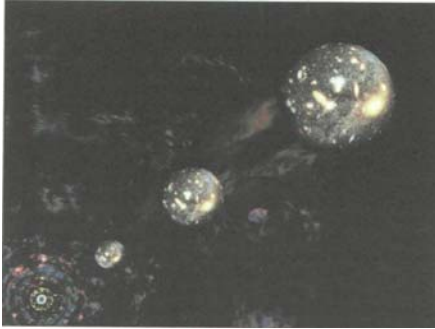
Yıldızların tekbicimlî dağılımı, Friedmann'ın varsayımı için -gerçek evrene kabaca yapılmış bir yaklaşım olarak uzunca bir süre yeterli bir gerekçe oldu. Ancak yakınlarda, aslında Friedmann'ın varsayımındaki bir başka yönün, evreni olağanüstü doğrulukta tanımladığı, şans eseri ortaya çıktı. 1965'te, New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuvarları'nda çalışan iki Amerikalı fizikçi, Arno Penzias ve Robert Wilson çok duyarlı bir dalga dedektörünü deniyorlardı. (Mikrodalgaların tıpkı ışık dalgaları gibi olduklarını, ama dalga boylarının bir santim civarında olduğunu hatırlayın.) Penzias ve Wilson, dedektör gereğinden fazla ses topladığı için endişeliydiler. Dedektörün içinde kuş pisliği bulduktan sonra

başka bozukluk olup olmadığına baktılar ve bütün olasılıkları eleddiler. Ses, Dünya kendi ekseninde ve Güneş'in etrafında döndüğü halde, o gün, o gece ve yıl boyunca aynı kaldı. Dünya'nın eksenî üzerinde ve Güneş'in etrafında dönmesi dedektörün uzayda farklı yönlere çevrilmesine neden olduğundan, Penzias ve Wilson sesin Güneş sisteminin, hatta galaksinin ötesinden geldiği sonucuna vardılar. Ses, uzayın her yönünden eşit olarak geliyor gibiydi. Hangi yöne bakarsak bakalım sesin ancak çok küçük miktarda değişiklik gösterdiğini artık biliyorduk; böylece Penzias ve Wilson farkında olmadan, Friedmann'ın evrenin her yönde aynı olduğunu söyleyen varsayımının çarpıcı bir örneğine denk gelmiş oldular.

Bu kozmik sesin kaynağı neydi? Penzias ve Wilson dedektörlerindeki sesi araştırdıkları sırada, Princeton Üniversitesi'ndeki iki Amerikalı fizikçi, Bob Dicke ve Jim Peebles de mikrodalgaların ilgilieniyorlardı. Georges Gamov'un (bir zamanlar Friedmann'ın öğrencisiydi) evrenin başlangıçta çok sıcak, yoğun ve akkor ışıltısında olduğu savı üzerine çalışıyorlardı. Dicke ve Peebles, evrenin uzak bölümlerinin ışığı bize ancak ulaşacağından ilk evrenin ışıltısını hâlâ görebilmemizin gerektiğini savundular. Ancak bu ışık, evrenin genişlemesi yüzünden o kadar kıza kaymış olmalıydı ki, onu görürüz ışık olarak değil, ancak mikro-dalga ışınmı olarak görülebilirdik. Dicke ve Peebles bu ışınmı araştırmaya hazırlanırken, Penzias ve Wilson onların çalışmalarını duyular ve ışınmı bulmuş olduklarını anladılar. Penzias ve Wilson bu yüzden 1978 Nobel Ödülü'nü aldılar. (Bu, Gamov'un yanı sıra, Dicke'e ve Peebles'e de haksızlıktı.)

Baktığımız her yönde evrenin aynı görüldüğünü gösteren bütün bu kanıtlar, ilk bakışta evrende özel bir yerimiz varmış izlenimini verebilir. Özellikle de, bütün diğer galaksilerin bizden uzaklaştığını gözlemliyorsak, evrenin merkezinde olduğumuzu düşünebiliriz. Yine de bir başka açıklama daha var: Evren bir başka galaksiden bakıldığında da her yönde aynı görülebilir. Bu, Friedmann'ın ikinci varsayımıdır.

Bu varsayımın yanında ya da karşısında olan hiçbir bilimsel kanıtımız yok. Yüzyıllarca önce Kilise bu varsayımı sapkınlık olarak kabul ederdi, çünkü Kilise öğretisine göre evrenin merkezinde, özel bir yer işgal ediyorduk. Ancak bugün Friedmann'ın varsayımına neredeyse tam karşıt bir nedenle, bir tür tevazuyla inanıyoruz: Eğer evren diğer noktalardan değil, sadece bizim bulunduğumuz yerden aynı görünüyor olsaydı asıl olağanüstü durum bu olurdu! Friedmann'ın evren modelinde bütün galaksiler birbirlerinden uzaklaşır. Bu durum, üzerine benekler çizilmiş bir balonun durmadan şişirilmesi benziyor. Balon genişledikçe iki benek arasındaki uzaklık artar, ama herhangi bir benegin genişlemenin merkezinde olduğu söylenemez. Dahası, balonun yaracağı sürekli artarken, beneklerin birbirlerinden uzaklaşma hızı da artar.



Genişleyen balon evreni.

Evrenin genişlemesi sonucunda, bütün galaksiler birbirlerinden uzaklaşır. Zamanla, tıpkı şişirilen bir balonun üzerindeki benekler gibi, uzaktaki galaksiler, yakındakilerden daha fazla uzaklaşır. Bu nedenle, herhangi bir galaksidedeki bir gözlemciye, daha uzaktaki galaksi, daha hızlı hareket ediyormuş gibi görünür.

Örneğin, balonun yarıçapının bir saniyede iki katına çıktığını düşünelim. Daha önce iki benek arasındaki uzaklık (balonun yüzeyinde yapılan ölçüme göre) bir santimetreyken, iki santimetre olacaktır. Bu durumda beneklerin göreceli hızı, saniyede bir santimetredir. Öte yandan, aralarındaki uzaklık önceden on santimetre olan iki benek arasında ise yirmi santimetre olacaktır ki, bunların uzaklaşma hızı da saniyede on santimetredir. Aynı şekilde, Friedmann'ın modelindeki galaksinin birbirinden uzaklaşma hızı aralarındaki uzaklıkla doğru orantılıdır; böylece bir galaksinin kızıla kayması, bizden uzaklığıyla doğru orantılıdır kestirimi tam olarak Hubble'ın bulduğu şeydir. Friedmann'ın çalışmaları, bu modeldeki başarısına ve Hubble'ın gözlemlerini önceden görmesine rağmen, Batı'da hemen hiç bilinmedi; ta ki 1935'te Amerikalı fizikçi Howard Robertson ve İngiliz matematikçi Arthur Walker, evrenin tekbicimli genişlemesini keşfeden Hubble'a karşılık benzer modeller keşfedinceye kadar.

Friedmann sadece bir evren modeli türetmişti. Ancak onun varsayımları doğrusu, Einstein'ın denklemlerinin gerçekten mümkün olan üç çözümü vardı, yani Friedmann'ın üç farklı modeli ve evrenin gidebileceği üç farklı yol.

İlk çözümlemede (Friedmann'ın bulduğu gibi) evren, farklı galaksiler arasındaki kütleçekimi kuvvetinin genişlemeyi yavaşlatmasına ve sonunda durdurmasına yetecek kadar yavaş genişlemektedir. Böylece galaksiler birbirine doğru hareket etmeye başlar ve evren büzülür. İkinci çözümlemede evren öyle hızlı genişlemektedir ki, kütleçekimi kuvveti genişlemeyi biraz yavaşlatsa bile durduramaz. Ve son olarak üçüncü çözümlemede evren, çökmesine meydan vermeyen bir hızda genişlemektedir. Galaksilerin birbirinden uzaklaşma hızı gittikçe azalır, ama hiçbir zaman sıfır noktasına erişmez.

Friedmann'ın ilk modelinde dikkat çeken bir özellik de, evren uzayda sınırsız değildir, ama uzayın da sınırı yoktur. Kütleçekimi o kadar güçlüdür ki, uzay kendi üzerine bükülmüştür. Bu daha çok Dünya'nın yüzeyine benzer, sonu vardır, ama sınırları yoktur. Dünya'nın yüzeyinde belirli bir yöne doğru gitmeyi sürdürdüğünüzde, ne geçilemez bir sınırla karşılaşsınız, ne de kenarından aşağıya düşersiniz; sonunda başladığınız noktaya geri dönersiniz. Bu modelde uzay tıpkı böyledir; ancak dünyanın yüzeyi gibi ikiboyutlu değil, üçboyutludur. Evrenin çevresini dolanıp, aynı noktaya varmak iyi bir bilimkurgu öyküsü olmakla birlikte, pratikte pek fazla değer taşımaz, çünkü siz etrafındaki turunuzu tamamlayamadan evrenin çokerek sıfır noktasına geri döneceği ispat edilebilmiştir. Evren o kadar büyüktür ki, çokmeden önce başladığımız noktaya geri dönebilmeniz için ışıktan daha hızlı yol almanız gerekir ve bu mümkün değildir! Friedmann'ın ikinci modelinde de, farklı bir biçimde olmasına rağmen, uzay eğrilmiştir. Sadece üçüncü modelde evrenin büyük ölçekli geometrisi düzdür (ancak uzay, büyük nesnelerin çevresinde hâlâ bükülmüş ya da eğridir.)

Friedmann'ın hangi modeli evrenimizi tanımlıyor? Evren sonunda genişlemeye son verip büzölmeye mi başlayacak, yoksa sonsuza kadar genişlemeyi sürdürecektir mi?

Bu soruların yanıtlarının, bilimcilerin başlangıçta düşündüğünden daha karmaşık olduğu ortaya çıktı. En temel çözümleme iki şeye dayanıyor, evrenin şimdiki genişleme hızına ve evrenin şimdiki ortalama yoğunluğuna (uzayın belli bir hacimdeki madde miktarına). Onu durdurabilecek kütleçekimi kuvvetinin, genişleme hızı oranında büyük olması gerektiğinden madde yoğunluğunun daha da büyük olması gerekiyor. Ortalama yoğunluk, (genişleme hızıyla belirlenen) belirli bir kritik değerdense büyükse, evrendeki maddenin kütleçekimi kuvveti genişlemeyi durdurabilecek ve onun çökmesine neden olacaktır ki bu, Friedmann'ın ilk modeline uymaktadır. Ortalama yoğunluk kritik değerin altındaysa, genişlemeyi durdurabilecek kütleçekimi kuvveti olmayacak ve evren sonsuza kadar genişleyecektir ki bu da Friedmann'ın ikinci modeline uymaktadır. Ve eğer evrenin ortalama yoğunluğu tam kritik değerdense, o zaman genişleme gittikçe yavaşlayacak, ama asla durağan konuma

gelmeyecektir. Bu da Friedmann'ın üçüncü modeline uymaktadır.

Peki hangisi? Evrenin şimdiki genişleme hızını, diğer galaksilerin birbirlerinden uzaklaşma hızlarını Doppler etkisiyle ölçerek saptayabiliriz. Bu çok doğru bir şekilde yapılabilir. Yine de galaksilerin uzaklığı çok iyi bilinemez, çünkü bu uzaklıkları ancak dolaylı olarak ölçebiliriz. Yani bütün bildiğimiz, evrenin her bir milyar yılda bir, yüzde beş ile on arası oranda genişlediğidir. Evrenin bugünkü ortalama yoğunluğuna dair belirsizlik daha da büyüktür. Yine de, galaksimizde ve diğer galaksilerde görebildiğimiz bütün yıldızların kütlelerini topladığımızda çıkan sonuç, tahmin edilen en düşük genişleme hızı için dahi, genişlemeyi durdurmak için gereken miktarın yüzde birinden daha az olacaktır.

Ancak öykü bu kadarla kalmıyor. Bizim galaksimizin ve diğer galaksilerin doğrudan göremediğimiz, ancak var olduklarını galaksilerdeki yıldızların yörüngelerine yaptıkları kütleçekimi etkisinden anladığımız büyük miktarda "kara madde" içermesi gerekiyor. Belki de bunun en iyi kanıtı, Samanyolu gibi sarmal galaksilerin dış kısımlarında kalan yıldızlardır. Bu yıldızlar, galaksilerinin etrafındaki yörüngelerinde o kadar hızlı dönerler ki, yörüngelerinde kalmalarını ancak gözlemlenen galaksi yıldızlarının kütleçekimi kuvvetleri sağlar. Dahası, pek çok galaksi kümeler halinde bulunur; bu kümelerdeki galaksilerin arasında daha fazla kara madde bulunduğunu, maddenin galaksilerin hareketlerine yaptığı etkiden anlarız. Aslında kara maddenin toplamı, evrendeki sıradan maddenin toplamını geçer. Bütün bu kara maddeyi topladığımızda, genişlemeyi durdurmaya yetecek maddenin ancak yüzde onunu buluruz. Fakat, evrene neredeyse aynı şekilde dağılmış, henüz keşfedemediğimiz, evrenin yoğunluğunu daha da artıracak kara madde türleri olabilir. Örneğin, adına nötrino denilen, maddeyle çok zayıf bir şekilde etkileşen ve fark edilmesi olağanüstü zor olan bir temel parçacık türü var (son yapılan nötrino deneyinde, yer altında elli bin ton suyla doldurulmuş bir dedektör kullanıldı). Nötrinonun kütsüz olduğu ve bu yüzden de kütleçekimi gücü olmadığı düşünüldü; ancak son birkaç yılda yapılan deneyler, nötrinonun daha önce keşfedilememiş küçük bir kütleyle sahip olduğunu gösteriyor. Kütsüz olduğuna göre nötrino bir tür kara madde olabilir. Yine de evrende, nötrino bir tür kara madde olsa bile, genişlemeyi durdurmak için gerekenden çok daha az madde var; bu nedenle son zamanlarda fizikçilerin çoğunluğu, Friedmann'ın ikinci modelini uygulama konusunda hemfikirler.

Sonra yeni gözlemler yapıldı. Son birkaç yıl içinde bazı araştırma grupları Penzias ve Wilson'un üzerinde çalıştıkları mikrodalga fon ışınının minik dalgalıcalarını incelediler. Bu dalgalıcalar, evrenin geniş ölçekli geometrisinin göstergesi olarak kullanılabildi ve işaret ettiklerine göre evren (Friedmann'ın üçüncü modelinde olduğu gibi) düzdü! Bunu açıklamak için yeterince madde ve kara madde olmadığı için fi-

zikçiler, henüz bulunmamış olmakla birlikte başka bir maddenin, kara enerjinin var olduğu postulasını kurdular.

Daha başka gözlemler durumu daha da karmaşık hale getirerek, evrenin genişleme hızının aslında yavaşlamadığını, daha da hızlandığını gösteriyor! Friedmann'ın modellerinin hiçbirinde bu yok! Ancak uzaydaki madde, ister yüksek, ister düşük yoğunlukta olsun, genişlemeyi yavaşlatabileceğinden, bu çok tuhaf bir durum. Kütleçekimi, her şey e rağmen çekim gücüne sahiptir. Kozmik genişlemenin ivme kazanması, patlamadan sonra dağılmak yerine güç kazanan bir bombanın durumuna benziyor. Kozmosun gittikçe hızlanan bir şekilde genişlemesine neden olan kuvvet ne olabilir? Henüz kimse bilmiyor, ama bu durum Einstein'ın kozmolojik sabite (ve onun kütleçekimi karşısı gücüne) ihtiyaç duymasını haklı çıkaran bir kanıt olabilir.

Hızla gelişen teknoloji ve uydulara bağlı büyük teleskoplar sayesinde evren hakkında yeni ve şaşırtıcı şeyler öğreniyoruz. Artık daha sonrası için evrenin işleyişinin nasıl olacağını iyi biliyoruz; evren gittikçe artan bir hızla genişlemeye devam edecek. Zaman, en azından bir kara deliğe düşmeyecek kadar tedbirli olanlar için sonsuza kadar sürecek. Peki ya çok eski dönemlerde ne oldu? Evren nasıl başladı ve onun genişlemesine yol açan ne?

Büyük patlama, kara delikler ve evrenin evrimi

Friedmann'ın ilk evren modelinde dördüncü boyut olan zamanın -uzay gibi- genişlemesi sonludur. Zaman, iki ucu ya da sın olan bir çizgiye benzer. Zamanın sonu olduğuna göre, bir başlangıcı da olmalıdır. Aslında, Einstein'ın evrende belli miktarda madde olduğunu söyleyen denklemlerinin bütün çözümlerinin çok önemli bir özelliği paylaştığını görüyoruz; geçmişte bir zamanda (yaklaşık 13,7 milyon yıl önce) komşu galaksiler arasındaki uzaklık sıfır olmalıydı. Bir başka deyişle, bütün evren sıfır büyüklüğündeki tek bir noktaya -sıfır yarıçaplı bir küreye- sıkışmıştı. O zaman evrenin yoğunluğu ve uzay-zamanın eğriligi sonsuz olmalıydı. Bu, büyük patlama dediğimiz zamandır.

Kozmolojiye ait bütün kuramlarımız, uzay-zamanın hareketsiz ve ne-redeyse düz olduğu varsayımlarına göre formüle edilmişlerdir. Böylece bütün bu kuramlarımız büyük patlamaya yerle bir oldu: Sonsuz eğiklikte bir evrene hemen hemen düz demek mümkün değildir! Büyük patlamadan önce olaylar meydana gelmiş olsa bile, bu kuramları daha sonra ne olacağını belirlemekte kullanamayız, çünkü büyük patlamayla birlikte önceden kestirilebilirlik ortadan kalkar.

Aynı şekilde, şimdiki gibi, sadece büyük patlamadan sonra olanları bilesek de, patlama öncesinde neler olduğunu saptayamayız. Kanımızca büyük patlamadan önce olanların bir sonucu yoktur ve bu nedenle evrenin bilimsel modelinin parçası olamazlar. Bu nedenle patlama öncesini model dışında bırakıp, zamanın başlangıcının büyük patlama olduğunu söyleyebiliriz. Bu demektir ki, büyük patlamanın koşullarını kim hazırladı türünden sorular, bilimin ilgilendiği türde sorular değildir.

Evren sıfır büyüklüğündeyse ortaya çıkan bir diğer sonsuzluk sıclıktır. Büyük patlama sırasında evrenin sonsuz sıclıkta olduğu düşünüldü. Evren genişledikçe ısıının ısısı düşmüştür. İki basit bir şekilde, parçacıkların ortalama enerjisinin -ya da hızının- ölçüsü olduğundan, evrenin soğuma sürecinin, evrenin içindeki madde üzerinde etkisi çok büyük olmuştur. Çok yüksek ısılarda parçacıklar o kadar hızlı hareket ederler ki, birbirlerinin çekim alanlarında kaçabilirler ve bu durum sonuçta nükleer ya da elektromanyetik kuvvetlerin ortaya çıkma-

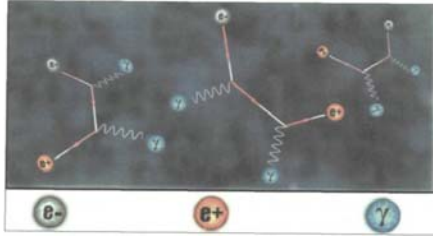
sına neden olur; ancak soğumakta olan parçacıkların bir küme oluşturmaya başlamak üzere birbirlerini çekmeleri beklenir. Evrende bulunan parçacıkların türleri bile ısıya ve dolayısıyla evrenin yaşına bağlıdır.

Aristoteles, maddenin parçacıklardan oluştuğuna inanmıyordu. Maddenin sürekli olduğuna inanıyordu. Yani ona göre bir madde parçası sonsuza kadar daha küçük parçalara bölünebilirdi; daha küçük bir parçaya bölünemeyecek madde parçası olamazdı. Ancak, Demokritos gibi birkaç Yunanlı, maddenin özünde zerreciklerden oluştuğunu ve her şeyin çok sayıda ve farklı türlerdeki atomlardan yapıldığını savunuyorlardı. (Yunancada *atom* sözcüğü, "bölünemez" demektir.) Günümdüzde bunun doğru olduğunu biliyoruz; en azından kendi çevremizde ve evrenin şimdiki durumunda bu doğru. Ancak evrenin atomları ne her zaman vardı ne de bölünemezdi ve evrendeki parçacıkların ancak küçük bir bölümünü temsil ediyorlardı.

Atomlar, elektron, proton ve nötron denilen daha küçük parçacıklardan oluşur. Protonlar ve nötronlar, kuvarik denilen daha da küçük parçacıklardan oluşur. Dahası, bu her bir atomaltı parçacığa denk düşen bir karşıt parçacık vardır. Karşıt parçacıklar, kardeş parçacıklarıyla aynı kütleye sahiptir, ama yükleri ve diğer özellikleri zıttır. Örneğin, bir elektronun karşıt parçacığın pozitron denir, elektronun karşıtı olarak pozitif yüklüdür. Karşıt parçacıklardan yapılmış karşıt dünyalar ve karşıt insanlar olabilir. Ancak bir parçacıkla karşıt parçacık karşılaştıklarında birbirlerini yok ederler. Yani, eğer karşıt benliğinizle karşılaşırsanız, el sıkışmayın, büyük bir ışıık patlaması içinde ikiniz de kaybolabilirsiniz!

Işık enerjisi bir başka tür parçacıktır; bu kütleless parçacığa foton denir. Yakınıımızdaki Güneş'in nükleer ocağı, dünyanın en büyük foton kaynağıdır. Güneş aynı zamanda bir başka tür parçacığın, daha önce sözünü ettiğimiz nötrininon (ve antinötrininon) da en büyük kaynaklarından biridir. Fakat bu olağanüstü hafif olan parçacıklar maddeyle etkileşime giremez ve dolayısıyla her saniye milyonlarca nötrino bizi hiç etkilemeden içimizden geçip gider. Bütün olarak fizikçiler düzinelerce temel parçacık keşfetmiştir. Zamanla, evren karmaşık bir evrim geçirirken, bu farklı yapılarıdaki parçacıkların özellikleri de evrimleşti. Dünya gibi bir gezegenin ve bizim varlığımızın nedeni işte bu evrimdir.

Büyük patlamadan bir saniye sonra evren, ısının on milyar santigrat düşmesine yetecek kadar genişledi. Bu, Güneş'in merkezindeki ısının bir katıdır ve bu derece yüksek ısıda ancak hidrojen bombasının patlamasında ulaşılır. Bu şurada evrende daha çok fotonlar, elektronlar, nötrino ve bunların karşıt parçacıklarıyla birlikte, bir miktar proton ve nötron vardı. Bu parçacıkların enerjisi o kadar büyük oldu ki, karşıtıklarında pek çok farklı parçacık-karşıt parçacık çiftleri yaratılır. Örneğin, çarpışan fotonlar bir proton ve onun karşıt parçacığı pozitronu yaratabilir. Bu yeni oluşan parçacıklar, karşıt parçacık olan kardeşleri-



Foton-elektron-pozitron dengesi.

Evrenin ilk dönemlerinde, fotonları oluşturmak üzere çarpışan elektron ve pozitron çiftleri arasında ve tersi süreçte bir denge vardı. Evrenin ısısı düştükçe, denge foton yaratmaktan yana değişti. Sonunda evrendeki elektron ve pozitronların çoğu birbirlerini yok ettiler ve günümüze kadar gelebilen çok az elektron kaldı.

le çarpışır ve yok olurlar. Bir elektron bir pozitronla her karşılaştığında, ikisi de yok olur; ancak bunun tersi olan süreç o kadar kolay değildir; iki kütsüz parçacığın, örneğin fotonların elektron ve pozitron yaratması gibi, bir parçacık-karşı parçacık çifti yaratması için, çarpışan kütsüz parçacıkların asgari düzeyde enerjisinin olması gerekir. Çünkü bir elektronun ve pozitronun kütsesi vardır ve yeni yaratılmış olan bu kütsenin, çarpışan parçacıkların enerjisinden doğması gerekir. Evren genişlediği ve ısı düştüğü sürece elektron-pozitron çiftlerini yaratabilecek enerjiyle dolu çarpışmalar, hızının birbirini çok etme hızının çok daha altında gerçekleşir. Böylece elektron ve pozitron çiftlerinin çoğu, daha çok foton üretmek üzere birbirini yok eder, geriye oldukça az elektron kalır. Nötrino ve antinötrinoların, birbirleriyle ve başka parçacıklarla etkileşimleri çok zayıf olduğu için, birbirlerini pek yok etmez. Dolayısıyla bugün hâlâ var olmaları gerekir. Onları gözlemleyebiliyorduk, evrenin bu çok sıcak olan ilk evresi hakkında iyi bir ölçütümüz olabilir, ancak ne yazık ki, milyarlarca yıl soma enerjileri doğrudan gözlemlenemeyecek kadar azalmış olmalı (ama belki de onları dolaylı olarak saptayabiliriz).

Büyük patlamadan yaklaşık yüz saniye sonra evrenin sıcaklığı bir milyar dereceye, en sıcak yıldızların içlerinde sıcaklığı düşer. Bu sıcaklıkta, büyük kuvvet demlen bir kuvvet çok önemli bir rol oynayacaktır 11. Bölüm'de daha ayrıntılı olarak göreceğimiz büyük kuvvet, proton ve nötronların birbirlerine bağlanıp, çekirdeği oluşturmaları sağlayan kısa erimli bir çekim kuvvetidir. Yeterince yüksek ısıda, protonlar ve nötronlar hareket etmelerine ve böylece çarpışmalarından özgür ve ba-

şına buyruk bir şekilde çıkmalarına yetecek enerjiye sahip olurlar. Ancak bir milyar derecelik bir ısıda, büyük kuvvetin çekimiyle başa çıkabilmelerine yetecek enerjiye sahip olamazlar ve döteryum (ağır hidrojen) atomunun (bir proton ve bir nötron içerir) çekirdeğini oluşturmak üzere birbirlerine bağlanmaya başlarlar; ayrıca lityum ve berilyum gibi bazı ağır elementleri de oluştururlar. Sıcak büyük patlamada, protonların ve nötronların yaklaşık dörtte birinin helyum çekirdeğinin yanı sıra küçük bir miktar ağır hidrojene ve başka elementlere dönüştüğü de hesaba katılabilir. Geriye kalan nötronlar, sıradan hidrojen atomunun çekirdeğini oluşturmak üzere bozunarak protonlara dönüşür.

Evrenin bu sıcak erken döneminin tablosu ilk kez 1948'de, Georges Gamov ve öğrencisi Ralph Alpher tarafından ünlü bir gazetede yayımlandı. Gamov çok şakacı biriydi; nükleerbilimci Hans Bethe'yi makalenin altına ismini koymaya ikna ederek, makalenin yazar listesini, tıpkı Yunan alfabesinin ilk üç harfi, alfa, beta, gama gibi, Alpher, Bethe, Gamov olarak yayımlattı. Bu evrenin başlangıcından söz eden bir makale için çok uygun üstediydi! Bu makalede olağanüstü bir kestirimde bulunarak, evrenin çok sıcak erken dönemlerinden gelen ışımının günümüzde hâlâ var olabileceğini, ancak sıcaklığın mutlak sıfırın birkaç derece üzerine kadar düşmüş olabileceğini yazdılar. (Mutlak sıfır, -273 °C, maddenin hiç ısı enerjisi taşımadığı mümkün olan en düşük ısıdır.)

Penzias ve Wilson'un 1965'te buldukları ıste bu mikrodalga ışınımıydı. Alpher, Bethe ve Gamov'un bu makaleyi yazdıkları sırada proton ve nötronların çekirdeksel tepkimelerine dair pek bir şey bilinmiyordu. Evrenin erken dönemlerindeki değişik elementlerin oranlarına ilişkin o dönemde yapılan hesaplar oldukça hatalıydı; ancak bu hesaplar gelişen bilgilerimizin ışığında yeniden yapılmış ve artık gözlemlerle de tutarlı hale gelmiştir. Dahası, evrendeki maddenin dörtte birinin neden helyum olduğunu anlatmanın bir başka yolunu bulmak çok zor.

Ancak bu tablonun da sorunları var. Sıcak büyük patlama modelinde, evrenin ilk döneminde ısısın bir bölgeden diğerine akmasına yetecek zaman yoktu. Bu demekti ki, evrenin ıksel aşamasında her yerde ısı tamamen aynı derecedeydi; fon mikrodalganın baktığımız her yerde aynı sıcaklıkta olduğu gerçeğini açıklayabilmenin yolu bu. Dahası, genişlemenin başlama hızı kesin olarak belirlenmiyordu ki, çokmeden sakınmak için gereken kritik hızı yaklaşılabilsin. Evrenin niçin bu şekilde başladığını, bizim gibi varlıkları yaratmaya niyetlenen Tanrı'nın işi olarak görmem dışında, açıklamak çok zor. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde çalışan bir bilimci olan Alan Guth, çok sayıda değişik ıksel durum modelinin arasında, evrimleşerek bugünküne benzer bir evren yaratabilecek olan modeli bulmaya çalışırken, evrenin başlangıçta çok hızlı bir genişleme sürecinden geçmiş olabileceğini öne sürdü. Bunun şişmeye benzer bir genişleme olduğu söylenebilir; yani

bu, evren bir anda artan bir hızla genişledi demektir. Guth'a göre, evrenin yarıcağı, saniyenin küçücük bir bölümünde milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kat (1'den sonra otuz sıfır) artmıştı. Evrendeki her düzensizlik bu genişlemenin etkisiyle düzelmiştir, tıpkı balonun üzerindeki kırışıklıkların şişirilince kaybolması gibi. Böylelikle şişme, evrenin bugünkü düzgün ve tekbiçimli durumuna, pek çok farklı ve tekbiçimli olmayan başlangıç durumlarından evrimleşerek nasil geldiğini açıklar. Bu durumda, elimizde oldukça doğru bir evren tablosu olduğuna güvenebiliriz; en azından büyük patlamadan sonra bir saniyenin milyarda-trilyona birine kadar geri gidebiliriz.

Bu başlangıç kargasasından sonra, büyük patlamanın ilk birkaç saati içinde, helyum ve lityum gibi bazı elementlerin oluşumu durur. Bundan sonra, yaklaşık bir milyon yıl boyunca evren, pek başka bir şey olmadan genişlemeyi sürdürür. Nihayet, ısı birkaç bin dereceye düştüğünde, elektronlar ve çekirdekleri aralarındaki elektromanyetik çekimle başa çıkabilecekleri enerjiye artık sahip olmadıklarında, atomları oluşturmaya başlar. Evren bir bütün olarak genişlemeye ve soğumaya devam ederken, ortalamadan birazcık daha yoğun olan bazı bölgelerdeki ekstra kütleçekimi yüzünden genişleme yavaşlar.

Bu çekim, sonunda bazı bölgelerde genişlemeyi durdurur ve çökmelerine neden olur. Bu bölgeler çökerken, bu bölgelerin dışında kalan maddenin kütleçekimi, çöken bölgelerin yavaşça dönmeye başlamasına neden olabilir. Çöken bölge küçüldükçe daha hızlı dönmeye başlar; tıpkı buz patencisinin buzun üzerinde dönerken kollarını kapatmasıyla daha hızlı dönmeye başlaması gibi. Sonunda, bölge yeterince küçüldüğünde, kütleçekimi kuvvetini dengelemeye yetecek kadar hızlı dönmeye başlar ve böylece disk biçiminde dönen galaksiler doğar. Bu dönüş hareketine başlayamayan diğer bölgeler, elips galaksi denilen oval biçimli nesneleri oluşturur. Buralarda çökme durur, çünkü galaksinin tümü dönmek, tek tek parçalar galaksinin merkezi etrafında döner.

Zaman geçtikçe, galaksilerdeki hidrojen ve helyum gazları, kütleçekimlerinin altında çökerek, daha küçük bulutlara ayrılır. Bulutlar büzülürken ve içlerindeki atomlar birbirleriyle çarpıştıkça gazın sıcaklığı, nükleer kaynaşma tepkimesini başlatmaya yetecek kadar artar. Bu durumda hidrojen daha fazla helyuma dönüşür. Bu tepkime sonucu açığa çıkan ısı, kontrollü hidrojen bombası patlamalarında olduğu gibi, yıldızın parlamasına yol açar. Sıcının artması gazın basıncını, kütleçekimi kuvvetini dengeleyinceye kadar artırır ve gaz artık büzülmez. Bu durumda, birleşen bulutlar Güneşimize benzeyen yıldızları meydana getirir, hidrojeni yakıp helyuma dönüştürür ve çıkan enerjisi ısı ve ışık olarak yayar. Bu bir balonun durumuna benzer; balonu genişletmeye çalışan içindeki havanın basıncıyla, balonun küçülmesini isteyen lastiğin gerilimi arasında bir denge vardır.

Bulutlar yıldızları oluşturmak üzere bir kez birleştiğinde, kütleçekimi kuvvetini dengeleyen nükleer tepkimeden kaynaklanan ısı sayesinde yıldızlar uzun süre kararlı durumlarını korur. Yine de sonunda, yıldızın hidrojeni ve diğer nükleer yakıtı tükünür. Bir yıldızın, hareketi geçiren yakıt miktarının çokluğu oranında kısılan bir sürede tükenerek ölmesi bir paradokstur. Daha kütteli yıldızların kütleçekimi kuvvetini dengeleyebilmek için daha çok ısıya gerek duymaları buna yol açar. Yıldız ne kadar sıcaksa, nükleer kaynaşma tepkimesi o kadar hızlı olur ve çok geçmeden yıldız yakıtını tüketir. Güneşimizin bir beş milyar yıl daha sürmesine yetecek kadar yakıtı olduğu tahmin ediliyor; ancak daha yoğun kütteli yıldızları yakıtlarını evrenin yaşından çok daha kısa bir sürede, yaklaşık yüz milyon yıl içinde tüketebilirler.

Bir yıldızın yakıtı tükendiğinde soğumaya başlar ve kütleçekimi kuvveti baskın çıkarak büzelmeye yol açar. Bu büzülme atomları sıkıştırır ve yıldızın yeniden ısınmasına neden olur. Yıldız ısındıkça, helyumu, karbon ve oksijen gibi daha ağır elementlere dönüştürmeye başlar. Ancak bu durumda çok fazla enerji açığa çıkmayacağı için bir sorunla yüz yüze kalmacaktır. Bundan sonra ne olacağı tümüyle açık değil, ancak yıldızın merkezine yakın bölgelerin çökerek, kara delik gibi çok yoğun bir duruma geçmesi mümkündür. "Kara delik" kavramı daha çok yenidir. 1969'da, Amerikalı bilimci John Wheeler tarafından, en azından iki yüzyıl öncesine dayanan bir düşüncenin grafik tanımı olarak yaratılmıştır. O dönemde ışık hakkında iki kuram vardı: biri Newton'un onayladığı, ışığın parçacıklardan oluştuğunu söyleyen kuram, diğeri de ışığın dalgalardan oluştuğunu söyleyen kuram. Biz artık iki kuramın da doğru olduğunu biliyoruz. 9. Bölüm'de göreceğimiz gibi, kuvantum mekaniğinin dalga-parçacık ikiliğine göre, ışığın hem dalga, hem de parçacık olduğu söylenebilir. *Dalga ve parçacık* gibi tanımlamalar insanların yarattığı, doğanın, bütün bir fenomeni, kategorilerden birine ya da diğerine indirgerek uymak zorunda olmadığı kuramlardır!

Işığın dalgalardan oluştuğunu söyleyen kuramda, ışığın kütleçekimi kuvvetine nasıl tepki verdiği açık değildir. Ancak ışığın parçacıklardan meydana geldiğini düşünersek, bu parçacıkların kütleçekimi kuvvetinden tıpkı top gülleleri, roketler ve gezegenler gibi etkilmesini bekleriz. Özellikle de bir top güllmesini yerden gökyüzüne doğru atışıldığında, tıpkı roket gibi, yükselmeye başladığı hız belli bir değeri aşmıyorsa, sonunda durur ve geri düşmeye başlar. Bu en düşük hızı, kurtulma hızı denir. Bir yıldızın kurtulma hızı, kütleçekimi kuvvetinin çekme gücüne bağlıdır. Yıldızın kütteli ne kadar büyükse, kurtulma hızı da o ölçüde büyüktür. Başlangıçta ısı parçacıklarının sonsuz hızda yol aldığı ve bu yüzden kütleçekimi kuvvetinin bu parçacıkları yavaşlatmayacağı düşünülür; ancak Roemer'in ışığın hızının sonlu olduğunu keşfetmesiyle, kütleçekimi kuvvetinin önemli bir etkisinin olabileceği anlaşıldı; eğer

yıldız yeterli kütleyle sahipse, ışığın hızı, yıldızın kurtulma hızından daha düşük olabilirdi ve yıldızdan gelen ışık, yıldız geri dönebilirdi. Bu varsayım üzerine 1783'te, Cambridge'te öğretim üyesi olan John Michell, *Philosophical Transactions of Royal Society of London* dergisinde yayımlanan makalesinde, yeterli kütleyle sahip ve yoğun bir yıldızın, ışığın kurtulamayacağı güçte bir kütleçekimi alanına sahip olacağını belirtti. Yıldızın yüzeyinden yayılan her ışık, daha uzaklaşmadan yıldızın kütleçekimiyle geri sürüklenecekti. Böyle nesnelere artık kara delik diyoruz, çünkü gerçekte oldukları şey bu: Uzaydaki kara boşluklar.

Birkaç yıl sonra, Fransız bilimci Laplace Markisi, görüntüye bakılırsa Michell'den bağımsız olarak benzeri bir sav ileri sürdü. İlginç olan, Laplace bu savma *Exposition du systeme du monde* adlı kitabının ilk ve ikinci basımlarında yer verdi, daha sonraki basımlarında bu sav yer almıyordu. Belki de bunun çılgınca bir düşünce olduğuna karar vermişti; ışığın parçacık kuramı XIX. yüzyılda artık tutulmuyordu, çünkü dalga kuramıyla her şey açıklanabilirmiş gibi görünüyordu. Aslında, Newton'un kütleçekimi kuramında ışığı top gülleleri gibi ele almak tutarlı olur, çünkü ışığın hızı sabittir. Yeryüzünden yukarı doğru ateşlenen bir top güllesi kütleçekimi kuvveti yüzünden yavaşlayacak, sonunda duracak ve geri düşecektir; bir foton ise yukarı doğru sabit bir hızla gitmeyi sürdürür. Kütleçekimi kuvvetinin ışığı nasıl etkilediğini açıklayan tutarlı bir kuram, Einstein'ın genel göreliliği ileri sürdüğü 1915 yılı-



Kurtulma hızının altındaki ve üstündeki top gülleleri.

Yukarıya doğru gidenin aşağı düşmesi gerekmez; tabii yukarıya doğru kurtulma hızından daha hızlı ateşlenmişse.

na kadar ortaya çıkmadı; genel göreliliğe göre yoğun kütleli bir yıldız ne olacağıyla ilgili sorun, ilk kez 1939'da, genç bir Amerikalı olan Robert Oppenheimer tarafından çözüldü.

Oppenheimer'ın çalışmalarıyla ortaya çıkan tablo şöyle: Yıldızın kütleçekimi alanı, ışık ışınlarının uzay-zamanda geçtikleri yollar, yıldızın var olmadığı zamana göre değişir. Bu etki, Güneş tutulması sırasında gözlemlenen uzak yıldızlardan gelen ışığın bükülmesinde görülür. Uzay ve zaman içinde ışığın izlediği yol, yıldızın yüzeyine yakın yerlerde hafifçe içe doğru bükülür. Yıldız büzüldükçe daha da yoğunlaşır ve yüzeyindeki kütleçekimi alanı daha da güçlenir. (Kütleçekimi alanının, yıldızın merkezindeki bir noktadan yayıldığını düşünebilirsiniz; yıldız büzüldükçe, yüzeydeki noktalar merkeze daha da yaklaşır ve böylece daha güçlü alanlar olarak hissedilir.) Daha güçlü alanlar, ışık yollarının yüzeye yakın yerlerde daha çok içe bükülmelerine neden olur. Nihayet, yıldız belli kritik yarıçapa kadar büzüldüğünde yüzeyindeki kütleçekimi alanı o kadar güçlenir ki, ışık yolları içe doğru, ışığın artık kaçamayacağı bir noktaya kadar bükülür.

Görelilik kuramına göre hiçbir şey ışık kadar hızlı yol alamaz. Yani, ışık kurtulamıyorsa, hiçbir şey kurtulamaz; her şey kütleçekimi alanı tarafından geriye doğru sürüklenir. Çökmüş bir yıldız, uzay-zamanda bir bölge oluşturur ve bu bölgeden kurtulup, uzaktaki gözlemciye ulaşmak mümkün değildir. Bu bölge kara deliktir. Kara deliğin dış sınırına olay ufku denir. Bugün, görünen ışık yerine X-ışınına ve gama ışınlarına odaklanmış olan Hubble Uzay Teleskopu'na ve diğer teleskoplara minnettarız; artık kara deliklerin yaygın-insanların başlangıçta düşündüklerinden çok daha yaygın bir fenomen olduğunu biliyoruz. Bir uydı, uzayın tek bir küçük bölgesinde bin beş yüz kara delik saptadı. Ayrıca galaksimizin merkezinde de, Güneşimizden milyon kat büyük kütleli bir kara delik olduğunu da keşfettik. Bu olağanüstü kütleli kara deliğin, yörüngesinde ışık hızının yüzde ikisi kadar bir hızda dönen bir yıldız var; yani, bir atom çekirdeğinin etrafında dönen bir elektronun ortalama hızından daha hızlı dönen bir yıldız!

Bir yıldızın çökerek bir kara delik oluşturmaması ilzersek, gördüklerimizi anlayabilmek için, görelilik kuramında mutlak zamanın olmadığını anımsamamız gerekir. Bir başka deyişle, her gözlemci kendi zaman ölçüsüne sahiptir. Bir yıldızın yüzeyinde duran biri için zamanın akışı, uzaktaki birine göre farklıdır, çünkü yıldızın yüzeyindeki kütleçekimi alanı daha güçlüdür.

İçeride doğru çökmekte olan bir yıldızın yüzeyinde cesur bir astronot olduğunu varsayalım. Astronotun saatine göre belli bir zamanda -diyelim ki 11'de- yıldız büzülerek kritik yarıçapın altına inecek ve kütleçekimi alanı hiçbir şeyin kurtulamayacağı kadar güçlenecek. Astronotun aldığı talimatlar uyarınca, yıldızın merkezine sabit bir uzaklıkta dön-

mekte olan uzay gemisine her saniye bir sinyal gönderdiğini varsayalım. Astronot 10:59:58'de, yani 11'den iki saniye önce sinyal göndermeye başlar. Uzay gemisindeki arkadaşlarının sinyal kayıtları ne olur?

Daha önce, roketle yaptığımız düşünce deneyinden, kütleçekimi kuvvetinin zamanı yavaşlattığını biliyoruz; kütleçekimi güçlendikçe, etkisi de güçlenecektir. Yıldızın yüzeyindeki astronot, yörüngedeki arkadaşlarından daha güçlü bir kütleçekimi alanında bulunmaktadır; böylece astronotun saatinin bir saniyesi, diğerlerinin saatinde göre bir saniyeden uzun olacaktır. Ve yıldız içi doğru çökmeye başladığında, astronotun deney alanı gittikçe güçlenecek, gönderdiği sinyallerin aralıkları, uzay gemisin-dekiler için gittikçe uzayacaktır. Bu zaman uzaması 10:59:59'dan önce çok küçük olabilir ve gemideki astronotlar 10:59:58'de gönderilen sinyalle, bir sonraki sinyal arasında birazcık fazla bekleyebilir. Ancak 11 sinyali için sonsuza kadar beklemeleri gerekecektir.

Yıldızın yüzeyine 10:59:59 ile 11 arasında (astronotun saatinde göre) olanlar, uzay gemisine göre sonsuz bir zaman dilimine yayılacaktır. Saat 11'e yaklaşırken, yıldızdan ardi ardına gelen her ışık dalgasının tepesi ve çukuru arasındaki mesafe, tıpkı astronotun yolladığı sinyallerin aralıkları gibi, gitgide uzayacaktır. Işığın frekansı, bir saniyedeki dalgalarının tepelerinin ve çukurlarının sayısına eşit olduğuna göre, uzay ge-misindekiler için yıldızdan gelen ışığın frekansı gittikçe yavaşlayacak-tır. Böylece yıldızın ışığı gitgide kızıllaşıacak (ve gitgide sönükleşecek-tir). Sonunda yıldız o kadar sönükleşecektir ki, uzay gemisinden artık görülemeyecektir; yıldızdan geriye kalan sadece uzayda bir kara delik olacaktır. Yine de kara delik, yörüngesinde dönmekte olan uzay gemisine aynı kütleçekimi kuvvetini uygulamayı sürdürecektir.

Bu senaryo tümtüyle gerçekçi değil, çünkü bir sorunu var. Yıldızdan uzaklaştıkça kütleçekimi zayıflar; yani cesur astronomumuzun ayaklarını etkileyen kütleçekimi kuvveti, başını etkileyenden her zaman daha güçlü olacaktır. Kuvvetler arasındaki bu fark onun ya bir spageti gibi uzamasına yol açacak ya da yıldız, olay ufkunun oluşturduğu kritik yarıncaya ulaşmadan parçalanacaktır! Yine de evrende, galaksilerin merkez bölgeleri gibi çok daha büyük nesnelerin olduğunu biliyoruz; bunlar da, tıpkı bizim galaksimizin merkezindeki kara delik gibi, kara delikler oluşturmak üzere kütleçekimi çokintüsüne uğrayabilirler. Bunlardan birinin üzerindeki bir astronot, kara delik oluşmadan önce parçalanmayacaktır. Aslında, kritik yarıncaya ulaştığından hiçbir farklılık hissetmeyecek ve dönüşü olmayan noktayı hiç fark etmeden geçecektir; ancak bunun dışında kalanlar için astronotun yolladığı sinyallerin aralığı gittikçe uzayacak ve sonunda gelmez olacaktır. Ve birkaç saat içinde (astronotun saatine göre) bölge çökmeyi sürdüldükçe, astronotun başındaki ve ayaklarındaki kütleçekimi farklılığı öylesine güçlenecektir ki, parçalanmaktan kurtulamayacaktır.



Gelgit kuvvetleri.

Kütleçekimi kuvveti uzaklığa bağlı olarak azaldığı için Dünya, merkezine bir ya da iki metre yakın olan ayaklarınızı, başınıza uyguladığı kuvvetten daha güçlü çeker. Bu fark o kadar küçüktür ki hissetmeyiz, ancak bir kara deliğin yüzeyine yakın bir astronot, gerçekten parçalanacaktır.

Bazen, çok büyük kütleli bir yıldız çöktüğünde, yıldızın dış bölgeleri, supernova denilen muazzam bir patlamayla parçalanabilir. Bir supernova patlaması o kadar büyüktür ki, galaksisinde bulunan bütün yıldızların toplamından daha çok ışık çıkarabilir. Bunun bir örneği, Yengeç Bulutsusu olarak kalıntıları gördüğümüz supernova. Bu supernovayı Çinliler 1054'te kaydetmişler. Yıldız yaklaşık beş bin ışık yılı uzakta patlamasına rağmen, aylarca çıplak gözle görülebilmiş; o kadar parlakmış ki, gündüz bile görülebiliyor, geceleri ışığında okunabiliyor-muş. Beş yüz ışık yılı uzaklıktaki -yani onda biri uzaklıkta- bir supernova yüz kat daha parlak olacak ve geceyi gerçek anlamda gündüze çevirecektir. Böyle bir patlamanın şiddetini anlamak için Güneş'ten on milyon kat uzak olmasına rağmen, Güneş ışığına rakip olduğunu düşünün. (Bizim Güneşimizin sekiz ışık dakikası uzaklıkta olduğunu hatırlayalım.) Eğer yeterince yakınımızda bir supernova meydana gelmiş ol-

saydı, Dünya sağlam kalırdı; ama üzerindeki bütün canlıları öldürmeye yetecek miktarda ışınım yayardı. Aslında son zamanlarda öne sürülen bir sava göre, yaklaşık iki milyon yıl önce, Pleyistosen ve Pliyosen bölümleri arasında yaşamış deniz yaratıklarının birer birer ölmesinin nedeni, yakınlardaki Akrep-Erboğa birliğinde oluşan bir süpernovadan gelen kozmik ışın ışınımdır. Bazı bilimciler gelişmiş hayatın ancak çok fazla yıldız olmayan galaksilerin bulunduğu, "yaşam bölgelerinde" mümkün olduğunu düşünüyor; çünkü daha yoğun bölgelerde süpernova gibi fenomenler, gelişebilecek başlangıçların işini bitiriveriyorlar. Her gün evrenin bir yerlerinde ortalama yüzlerce bin süpernova patlaması oluyor. Herhangi bir galakside yüz yılda bir süpernova meydana geliyor. Ancak bu sadece ortalama. Ne yazık ki -en azından astronomlar için- Samanyolu'nda kaydedilen son süpernova 1604'te, teleskopun icadından önce gerçekleşmiş.

Galaksimizde gerçekleşmesi beklenen bir sonraki süpernovanın öndeeki adayı, Koltuk Takımıyıldızından *Rho*. Bizden on bin ışık yılı uzakta olduğu için güvende ve rahatsız. Bu, sarı hiperdevler olarak bilinen yıldızlardan biri; Samanyolu'nda bilinen sadece yedi tane sarı hiperdev var. Değişik uluslardan gelen bir astronom ekibi 1993'te bu yıldızı incelemeye başladı. Birkaç yıl içinde yıldızda, belli dönemlerde birkaç yüz derecelik işi iniş çıkışları olduğu gözlemlendi. Sonra 2000 yılının yazında yıldızın ısı birden 7 000 dereceden, 4 000 derecelere düştü. Bu süre içinde yıldızın atmosferinde titanyum oksit saplandı; bunun büyük bir şok dalgasıyla yıldızın dış kabuğunun bir parçasının kopması yüzünden olduğu düşünülüyor.

Bir süpernovada, yıldızın yaşamının sonuna doğru üretilmiş olan ağır elementler, galaksiye döner ve sonraki nesil yıldızlar için hammadda sağlar. Bizim Güneşimiz de bu ağır elementlerden yüzde iki oranında içerir. Güneşimiz, yaklaşık beş milyar yıl önce, önceki süpernovaların kalıntılarını taşıyan dönen bir gaz bulutundan oluşmuş, ikinci ya da üçüncü kuşak bir yıldızdır. O buluttaki gazın çoğu ya Güneş'in oluşumuna yaradı ya da patlayıp yok oldu; ancak ağır elementlerin küçük bir bölümü bir araya gelerek, şimdi Güneş'in etrafında dönen, Dünyamız gibi gezegenleri oluşturdu. Mücevherlerimizde kullandığımız altın, nükleer reaktörlerde kullandığımız uranyum, Güneş sistemimiz doğmadan önce ortaya çıkmış süpernovaların kalıntılarıdır!

Dünya yoğunlaşmaya başladığında çok sıcaktı ve atmosferi yoktu. Zamanla soğudu ve kayalaran çıkan gazlardan atmosferi oluştu. Bu ilk atmosfer yaşamımızı sürdürdükçeğimiz nitelikte değildi. İçinde oksijen yoktu, ama hidrojen sülfür (çürük yumurtaya kokusu veren gaz) gibi, bizim için zehirli pek çok gaz bulunuyordu. Yine de, böylece koşullarda gelişebilen ilkel yaşam biçimleri vardır. Bunların okyanuslarda gelişmiş olduğu düşünülüyor; atomların rasgele birleşmesinden

oluşan ve makromoleküller denilen büyük yapıları meydana getirmesi mümkündür. Makromoleküller, okyanustaki diğer atomları da bir araya getirme yeteneğine sahip olduklarından, benzer yapıların çoğalmaları sağladılar. Yani böylece, kendilerini yeniden üretiler ve çoğaldılar. Bazı durumlarda üretim hataları olacaktı. Bu hatalar çoğunlukla, makro-moleküllerin kendilerini üretmemeleriyle ve sonunda yok oldular. Ancak bazı hatalar, kendilerini daha iyi üreten yeni makromoleküllerin ortaya çıkmasına neden oldu. Bu, yeni makromoleküllerin daha üstün kıldı ve ilk makromoleküllerin yavaş yavaş yerini aldılar. Böylece başlayan evrim süreci, gititkçe daha karmaşık ve kendini üreten organizmaların gelişmesine yol açtı. İlk ilkel yaşam biçimleri, hidrojen sülfatı da içeren farklı maddeleri tüketiyor ve oksijen salıyorlardı. Bu durum atmosferi yavaş yavaş değiştirdi bugünkü bileşimine getirdi ve balıklar, sürüngenler, memeliler ve sonunda insan gibi daha yüksek yaşam biçimlerinin gelişmesini mümkün kıldı.

XX. yüzyıl, insanın evren hakkındaki görüşlerini değiştirdiğini gördü: Evrenin uçsuz bucaksızlığında gezegenimizin önemsizliğini fark ettik; zaman ve uzayın eğri ve ayrılmaz olduğunu, evrenin genişlediğini ve bir başlangıcı olduğunu keşfettik.

Evrenin başlangıçta çok sıcak olduğu ve genişlerken soğuduğu düşüncesi Einstein'ın kütleçekimi ve genel görelilik kuramına dayanıyor. Bugün sahip olduğumuz bütün gözlemsel kanıtların birbiriyle uyumması, bu kuramın büyük zaferidir. Ancak, matematik sensuz sayıları gerçekten kullanmadığı için, genel görelilik kuramı evrenin büyük patlamayla, evrenin yoğunluğunun ve uzay-zaman eğrilmesinin sensuz olduğu bir zamanda başladığını öne sürmekle, evrende kuramın kendisini yıkan ya da başarısızlığa uğratan bir noktadan varlığını da kestirimin-de bulunuyor. Bu nokta, matematikçilerin tekilliği dediği durumun bir örneğidir. Bir kuram sensuz yoğunluk ve eğrilme gibi tekillikleri öne sürdüğünde, bu durum, kuramın bir şekilde değiştirilmesi gerektiğinin işaretidir. Genel görelilik kuramı, evrenin nasıl başladığını söyleyemediği için tamamlanmamış bir kuramdır.

XX. yüzyılda genel görelilik kuramının yanı sıra, bir başka büyük parçacık kuramı olan kuantum mekaniği ortaya çıktı. Bu kuram, çok küçük ölçeklerde meydana gelen fenomenlerle ilgileniyor. Büyük patlama modeli bize, ilk evrenin çok çok küçük olduğunu söylüyor; evrenin büyük ölçekli yapışımın incelenen bile, kuantum mekaniğinin küçük ölçekli etkileri göz ardı etmemiz artık mümkün olamıyor. Bundan sonraki bölümde, evrenin başlangıcından sonuna kadar tam bir kavrayışa ulaşabilmek için taşıdığımız büyük umudun, bu iki kısmı kuramın tek kuramda, kütleçekimi kuantum kuramında birleştirilmesi olduğunu göreceğiz; bilimin sıradan yasalarının zamanın başlangıcı da dahil olmak üzere her yerde geçerli olduğu, herhangi bir tekillikle gerek duymayan bir kuram.

Kütleçekimi kuvantumu

Bilimsel kuramların, özellikle de Newton'un kütleçekimi kuramının başarısı, XIX. yüzyılın başında Laplace Markisi'ni, evrenin tümüyle belirlenimci olduğunu savunmaya götürdü. Laplace, evrende olabileceklerle ilgili kestirimde bulunmamızı -en azından ilkesel olarak- sağlayacak bir dizi bilimsel yasanın olması gerektiğine inanıyordu. Bu yasaların ihtiyaç duyacağı tek veri, evrenin herhangi bir zamandaki eksiksiz durumudur. Buna ilksel koşul ya da sınır koşulu deniyor. (Bir sınır, uzay-zamanda bir sınır anlamına gelebilir; uzaydaki bir sınır koşulu, evrenin dış sınırlarındaki -eğer varsa- durumudur.) Bir dizi eksiksiz yasaya ve elverişli ilksel koşula ya da sınır koşuluna dayanarak Laplace, evrenin herhangi bir zamandaki durumunu eksiksiz olarak hesaplayabileceğimize inanıyordu.

İksel koşulların gerekliliği, belki de sezgisel olarak ortadadır; şimdiki durumda söz konusu olan farklı varlık durumlarının gelecekte de farklı durumlara yol açacağı açıktır. Uzayda sınır koşullarına gerek duymak biraz daha belirsiz bir durumdur, ama ilke ayındır. Fiziksel kuramların temeli olan denklemlerin genelde çok farklı çözümlemeleri olabilir ve kullanılacak çözümlemeyi belirlemek için bir ilksel koşula ya da sınır koşuluna güvenmek gerekir. Bu birazcık, bankadaki hesabınızda büyük miktarlarda hareket olduğunu söylemeye benzer. İflas etmenizi ya da zengin olmanızı, sadece hesabınıza yatan ya da çekilen miktarlara değil, hesabınızı açarken ne kadar paranız vardı gibi, bir sınır koşuluna ya da ilksel koşula bağlıdır.

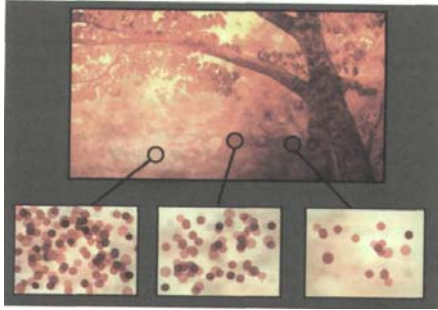
Eğer Laplace haklı olsaydı, evrenin şu andaki verili durumunda, bu yasalar bize hem gelecekte hem de geçmişte evrenin durumunu gösterecekti. Örneğin, Güneş'in ve gezegenlerin verili konumlarına ve hızlarına göre, Güneş sisteminin daha önceki ve daha sonraki durumunu hesaplamak için Newton yasalarını kullanabiliriz. Gezegenlerin durumunda belirlenimcilik oldukça anlaşılır bir durum; nihayetinde astronomlar tutulma gibi olayları çok doğru bir şekilde hesaplıyorlar. Ancak Laplace daha da ileri giderek, insan davranışları da dahil olmak üzere her şeyi yöneten benzer yasalar olduğunu varsaydı.

Bilimcilerin gelecekteki bütün eylemlerimizi hesaplamaları gerçekten mümkün mü? Bir bardak suda 10^{24} (İden sonra yirmi dört sıfır) molekül vardır. Deneyimlerimizin her bir molekülün durumunu, evrenin aşağı yukarı eksiksiz durumunu, hatta bedenlerimizin durumunu bilmeyi asla umamayız. Ancak evrenin belirlenimci olduğunu söylemek, hesap yapacak beyin gücüne sahip olmasak bile, geleceğimizi önceden kestirebiliriz demektir.

Bu bilimsel belirlenimcilik öğretisine, Tanrı'nın dünyayı uygun gördüğünce yönetme özgürlüğünün elinden alındığını düşünen pek çok kişi kuvvetle karşı çıktı. Ancak öğretisi, XX. yüzyılın ilk yıllarına kadar bilimin normal varsayımlarından biri olarak kaldı. Bu inancın terk edilmesi gerektiğini gösteren ilk işaret, İngiliz bilimciler Lord Rayleigh ve Sir James Jeans, yıldız gibi sıcak bir cismin yayması gereken ısınmı olan kara cisim ışınmını ölçtüklerinde geldi. (7. Bölüm'de belirttiği gibi, herhangi bir maddi cisim ısıtıldığında kara cisim ışınmı yayar.)

O sıralar inandığımız yasalara göre, sıcak bir cisim her frekansta eşit olan elektromanyetik dalgalar yaymalıydı. Eğer bu doğruysa, görülebilen ışığın tayfındaki her renkte, mikrodalgaların, radyo dalgalarının, X-ışınlarının vs her frekansında eşit miktarda enerji yaymalıydı. Bir dalganın frekansının, dalganın bir saniye içinde aşağı ve yukarı salınımının sayısı, yani bir saniyedeki dalga sayısı olduğunu anımsayalım. Matematiksel olarak, sıcak bir cismin her frekansta eşit dalgalar yayması demek, sıcak cismin saniyede sıfır ve bir milyon dalgalık frekanslarda, saniyede bir milyon ile iki milyon arasındaki frekanslarda, iki milyon ile üç milyon arasındaki frekanslarda (böyle sonsuza kadar gider) hep aynı miktarda ısı yayması demektir. Diyelim ki, sıfır ve bir milyon arasındaki frekansta, bir milyon ve iki milyon arasındaki frekansta dalgalar saniyede bir birimlik enerji yayıyorlar. Bu durumda bütün frekanslarda yayılan enerjinin toplamı $1 + 1 + 1 + \dots$ olarak sonsuza kadar gidecektir. Bir saniyedeki dalgaların sayısı sınırsız olduğundan, enerjilerin toplamı da sınırsız olacaktır. Bu mantığa göre, yayılan enerji toplamı sınırsız olacaktır.

Saçmalığı ortada olan bu sonuçtan kaçınmak için Alman bilimci Max Planck 1900'de, X-ışınlarının ve diğer elektromanyetik dalgaların sadece, kuvantum adını verdiği ayrı paketlenmiş halinde yayıldığını öne sürdü. Günümtüzde, 8. Bölüm'de değinildiği gibi, bir ışık kuvantumuna foton diyoruz. Işığın frekansı ne kadar yükselse, içerdiği enerji de o kadar yüksektir. Bu yüzden, herhangi bir rengin ya da frekansın foton-lan aynı olsa da, Planck'ın kuramını açıkladığına göre, farklı frekanslardaki fotonlar, taşıdıkları enerji miktarı bakımından farklıdır. Yani kuvantum kuramında herhangi bir rengin en solgun ışığının bile -tek bir foton tarafından taşınan ışık- rengine bağlı olan bir enerji içeriği vardır. Örneğin, mor ışığın frekans, kırmızı ışığınınkinden iki kat fazla



Mümkün olan en donuk ışık.

Donuk ışık, daha az foton demektir. Bir rengin mümkün olan en donuk ışığı, tek fotonla taşınan ışıktır.

olduğundan, mor ışığın bir kuvantumunu, kırmızı ışığın bir kuvantumundan iki kat fazla enerji içerdiğine sahiptir. Yani mor ışık enerjisinin mümkün olan en küçük parçası, kırmızı ışık enerjisinin mümkün olan en küçük parçasından iki kat büyüktür.

Peki bu durum kara cisim sorununu nasıl çözer? Bir kara cismin herhangi bir frekansta yayabileceği en küçük miktardaki elektromanyetik enerji, o frekanstaki tek bir foton tarafından taşınan enerjidir. Bir fotonun enerjisi, yüksek frekanslarda daha çoktur. Bu durumda, bir kara cismin yayabileceği en düşük enerji miktarı, yüksek frekanslarda daha çok olacaktır. Yeterince yüksek olan frekanslarda, tek bir kuvantumdaki enerji, o cisimde var olan enerjiden daha çok olacaktır; bu durumda ise hiç ışık yayılmayacak, hiç tükenmeyen toplam bitecektir. Planck'ın kuramında, yüksek frekanslardaki enerji küçültülecek, böylece cismin enerji kaybettiği hız sınırlarınılarak kara cisim sorunu çözülecektir.

Kuvantum varsayımları, sıcak cisimlerden ısınm salımının gözlemlenmiş hızın çok güzel açıklar; ancak kuramların belirlenimcilikle ilişkisi, Alman bilimci Werner Heisenberg'in o ünlü belirsizlik ilkesini formüle ettiği 1926 yılına kadar fark edilemedi.

Belirsizlik ilkesi, Laplace'in inancının tersine, doğanın, bilimsel yasaları kullanarak geleceği kestirebilmeye becerimize sınırlar koyduğunu söyler. Çünkü, bir parçacığın gelecekteki konumunu ve hızını hesaplayabilmek için, onun ilksel durumunun -yani şu andaki konumunun ve

hızının- doğru olarak ölçülebilmesi gerekir. Bunu yapmanın en doğrudan yolu, parçacığın üzerine ışık tutmaktır. Işığın bazı dalgalan parçacığına çarparak dağılacaktır. Bu gözlemci tarafından fark edilecek ve parçacığın konumu belirlenebilecektir. Ancak, bir ışığın dalgaboyu sınırlı bir duyarlığa sahiptir; parçacığın konumunu, ışığın dalga tepelerinin arasındaki uzaklıktan daha küçük olan bir hatayla belirleyemeyiz. Bir parçacığın konumunu kesin olarak ölçülebilmek için, dalgaboyu kısa olan -yani yüksek frekanslı- bir ışık kullanılması gerekir. Planck'ın kuvantum kuramına göre, keyfimize göre küçük miktarda ışık kullanamayız; en azından, yüksek frekanslarda enerjisi yüksek olan, tek bir kuvantum kullanmak zorundayız. Böylece, bir parçacığın konumunu doğru olarak hesaplamayı ne kadar çok isterseniz, parçacığı yolladığımız ışığın kuvantumunu o kadar enerjiye çıkaracağız.

Kuvantum kuramına göre, tek ışık kuvantumunu bile parçacığın konumunu bozar; parçacığın hızını önceden kestirilemeyecek bir şekilde değiştirir. Kullandığımız ışığın kuvantumunu ne kadar enerjiksiz, parçacığın konumundaki bozulabilirlik de o kadar büyük olacaktır. Parçacığın konumunu belirlemek üzere daha kesin ölçümler yapmak için daha enerji bir kuvantum kullandığımızda bu, parçacığın hızının daha büyük miktarlarda bozulacağı anlamına gelir. Yani, parçacığın konumunu doğru olarak saptamaya ne kadar çok çabalarsanız, onun hızını o kadar hatalı ölçeceksiniz ya da tam tersi. Heisenberg'in ortaya koyduğuna göre, parçacığın konumundaki belirsizlik çarpı hızındaki belirsizlik çarpı parçacığın kütlesi, asla belli sabit bir nicelikten az olamaz. Örneğin, konumun belirsizliğini yarıya indirirseniz, hızın belirsizliğini iki kat artırmak zorundasınız ya da tersi. Doğa, bu dengeyi kurmamızı sonsuza kadar engeller.

Bu denge ne kadar hatalı olabilir? Bu, yukarıda sözünü ettiğimiz "belirli sabit niceliğin" rakamsal değerine bağlıdır. Bu nicelik, Planck sabiti olarak bilinir ve çok küçük bir sayıdır. Planck sabiti çok küçük olduğundan, dengein etkileri ve genelde kuvantum kuramı, tipki göreliliğin etkileri gibi, günlük yaşamımızda doğrudan fark edilmeyen etkilerdir. (Aslında kuvantum kuramı, modern elektronikler gibi bazı alanlarda yaşamlarımızı etkiler.) Örneğin, bir pingpong topunun yerini bir santimetre içinde bir gramlık bir kütle olarak belirleyebilirsek, hızını, bilmek istediğimizden çok daha büyük bir doğrulukla saptayabiliriz. Ancak, bir elektronun konumunu, aşağı yukarı bir atomun sınırları içinde doğru olarak ölçmek istersek, hızını ancak bir saniyede eksi ya da artı bin kilometre kesinlikte ölçebiliriz ki, bu hiç de kesin bir sonuç olmaz.

Belirsizlik ilkesinin gerektirdiği sınır, parçacığın konumunun ya da hızının hangi yolla ölçülmek istendiğine ya da parçacığın türüne bağlı değildir. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi Dünya'nın temel ve kaçınılmaz bir özelliğidir ve Dünya'ya bakış açımız derinden etkilemiştir. Aradan

yetmiş yıldan fazla bir süre geçmesine rağmen, pek çok filozof bu etkileri tam olarak kavrayamamıştır ve hâlâ pek çok tartışmanın konusudur. Belirsizlik ilkesi, Laplace'ın bir bilim kuramı, tümüyle belirlenimci bir evren modeli düşüncesine sona erdiğinin işaretidir. Eğer evrenin şu andaki konumunu dahi kesin olarak ölçemiyorsak, gelecekteki olayları da kesin olarak tahmin edemeyiz!

Bize benzemeyen ve evreni şimdiki konumunu bozmadan gözlemleyebilen doğaüstü bir varlık için, olayları tümüyle belirleyen bir dizi yasa olduğunu hâlâ düşünebiliriz. Ancak bu türden evren modelleri, biz sıradan ölümlüler için pek ilginç değil. Ockham'ın usturası olarak da bilinen tutumluluk ilkesini benimsemek ve kuramın gözlemlenemeyen bütün unsurlarını kesip atmak en iyisi. Bu yaklaşım Heisenberg, Erwin Schrödinger ve Paul Dirac'ın 1920'de, Newton'un mekaniklerini yeniden gözden geçirerek, belirsizlik ilkesine dayanan ve kuantum mekaniği denilen yeni bir kuram geliştirmelerine yol açtı. Bu kuramda parçacıkların ayrı, iyi tanımlanmış konumları ve hızları artık yok. Bunun yerine parçacıklar, sadece belirsizlik ilkesinin sınırları içinde tanımlanabilen bir konum ve hız birleşimi olan, kuantum durumuna sahipler.

Kuantum mekaniğinin devrimci özelliklerinden biri de, bir gözlem için kesin tek sonuç öngörmesidir. Bunun yerini ne ölçüde olası olduğunu tek tek belirttiği farklı kestirimler alır. Yani, aynı şekilde başlayan çok sayıda benzer durumu aynı şekilde ölçtüğünüzde, ölçümlerin sonucunun belli sayıda durumlar için A, belli sayıda durumlar için B vb. olduğunu görürsünüz. Her ölçümlerin kesin sonucuna ulaşmasanız da sonuçların yaklaşık kaçta kaçının A ya da B olacağı kestiriminde bulunabilirsiniz.

Örneğin, hedef tahtasına küçük oklardan birini attığınız düşünelim. Klasik kuramlara göre -yani eski, kuantum olmayan kuramlara göre-ok ya hedefin merkezini bulur ya da kaçırır. Eğer fırlattığınız okun hızını, kütlesini, gücünü ve benzeri diğer etkenleri biliyorsanız, merkezi bulabilecek misiniz bulamayacak misiniz hesaplayabilirsiniz. Ancak kuantum kuramı bize bunun yanlış olduğunu, sonucu kesin olarak bilemeyeceğimizi söyler. Kuantum kuramına göre, okun merkezi bulması kesin olasılıklardan biridir, ama okun hedef tahtasından farklı yerlerine denk gelmesi de sıfır olmayan olasılıklardandır. Hedef tahtası gibi büyük bir nesne için klasik kuram -bu durumda Newton yasaları- okun tam hedefi vuracağını söyler, biz de bunun olacağını rahatlıkla varsayabiliriz. En azından, (kuantum kuramına göre) hedefi bulamama şansı o kadar düşüktür ki, evrenin sonuna kadar oku tamamen aynı şekilde atmayı sürdürsek bile, okun hedefi sağtım asla göremeyecek olmamız da olasılıklardan biridir. Ancak atomik ölçekte durum farklıdır. Bir ok, hedefi bulma olasılığı yüzde 90, hedefte başka bir yeri bulma olasılığı yüzde 5, hedef tahtasını tümüyle kaçırma olasılığı yüzde 5 olan tek atımdan yapılmıştır. Bunların hangisinin gerçekleşeceğini önceden söyleyemeyiz-



Yayılan kuantum konumu.

Kuantum kuramına göre, bir nesnenin konumu ve hızı sonsuz bir kesinlikte saptanamayacağı gibi, gelecekteki olaylar üzerinde de kesin kestirimlerde bulunulamaz.

niz. Bütün söyleyebileceğiniz, eğer deneyi pek çok kez tekrarlıyorsanız, her yüz atışta ortalama doksan kez okun hedefi bulacağıdır.

Böylece kuantum mekaniği bilime, kaçınılmaz bir önceden bilinemezlik ya da gelişigüzellik unsuru ekler. Einstein bu düşüncelere, geliştirilmesinde önemli rol yere sahip olmasına rağmen, şiddetle karşı çıktı. Aslında, kuantum kuramına katkılan yüzünden Nobel Ödülü aldı. Yine de, evreni rastlantının yönettiği asla kabul etmedi; bu konudaki duygulanı o ünlü "Tanrı zar atmaz" ifadesinde özetleniyordu.

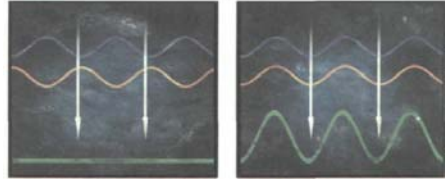
Daha önce söyledığımız gibi bir bilimsel kurama geçerlilik kazandıran, bir deneyin sonuçlarının kestiriminde bulunulabilmesidir. Kuantum kuramı yeteneklerimizi sınırlar. Biz, kuantum kuramı bilimi sınırlıyor demek midir? Eğer bilim ilerliyorsa, bunu o sürdürme yolumuzu doğa belirlemeli. Bu durumda doğa, kestirimle ne demek istediğimizi yeniden tanımlamamızı istiyor: Bir deneyin sonucunun kesin olan bir kestirimde bulunamayabiliriz, ama deneyi birçok kez tekrarlayarak, kuantum kuramının kestirimde bulunduğu olasılıklar dahilinde ortaya çıkan farklı sonuçları doğrulayabiliriz. Bu nedenle, belirsizlik ilkesine rağmen, Dünya'nın fizik yasaları tarafından yönetildiği inancından vazgeçmemize gerek yoktur. Aslında çoğu bilimi, deneyle mükemmel örtüştüğü için kuantum mekaniğini kabule hevesliyidiler.

Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin en önemli saptamalarından birine

göre, parçacıklar bazı durumlarda dalgalar gibi hareket eder. Görmüş olduğumuz gibi, parçacıkların kesin bir konumu yoktur, ama belli bir olasılık dağılımında "yayılmış" dururlar. Aynı şekilde, ışık dalgalarından oluşmasına rağmen, Planck'ın kuantum varsayımı bize ışığın bazı durumlarda parçacıklardan oluşmuş gibi göründüğünü söyler; ışık sadece paketler ya da kuantum olarak yayılabilir ya da soğurulabilir. Aslında kuantum mekaniğinin dayandığı bu tümüyle yeni matematik türü, gerçek dünyayı parçacık ya da dalga kavramlarıyla açıklayamaz. Bazı durumlarda parçacıkları dalga olarak düşünmek, bazı durumlarda ise dalgalan parçacık olarak düşünmek yardımcı olabilir, ancak bu tarz düşünme sadece kolaylıktır. Fizikçilerin, kuantum mekaniğinde dalgalar ve parçacıklar arasında ikilik var derken kastettikleri budur.

Kuantum mekaniğindeki dalgamsı işleyişin önemli bir sonucu da, iki parçacık takımı arasındaki girişimin gözlemlenilmesidir. Normalde girişim, dalgalara ait bir fenomen olarak düşünülür; yani dalgalar çarpıştığında bir dalgalanın tepesi, diğer dalgalanın çukuruyla çıkışabilir ki bu durumda dalgaların uyumsuz olduğu söylenir. Bu olduğunda iki dalga, beklenildiği üzere birbirlerine klempin daha güçlü bir dalga oluşturmaya çalışırlar, birbirlerini yok ederler. Işığın durumundaki girişimin bildik örneği, sabun köpüklerinin üzerinde görülen renklerdir. Bunun nedeni, köpüğü oluşturan ince su tabakasının iki yanından yansıyan ışıktır. Beyaz ışık, hepsi farklı dalgaboylarında ya da renkte olan ışık dalgalarından oluşur. Belli dalgaboylarında, köpüğün bir tarafından yansıyan dalgalanın tepesi, diğer taraftan yansıyan dalgaların çukurlarına denk gelir. Bu dalgaboylarının karşılığı olan renkler yansıyan ışıkta bulunmadığı için, ışık renklenmiş görünür.

Ancak kuantum kuramına göre, kuantum mekaniğiyle öne sürülen ikilik gereği, girişim parçacıklar için de söz konusudur. Bunun iyi bilinen örneği, çift yarıklı deneydir. Üzerinde birbirine paralel iki dar yarıklı olan bir bölme -ince bir duvar- düşünelim. Bu yarıklardan parçacıklar geçirdiğinde ne olacağını düşünmeden önce, yarıklardan üzerine ışık tutulduğunda ne olacağını görelim. Bölmenin bir yanına belli bir renkte (yani belli bir dalgaboyunda) bir ışık kaynağı koyalım. Işık büyük ölçüde bölmeyi aydınlatacak, ancak az bir kısmı da yarıklardan geçecektir. Şimdi de bölmenin arka tarafına bir perde koyduğumuzu düşünelim. Bu perdenin üzerindeki herhangi bir noktaya, iki yarıktan da ışık dalgaları gelecektir. Ancak genelde, kaynağın gelen ışığın bir yarıktan geçenken aldığı yol ile diğer yarıktan geçenken aldığı yol birbirinden farklı olacaktır. Kat edilen mesafe farklı olduğu için, iki yarıktan geçen ışık dalgaları perdede ulaştıklarında birbirleriyle uyumlu olmayacaklardır. Bazı yerlerde bir dalgalın çukuru, diğer dalgalın tepesine denk gelecek ve dalgalar birbirlerini yok edecekler; bazı yerlerde ise dalgaların tepeleri ve çukurları denk gelecek ve dalgalar birbirlerini



Evre; bir içerde bir dışıdır.

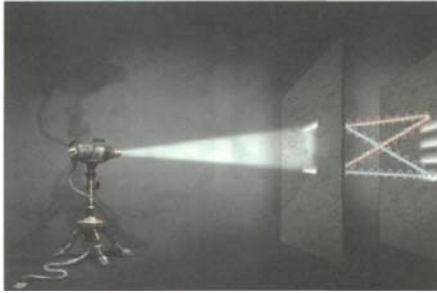
Dalgaların tepeleri ve çukurları rastlaşırsa, bunun sonucu güçlü bir dalga; ancak bir dalgalanın tepesi, diğerinin çukuruna denk geliyorsa, iki dalga birbirini yok eder.

güçlendirecektir; çoğu yerde de durum bu ikisinin arasında olacaktır. Sonuçta, ışığın ve karanlığın kendine özgü bir deseni olacaktır.

İşık kaynağı yerine, belli bir hızla sahip olan bir parçacık kaynağı, örneğin elektronlar kullanıldığında, tam olarak aynı deseni elde etmek görülmemiş bir durumdur. (Kuantum kuramına göre, elektronlar belli bir hızla sahipse, ona karşılık gelen dalgalan dalgaboyları da aynı olacaktır.) Diyelim ki bölmenin üzerinde tek yarık var ve bölmeye elektronlar yollamaya başladık. Elektronların çoğu bölme tarafından durdurulacak, ancak bir kısmı yarıktan geçerek arkadaki perdede ulaşacaktır. Bölmede ikinci bir yarık açmakla, perdede ulaşan elektron sayısının artacağını varsaymak mantıklı görünebilir. Fakat ikinci yarıyı açtığımızda, perdede ulaşan elektronların sayısı bazı yerlerde artarken, bazı yerlerde azalacaktır; elektronlar parçacık gibi değil, dalga gibi hareket ederek birbirlerini engelleyecektir.

Şimdi de elektronları yarıklardan tek tek gönderdiğimizizi düşünelim. Yine de girişim gerçekleşir mi? Yarıklardan birinden geçen bir elektronun, girişimin ortaya çıkardığı modeli oluşturmaya çalışamayız. Gerçekten, elektronlar tek tek gönderildiğinde bile, girişimin kaynaklanan desen perdede belirir. Bu durumda her elektron, iki yarıktan aynı anda geçer ve kendisiyle girişimi oluşturur!

Parçacıklar arasındaki girişim fenomeninin, bizi ve çevremizdeki her şeyi meydana getiren temel unsurlar, atomların yapısını anlamamızda çok önemli bir yeri vardır. XX. yüzyılın başlarında atomların, Güneş'in etrafında dönen gezegenler gibi, merkezde pozitif elektrik taşıyan bir çekirdeğin etrafında dönen, (negatif elektrik yüklü) elektronlardan oluştuğu düşünülüyordu. Pozitif ve negatif elektrik arasındaki çekimin elektronların yörüngelerinde tuttuğu sanılıyordu; tıpkı Güneş ve gezegenler arasındaki kütleçekimin gezegenleri yörüngelerinde tutması gibi. Kuantum mekaniğinden önceki klasik mekanik ve elekt-

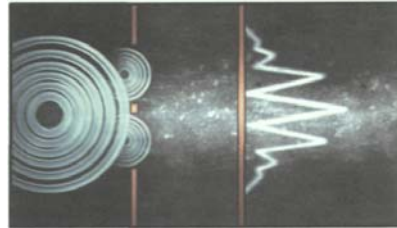
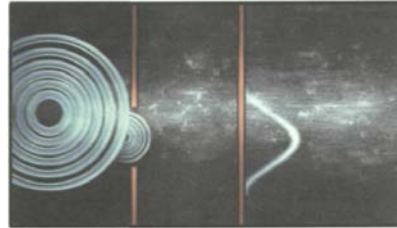
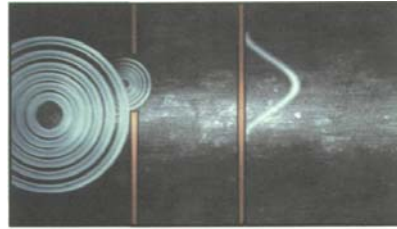


Uzaklık ve girişim.

İki yarık deneyinde, dalgaların yukarıdaki ve aşağıdaki yarıktan geçip perdeye ulaşmak için kat ettikleri uzaklık, perde üzerinde farklı yükseklikler olarak yansır. Sonuç olarak, bazı yüksekliklerde dalgalar birbirlerini destekler, bazılarındaysa yok eder ve böylece bir girişim deseni oluştururlar.

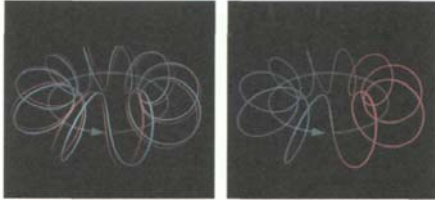
rik yasalarına göre bu düşüncenin sorunu, bu şekilde dönen elektronların ışınım çıkardığını varsaymasıydı. Bu durum elektronların enerji kaybetmelerine ve böylece çekirdekle çarpışmaya kadar döne döne düşmelerine yol açıyordu. Bu da atomun, aslında bütün maddenin, hızla çok yüksek bir yoğunluk durumuna düşmesi demekti ki, böyle bir şeyin olmadığı çok açıktı!

Danimarkalı bilimci Niels Bohr 1913'te bu soruna kısmi bir çözüm buldu. Elektronların muhtemelen merkezdeki çekirdeğin etrafında herhangi bir uzaklıkta değil, sadece belirlenmiş bir uzaklıkta döndüğünü önerdi. Bu belirlenmiş uzaklıkta yalnızca bir ya da iki elektronun dönebileceği düşünüldüğünde çökme sorunu çözülebilirdi, çünkü iç yörüngelerin sınırlı sayısı bir kez dolduğunda, elektronlar çekirdeğe daha fazla yaklaşamazlardı. Bu model en basit atomun yapısını, çekirdeği etrafında dönen bir tek elektronu olan hidrojeni çok iyi açıklıyor. Ancak bu modeli daha karmaşık yapıdaki atomlara nasıl uygulayabildiğimiz açık değildi. Dahası, sınırlı sayıda olmasına izin verilmiş yörüngeler takımı düşüncesi, yalnızca bir tür yara bandına benziyor. Bu matematiksel olarak işleyen bir düzen, ancak hiç kimse doğanın neden bu şekilde hareket ettiğini ya da simgelediği daha derindeki yasayı -eğer varsa- anlayamıyordu. Yeni kuantum mekaniği kuramı bu zorluğu çözdü. Çekirdek etrafında dönen bir elektronun, hızına bağlı bir



Elektron girişimi.

Girişim nedeniyle, iki yarıktan aynı anda gönderilen elektronların oluşturduğu girişim deseni, her yarıktan ayrı ayrı gönderilen elektronların oluşturduğu girişim deseninden farklıdır.



Atom yörüngelerinde dalgalar.

Niels Bohr atomun, çekirdeğin etrafında durmadan dönen elektron dalgalarından meydana geldiğini düşündü. Bu resimdeki gibi, sadece elektron dalgalarına tam olarak denk gelen dairesel yörüngeler, yıkıcı girişime maruz kalmadan varlıklarını sürdürebilirler.

dalgaboyuna sahip bir dalga olarak düşünülebileceğini ortaya koydu. Bohr'un varsaydığı gibi, bir çekirdeğin etrafında, belli bir uzaklıkta dönen bir dalga düşünün. Bazı yörüngelerin çevresi, elektronun dalgaboyunun tam katına (kesirli sayıların tersi olarak) denk geliyordu. Bu yörüngelerde dalgaların tepesi her dönüşte aynı konumda olacak, böylece dalgalar birbirlerini güçlendirecektir. Bu yörüngeler, Bohr'un izni yörüngelerine karşılık gelecektir. Ancak, çevresi dalga boylarının tam katına denk gelmeyen yörüngelerde, elektron döndükçe her dalganın tepesi er geç, diğer dalganın çukuru tarafından yok edilecektir. Bu yörüngeler iznli olmayacaktır. Bohr'un iznli ve yasaklı yörüngeler yasası böylece bir açıklamaya kavuşmuştu.

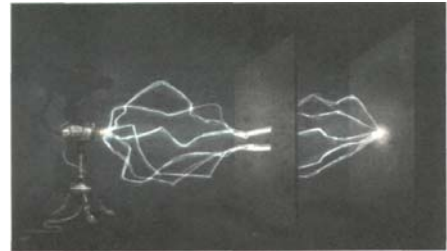
Parçacık-dalga ikiliğini hayal etmenin güzel bir yolu, Amerikalı bilimci Richard Feynman tarafından ortaya konulan, çoklu geçmiş fikridir. Bu yaklaşımda parçacığın, klasik, kuantum olmayan kuramlarda olduğu gibi, uzay-zaman içerisinde tek bir geçmişi ya da yolu yoktur. Tersine, parçacığın A noktasından B noktasına mümkün olan her yoldan gittiği varsayılır. Feynman, A ile B arasındaki her yola bir çift sayı vermiştir. Bir tanesi dalganın genişliğini ya da büyüklüğünü gösterir. Diğeri de evresini ya da çevrimdeki konumunu (yani dalganın tepesi mi, çukuru mu ya da ikisinin arasında bir yer mi olduğunu) gösterir. Bir parçacığın A'dan B'ye gitme olasılığı, A ile B'yi birbirine bağlayan bütün yollardaki dalgaların toplamı alınarak bulunur. Genelde, birbirine yalan yollar karşılaştırıldığında, çevrim içi konular ya da evreler büyük farklılık gösterecektir. Bu, birbirine komşu yollardaki dalgaların neredeyse tümüyle birbirlerini yok edecekleri anlamına gelir. Yine de, birbirine yakın bazı yollar arasındaki evreler çok farklı olma-

yacak ve bu yollardaki dalgalar birbirlerini yok etmeyecektir. Böyle yollar Bohr'un iznli yörüngelerinin karşılığıdır.

Somut matematiksel biçimdeki bu düşüncelerle, daha karmaşık atomların iznli yörüngeleri, hatta birden fazla çekirdek etrafında dönen elektronların bir arada tuttuğu atomlardan oluşan moleküllerin yörüngeleri nispeten doğru olarak hesaplanır. Moleküllerin yapısı ve birbirleriyle tepkimeleri bütün kimya ve biyolojinin temelini oluşturduğundan, ilkesel olarak kuantum mekaniği, çevremizde gördüğümüz hemen her şey için belirsizlik ilkesinin çizdiği sınırlar içerisinde kestirimde bulunabilmemizi sağlar. (Ancak uygulamada, tek bir elektronu bulunan en basit atom olan hidrojeninki dışında, karmaşık atomlarla ilgili denklemleri çözemeyiz ve daha karmaşık atomlar ve moleküller için tahminleri ve bilgisayarları kullanırız.)

Kuantum kuramı önemli bir başarının sahibidir, çağdaş bilimin ve teknolojinin temelini oluşturur. Televizyon ve bilgisayar gibi elektronik aygıtların temel unsurları olan transistörlerin ve integrallerin işleyişini yönettiği gibi, çağdaş kimya ve biyolojinin de temelidir. Kuantum mekaniğinin fizik bilminde henüz gerektiği gibi dahil olmadığı tek alan, kütleçekimi ve evrenin büyük ölçekli yapısıdır. Daha önce de belirttiğimiz gibi, Einstein'ın genel görelilik kuramı, diğer kuramlarla tutarlı olmak için dahi, kuantum mekaniğinin belirsizlik ilkesini hesaba katmaz.

Son bölümde gördüğümüz gibi, genel görelilik kuramının değiştirilmesi gerektiğini biliyoruz. Klasik genel görelilik kuramı (yani kuantum olmayan kuram) sonsuz yoğunluk noktalan -tekilikler- kestirimiyle, kendi çöküşüyle ilgili kestirimde bulunmuştur; tıpkı klasik mekanikle-



Elektron yolları.

Richard Feynman'ın kuantum kuramı formülünde, yukarıda gördüğünüz gibi bir parçacık kaynaktan perdede doğru hareket ederken, mümkün olan her yoldan gider.

rin, kara cisimlerin sonsuz enerji yaydığı ya da atomların sonsuz yoğunluğa düşeceği önermesiyle kendi çöküşünün kestiriminde bulunması gibi. Klasik mekanikte olduğu gibi, klasik genel görelilik kuramın kuvantum kuramıyla bağdaştırarak -yani kütleçekimi kuvantum kuramını yaratarak- bu kabul edilemez tekillikleri elemek istiyoruz.

Genel görelilik kuramı yanlışsa, neden bütün deneyler şimdiye kadar bu kuramı destekledi? Gözlemlerimizde henüz herhangi bir çelişki fark edemeyişimizin nedeni, normalde deneyimlediğimiz bütün kütleçekimi alanlarının çok zayıf olmasıdır. Ancak görmüş olduğumuz gibi, evrendeki bütün madde ve enerji çok küçük bir hacme sıkıştırıldığında, kütleçekimi kuvveti çok güçlü olacaktır. Böylesi güçlü alanların varlığı söz konusu olduğunda, kuvantum kuramının etkisi de çok önem kazanır.

Kütleçekimi kuvantum kuramına henüz sahip olmasak da, böyle bir kuramın sahip olması gereken bazı özellikleri biliyoruz. Bunlardan biri, kuvantum kuramın çoklu geçmişin kavramlarıyla formüle eden Feynman'ın önermesiyle uyumlu olmasıdır. İkinci özellik ise, Einstein'ın, eğri uzay-zamanın kütleçekimi alanının göstergesi olduğu düşüncesidir; eğri bir uzayda en yakındaki nesneyi düz bir yolla izlemeye çalışan parçacıkların yolu, uzay-zaman düz olmadığı için, kütleçekimi alam tarafından eğilmiş gibi görünür. Herhangi bir nihai kuranım bu düşünceyi içermesi gerektiğine inanıyoruz. Feynman'ın çoklu geçmiş fikrini, Einstein'ın kütleçekimi düşüncesine uyguladığımızda, bir parçacığın tarihi artık, bütün evrenin geçmişini temsil eden tam ve kapalı bir uzay-zamandır.

Klasik kütleçekimi kuramında, evrenin gidebileceği mümkün olan iki yol vardır: evren ya sonsuz bir zaman boyunca var olmuştur ya da geçmişteki sonlu bir zamanın tekiliğinde başlamıştır. Daha önce tartıştığımız nedenler yüzünden, evrenin sonsuzdan beri var olduğunu düşünmüyoruz. Ancak, eğer bir başlangıcı varsa, klasik genel görelilik kuramına göre, Einstein'ın denklemlerinin hangi sonucunun evrenimizi açıkladığını bilmek için, ilksel durumunu, yani tam olarak evrenin nasıl başladığını bilmek zorundayız. Tanrı başlangıçta doğanın yasalarını belirlemiş olabilir, ama sonrasında evreni bu yasalara uygun şekilde evrimleşmeye bırakmış ve artık evrene karışmıyormuş gibi görünüyor. Tanrı evrenin ilksel durumunu ya da düzenini nasıl seçmiştir? Zamanın başlangıcındaki sınır koşulları neydi? Klasik genel görelilik kuramında bu bir sorundur, çünkü bu kuram evrenin başlangıcıyla birlikte çöker.

Öte yandan kütleçekimi kuvantum kuramında ortaya çıkan yeni bir olasılık, eğer doğruysa, bu sorunun çaresi olabilir. Kuvantum kuramında uzay-zamanın sınırlı boyutlara sahip olması, ancak bir sınır ya da kenar oluşturabilecek tekilliklerin bulunmamasıyla mümkündür. Uzay-zaman dünyanın yüzeyi gibidir, yalnız fazladan iki boyutu daha vardır. Daha önce değindiğimiz gibi, dünyanın yüzeyinde belli bir yöne doğru yolculuğu sürdürürseniz, geçilmez bir sınıra denk gelmez ya da kenar-

dan aşağıya düşmezsiniz; bir tekiliğe rastlamadan sonunda başladığınız noktaya dönersiniz. Eğer durum buysa, kütleçekimi kuvantum kuramı, bilimin yasalarını yıkan tekilliklerin olmadığı yeni bir olasılığı ortaya çıkarıyor.

Uzay-zamanın bir sınırı yoksa sınırdaki bir hareketi tanımlamaya -evrenin ilksel durumunu bilmeye- gerek de yoktur. Uzay-zamanın Tanrı'nın kanıtı olarak kabul edilecek bir sınırı ya da uzay-zaman için sınır koşulları oluşturacak yeni bir yasası yoktur. "Evrenin sınır koşulu, bir sınırı olmamasıdır" diyebiliriz. Evren tümüyle kendine yeterlidir ve dışındaki herhangi bir şeyden etkilenmemektedir. Ne yaratılmıştır ne de yok olacaktır. Evren sadece vardır. Evrenin bir başlangıcı olduğuna inandığımız sürece, bir yaratıcının rolü açıklık kazanır. Ancak evren gerçekten kendine yeterliyse, bir sınır ya da kenarı yoksa bir başlangıcı ya da sonu yoksa "Bir yaratıcının rolü ne?" sorusunun yanıtı o kadar da açık olmaz.

10 Solucan delikleri

ve zaman yolculuğu

Bundan önceki bölümlerde, zamanın doğasına ilişkin görüşlerimizin yıllar içinde nasıl değiştiğini gördük. XX. yüzyıla kadar insanlar mutlak zamana inanıyordu. Yani, her olay "zaman" denilen bir sayıyla benzersiz bir şekilde tanımlanabilir ve doğru çalışan bütün saatler iki olay arasındaki zaman aralığı konusunda örtüşmeliydi. Ancak, ışık hızının -nasıl hareket ederse etsin- her gözlemciye göre aynı olduğunun keşfi, görelilik kuramını ortaya çıkardı ve tek mutlak zaman düşüncesinin terk edilmesine yol açtı. Olayların zamanlan tek şekilde tanımlanamazdı. Bunun yerine, her gözlemci yanındaki saatin kaydettiği zaman ölçüsüne sahip olabiliirdi ve farklı gözlemcilerin taşıdığı saatlerin örtüşmesi gerekmiyordu. Böylece zaman, onu ölçen gözlemciye göre daha kişisel bir kavrama dönüştü. Ancak zaman hâlâ dümdüz uzanan, üzerinde sadece ileriye ya da geriye doğru hareket edebileceğimiz bir tren yolu gibi ele alınıyor. Ya tren yolunun kavşakları ve kollar varsa; tren ileri doğru gitmeyi sürdürürken bir süre önce geçmiş olduğu istasyona geri dönmek mi? Bir başka deyişle geçmişe ya da geleceğe yolculuk yapmak mümkün mü? H. G. Wells, sayısız bilimkurgu yazarı gibi, *Zaman Makinesi* kitabında bu olasılıktan araştırdı. Yine de bu konu, bilimkurgunun pek çok düşüncesi gibi -tıpkı denizaltılar ve aya yolculuk gibi- bilimsel gerçeğin konusu oldu. Öyleyse, zaman yolculuğunun olasılıkları nelerdir?

Geleceğe yolculuk yapmak mümkündür. Yani görelilik, bizi zamanda ileriye sıracak bir zaman makinesi yaratmanın mümkün olduğunu gösteriyor. Zaman makinesinin içine girersiniz, beklersiniz, dışarı çıkarsınız ve Dünya'da geçen zamanın, sizin makinede geçirdiğiniz zamandan çok daha fazla olduğunu görürsünüz. Günümlüde bunu yapabilecek teknolojiye sahip değiliz, ancak bu sadece bir mühendislik sorunu; biz yapabileceğini biliyoruz. Böyle bir makine yapmanın yöntemlerinden biri, 6. Bölüm'de tartıştığımız ikizler paradoksundaki durumu geliştirmek. Bu yöntemde, siz zaman makinesinin içinde otururken, makine uzaya fırlar, ışık hızına yakın bir ivme kazanır, (zamanda ne kadar ileri gitmeyi istediğinize bağlı olarak) bir süre böyle devam eder ve sonra geri döner. Zaman makinesinin aynı zamanda uzay



Zaman makinesi. Yazarlar
zaman makinesinde.

gemisi olması sizi şaşırtmamalı, çünkü görelilik kuramına göre zaman ve uzay bağlantılıdır. Her durumda, size göre bütün bu süreç içinde bulunacağınız tek "yer" makinenin içi olacaktır. Makineden dışarı çıktığınızda, Dünya'da geçen zaman, sizin için geçen zamandan çok daha uzun olacaktır. Geleceğe yolculuk yaptık. Ancak geçmişe gidebilir miyiz? Zamanda geriye yolculuk yapmak için gerekli olan koşulları yaratabilir miyiz?

Fizik yasalarının zamanda geriye yolculuk yapılmasına gerçekten izin verebileceğiyle ilgili ilk işaret 1949'da, Kurt Gödel, Einstein'ın denklemlerine yeni bir çözüm keşfettiğinde geldi; genel görelilik kuramı yeni bir uzay-zamanı olanaklı kılıyordu. Pek çok farklı matematiksel evren modeli Einstein'ın denklemlerini doğrular, ama bu, modellerin içinde yaşadığımız evrene benzeyeceği anlamına gelmez. Örneğin o evrenlerin ilksel ya da sınır koşulları farklı olabilir. Bu modeller, evrenimiz benzeri mu benzeriye göre mu karar vermek için fiziksel kestirimlere bakmamız gerekir.

Gödel, bütün doğru hesaplamaların doğruluğunun kanıtlanamayacağını kanıtlamasıyla ünlü bir matematikçidir; kendinizi aritmetik gibi önceden belirlenmiş bir alandaki bütün doğru hesaplamaları kanıtlamakla şımarışınız bile, bunu yapamazsınız. Belirsizlik ilkesi gibi, Go-

del'in eksiklik kuramı, evreni anlama ve tahminlerde bulunma yeteneğimize belki de temel bir sınır getirdi. Gödel, daha sonraki yılların Einstein'la birlikte Princeton'daki Yüksek Araştırma Enstitüsü'nde geçirdiği için genel görelilik kuramını muhtemelen biliyordu. Gödel'in uzay-zamanın tuhaf özelliği, bütün evrenin dönmekte olmasıydı.

Bütün evrenin dönmekte olduğunu söylemek ne anlama geliyor? Bir şeyin etrafında dönmek, sabit bir referans noktasının varlığını gerektirmiyor mu? "Neye göre dönmek?" diye sorabiliriz. Yanıt biraz teknik olacak, ama aslında uzak bir madde, küçük topaların ya da cayıroskopların evrende işaret ettiği noktaya göre dönmektedir. Gödel'in uzay-zamanında bunun matematiksel yan etkisi şöyledir: Dünya'dan çok uzaklara yolculuk edip geri geldiğinizde, yola çıktığınız zamanın öncesine dönmenez mümkündür.

Genel görelilik kuramında zaman yolculuğuna yer olmadığını düşünen Einstein, denklemlerinin böyle bir olasılık taşıdığı öğrenince gerçekten çok üzülür. Gözlemlemize göre evrenimiz dönmüyor, bu da en azından döndüğü fark edilmediğinden ne Gödel'in bulguları, içinde yaşadığımız evrene uyuyordu ne de Gödel'in evreni bizimki gibi genişliyordu. Ancak bundan sonra, Einstein'ın görelilik kuramı ayrılan bilimciler, genel göreliliğin olası saydığı diğer uzay-zamanların geçmişe yolculuğa izin verdiğini buldular. Oysa mikrodalga fonunun ve bol bol bulunan hidrojen ve helyum gibi elementlerin gözlenmesi ilk evrenin, bu modellerin zaman yolculuğu için öngördüğü eğrilige sahip olduğunu gösteriyor. Eğer sınırsızlık önermesi doğruysa, aynı sonuç kuramsal alan için de geçerli. Öyleyse sorumuz şu: Eğer evren, zaman yolculuğunun gerektirdiği eğrilige sahip olmadan başladyısa, uzay-zamanı zaman yolculuğuna izin verecek şekilde sonradan eğriltilir miyiz?

Yine, zaman ve uzay bağlantılı olduğundan, zamanda geriye yolculuk sorusunu, ışıkdan hızlı yolculuk yapabilir miyiz, sorusuya yakından bağlantılı olması sizi şaşırtmamalı. Zaman yolculuğundan ışıkdan hızlı yol almayı gerektirdiğini görmek kolay; yolculuğun son bölümünde zamanda geri gitmekle, bütün yolculuğu dilediğinizince kısa bir zamanda yapabilir, sınırsız bir hızla yolculuk yapabilirsiniz! Ancak, daha sonra göreceğimiz gibi, bu durum tersine de işler; sınırsız bir hızla yolculuk yapabiliyorsanız, zamanda geriye de gidebilirsiniz. Biri olmadan diğeri mümkün değildir.

Işıktan daha hızlı yolculuk yapma konusu, daha çok bilimkurgu yazarlarını ilgilendiren bir sorundur. Göreliliğe göre onların sorunu şu: en yakındaki yıldız, yaklaşık dört ışık yılı uzaklıktaki Proxima Erboğa'ya bir uzay gemisi gönderdiğimizde, yolcuların geri dönüp, neler bulduklarını anlatmaları için en azından sekiz yıl beklenmesi gerekecektir. Galaksimizin merkezine bir araştırma yolculuğuna çıklarsa, geri dönmemiz en azından yüz bin yıl kadar sürecektir. Bu, galaksi içindeki

bir savaş üzerine yazmaya hiç de uygun bir durum değil! Yine de, 6. Bölüm'de tartıştığımız ikizler paradoksu uyarınca görelilik kuramının bir tesellisi var: Uzay yolcuları için yolculuğun, Dünya'da kalanlara göre çok daha kısa olması mümkündür. Ancak uzay yolculuğundan birkaç yıl yaşlanmış olarak dönüp, arkada bıraktığınız herkesin binlerce yıl önce ölmüş olduğunu görmek pek keyifli olmayabilir. Yani bilimkurgu yazarları, öykülerindeki insanların yarın, bir gün ışıktan hızlı nasıl yolculuk yapacağımızı düşünmek zorundaydılar. Bu yazarların çoğu, genel görelilik kuramına göre eğer ışıktan hızlı yolculuk yapabilirsiniz, zamanda geriye de yolculuk yapabilirsiniz gerçeğini anlamış görünmüyorlar. Tıpkı aşağıdaki şiiir gibi:

Wight'ın genç leydisi
Işıktan hızlı gidebilirdi.
Bir gün gitti
Ama farklı bir yoldan.
Ve gitmeden önceki gece geri döndü.

Bu bağlantının anahtarı şudur: Görelilik kuramına göre bütün gözlemcilerin üzerinde birleştiği tek zaman olmadığı gibi, belli koşullar altında, gözlemcilerin olayın sistemi konusunda da fikir birliğine varmaları gerekmez. Özellikle, eğer A ve B olayı, uzayda çok uzaktaysa ve roketin A'dan B'ye ulaşmak için ışıktan hızlı gitmesi gerekiyorsa, hızları farklı olan iki gözlemci, A olayı B olayından önce mi oldu, yoksa B olayı A olayından önce mi oldu konusunda anlaşamazlar. Diyelim ki, A olayı 2012 Olimpiyatları'nda yüz metre koşusunun finali olsun, B olayı da Proxima Erboğa Kongresi'nin 100 004. açılışı olsun. B olayı bir yıl sonra, dünya zamanıyla 2013'te gerçekleşecek diyelim. Dünya ve Proxima Erboğa arasındaki mesafe yaklaşık dört ışık yılı olduğuna göre, bu iki olay yukarıdaki kriterleri doğrular: A olayı B'den önce olmasın rağmen, Adan B'ye ulaşmak için ışıktan hızlı gitmeniz gerekmektedir. Bu durumda, Proxima Erboğa'dan bir gözlemci için dünyadan neredeyse ışık hızında uzaklaşmak, olayların oluş düzenini değiştirecektir; B olayı, A olayından önce gerçekleşiyormuş gibi görüncektir. Bu gözlemci, B olayından A olayına ulaşmak için ışıktan hızlı yol alınabilirdiğinde, bunun mümkün olduğunu söyleyecektir. Aslında, gerçekten hızlı gidebilirsiniz, yarıllardan önce dünyaya geri dönüp, kimin kazandığını bileceğinizden bahis oynayabilirsiniz!

Işık hızı sınırını aşmada bir sorun var. Görelilik kuramına göre, uzay gemisi gitgide ışık hızına yaklaşırsa, roket gücünün ivme kazanması gerekir. Bununla ilgili deneyel bir kanıtımız var; uzay gemisiyle değil ama Fermilab'da ya da Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (*Conseil European pour la Recherche Nucleaire- CERN*) bulunan temel parça-



Solucan deliği. Eğer solucan delikleri varsa, uzaydaki uzak noktalar arasında kestirme yollar oluşturabilir.

çık hızlandırıcılarıyla bu deney yapıldı. Parçacıkları ışık hızının yüzde 99,99'u oranında ivmelendirebiliyoruz, ancak ne kadar güç kullanırsak kullanalım, ışık hızı sınırını aşmalarını sağlayamıyoruz. Aynı durum uzay gemileri için de geçerli; ne kadar çok roket gücüne sahip olurlarsa olsunlar, ışık hızını aşacak kadar ivme kazanamıyorlar. Zamanı geriye yolculuk ancak ışıktan hızlı bir yolculukla mümkün olabileceğinden, hem hızlı uzay yolculuğunu, hem de zamanda geriye yolculuğu olasılık dışı saymalıyız belki de.

Oysa mümkün olan bir yol var. Uzay-zamanı bükebilirsek, A ve B arasında kestirme bir yol oluşabilir. Bunu yapmanın yollarından biri A ve B arasında bir solucan deliği yaratmaktır. Adından anlaşılacağı gibi solucan deliği, birbirinden uzak hemen hemen düz iki alan birbirine bağlayabilen ince bir uzay-zaman tüneldir. Bu durum, bir şekilde yüksek budağın eteğinde olmaya benzer. Diğer tarafa geçmek için normalde yüksek dağ sırtını tırmanır, sonra tekrar aşağı inersiniz; ancak dağı yatay olarak kesen dev bir solucan deliği varsa bunu yapmanız gerek kalmaz. Güneş sistemimizin çevresinden Proksima Erboğa'ya uzanan bir solucan deliği olduğunu ya da yaratıldığını hayal edebilirsiniz. Normal uzayda Dünya ile Proksima Erboğa arasındaki uzaklık yirmi milyon kerem milyonken, solucan deliğinin içindeki mesafe sadece birkaç milyon kilometre olacaktır. Yüz metre yarışlarının sonucunu aldıktan sonra, Kongre'nin açılışına yetişmek için bir sürü zamanınız kalacaktır. Ancak Dünya'ya doğru yol alan gözlemci, Proksima Erboğa'daki Kongre açılışından sonra yarışlar başlamadan Dünya'ya dönmek için bir başka solucan deliği daha bulabilecektir. Yani solucan delikleri, ışıktan hızlı herhangi bir yolculuk gibi, geçmişe yolculuk yapmanızı da mümkün kılar.

Uzay-zamanın farklı bölgeleri arasında uzanan solucan delikleri, bilimkurgu yazarlarının icadı değildir; çok saygıdeğer bir kaynağı vardır.

1935'te Einstein ve Nathan Rosen, genel görelilik kuramının onların köprü dedikleri -bizim bugün solucan deliği dediğimiz- durumu olanaklı kıldığını anlatan bir makale yazdılar. Einstein-Rosen köprüleri, bir uzay gemisinin geçebileceği kadar dayanamadılar; uzay gemisi bir tekilliğe çarparken solucan deliği de kapandı. Yine de, gelişmiş bir uygarlığın solucan deliklerini açık tutabileceği ileri sürüldü. Bunu yapabilmek ya da uzay-zamanı, zaman yolculuğuna izin verecek şekilde bükmek için uzay-zamanda, bir semerin yüzeyi gibi karşı bir eğilmeye gerek duyuldu. Pozitif enerji yoğunluğuna sahip sıradan bir madde, uzay-zamanı pozitif bir şekilde eğiltir, tıpkı bir kürenin yüzeyi gibi. Öyleyse, uzay-zamanı geçmişe yolculuk yapılmasına izin verecek şekilde bükmek için negatif enerji yoğunluğuna sahip bir maddeye ihtiyaç vardır.

Negatif enerji yoğunluğuna sahip olmak ne demek? Enerji biraz paraya benzer; eğer paranızın pozitif bir dengesi varsa, farklı biçimlerde dağıtabilirsiniz; oysa bir yüzölçümü önce geçerli klasik yasalara göre, hesabınızdan fazla para çekemezsiniz. Yani bu klasik yasalar negatif enerji yoğunluğunu, dolayısıyla da zamanda geriye yolculuk olasılığını göz önüne almıyordu. Yine de, önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, klasik yasaların yerini, belirsizlik ilkesine dayanan kuantum yasaları aldı. Kuantum yasaları daha liberaldir ve bakiye toplamının pozitif olmasını sağlamanız için bir ya da iki hesaptan fazla para çekmenize izin verir. Başka bir deyişle, kuantum kuramı enerji yoğunluğunun bazı yerlerde negatif olmasına izin verir; bunu diğer yerlerde pozitif enerji oluşturmak için yapar ki böylece toplam enerji pozitif kalsın. Böylece, hem uzay-zamanın büküleceğine, hem de zaman yolculuğuna izin verecek şekilde eğilebileceğine inanmak için bir nedenimiz var.

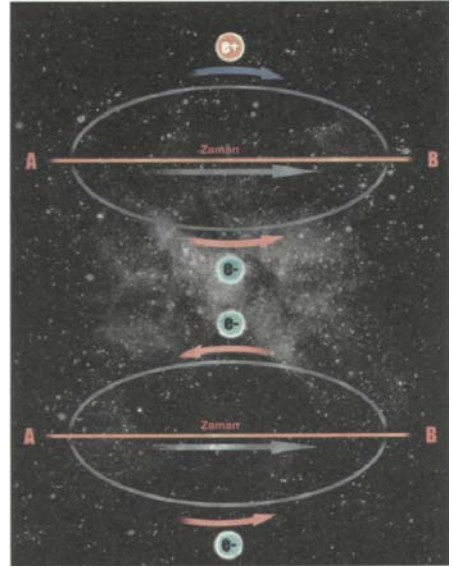
Feynman'ın çoklu geçmiş fikrine göre, zamanda geçmiş yolculuk, tek parçacıklar ölçüsünde meydana gelir. Feynman'ın yönteminde, zamanda ileri doğru giden sıradan bir parçacık, zamanda geriye doğru hareket eden karşı parçacığa eşittir. Onun matematiğinde bir parçacık-karşı parçacık çiftinin birlikte yaratıldığını ve birbirlerini yok ederek, uzay-zamanda kapalı bir devrede hareket eden tek bir parçacık gibi davrandığını görürsünüz. Bunu görmek için, bu süreci önce geleneksel yoldan hayal edelim. Belli bir zamanda -diyelim ki A zamanında-bir parçacık ve karşı parçacık yaratıldı. İkisi de zamanda ileriye doğru hareket ediyor. Sonra, ileri ki zamanda, diyelim ki B zamanında ikisi birbirini etkiledi ve birbirlerini yok etti. Adan önce ve B'den sonra iki parçacık da mevcut değil. Feynman'a göre bu duruma farklı bakabilirsiniz. A zamanında tek parçacık yaratıldı. Bu parçacık zamanda ileriye, B zamanına doğru ilerledi, sonra tekrar A zamanına döndü. Parçacığın ve karşı parçacığın zamanda birlikte ileriye doğru hareket etmeleri yerine, Adan B'ye uzanan bir kapalı devrede hareket eden tek bir nesne vardır. Bu nesne zamanda ileriye doğru (Adan B'ye) hareket ettiğinde,

ona parçacık diyoruz. Ancak bu nesne zamanda geriye doğru (B'den A'ya) hareket ettiğinde, zamanda ileri doğru hareket eden bir karşı parçacık olarak görünür.

Böyle bir zaman yolculuğunun gözlemlenebilir etkileri vardır. Örneğin, parçacık-karşı parçacık çiftinden birinin (diyelim ki karşı parçacığın), kendisini yok edecek parçacığı yalnız bırakarak bir kara deliğe düştüğünü varsayalım. Terk edilen parçacık da kara deliğe düşebilir, ama kara deliğin kenarından kaçabilir de. Eğer kaçarsa, uzaktaki gözlemci için parçacık kara delikten çıkmıyormuş gibi görünür. Ancak, kara delikten yayılan ışımının mekanizmasıyla ilgili farklı, ama sezgisel olarak eşit bir tablo görebiliriz. Parçacık çiftinin kara deliğe düşen üyesini (karşı parçacığı diyelim), kara deliğin dışında zamanın gerisine doğru hareket eden parçacık olarak kabul edebiliriz. Parçacık-karşı parçacık çifti birlikte görüldüğü noktaya ulaştığında, kara deliğin kütleçekimi alanı tarafından dağıtılır; parçacıklardan biri zamanda ileriye doğru yol alır ve kara delikten kaçır. Kara deliğe düşen parçacığı da zamanda geriye doğru hareket eden ve kara delikten dışarı çıkan parçacık olarak düşünebiliriz. Yani kara deliklerin yaydığı ışımın, kuantum kuramının zamanda geriye yolculuğu mikroskobik ölçekte olanaklı kıldığını gösterir.

Bu nedenle kuantum kuramı, bilim ve teknolojiye geliştirmizde nihayet bir zaman makinesi yapabilmeyi sağlar mı sağlamaz mı diye sorabiliriz. İlk bakışta mümkün görünmüyor. Feynman'ın çoklu geçmiş fikri, bütün geçmişlerin toplamıdır. Yani, uzay-zamanın geçmişe yolculuğu mümkün kılacak şekilde bükülmüş olduğu bir geçmişe de içermesi gerekir. Fizik bilinen yasaları henüz zaman yolculuğuna izin verecekmiş gibi görünmese de, bunu, mümkün mü, değil mi diye sorgulamamızın farklı nedenleri var.

Sorulardan biri şöyle: Eğer geçmişe yolculuk yapmak mümkünse, neden gelecekte biri geriye gelip, bunu nasıl yaptığını bize anlatmıyor? Şimdiki ilkel gelişmişlik düzeyimizde zaman yolculuğunun sırrını vermenin akıllıca olmayacağını düşünmesinin iyi bir nedeni olabilir; ancak insan doğası kökten bir şekilde değişmekte olduğundan, gelecekte gelen bir ziyaretçinin ağzındaki baklayı çıkarmayacağına inanmak zor. Elbette bazı insanlar UFO'ların yabancılar ya da gelecekte gelen insanlar tarafından ziyaret edildiğimizin kanıtı olduğunu iddia edeceklerdir. (Diğer yıldızların bizden ne kadar uzak olduğunu düşünürsek, yabancılar mantıklı bir sürede dünyamıza gelebilirlerlarsa, ışıktan hızlı yolculuk yapabiliyor olmaları gerekir ki böylece iki olasılık eşitlensin.) Gelecekte gelen ziyaretçilerin olmadığını açıklamanın yollarından biri şöyle olabilir: Gözlemlediğimiz kadarıyla geçmiş sabittir ve geçmişe yolculuk yapmayı mümkün kılacak bükülmenin olmadığı görülmüştür. Öte yandan, geçecek bilinmez ve açıktır; yani gereken eğrilmeye sahip olabilir. Bu, herhangi bir zaman yolculuğunun gelecekle



Feynman'ın karşı parçacığı.

Bir karşı parçacık, zamanda geriye yolculuk yapan parçacık olarak kabul edilebilir. Bu nedenle bir edimsiz parçacık-karşı parçacık çifti, uzay-zamanda kapalı bir halkada hareket eden bir parçacık olarak düşünülebilir.

sınırlı olacağı anlamına gelir. Kaptan Kirk ve yıldız gemisi Atılan'ın şimdiki zamana dönmemesinin hiç yolu yoktur.

Belki de bu, dünyanın neden gelecekte gelen turistlerle dolup taşmadığını açıklıyor, ama geçmişe döntür tarihi değiştirmek mümkün mü, değil mi sorusundan kaynaklanan bir başka tür sorundan kaçmıyor: Neden tarihle sorunumuz var? Örneğin, biri geçmişe gitti ve Nazilere atom bombasının sırrını verdi ya da siz geçmişe gidip, büyük bü-

yük büyükbabanızı çocuk sahibi olmadan önce öldürdünüz. Bu paradoksun pek çok biçimi var, ama temelde aynılar: Geçmiş değişiminde özgür olsaydık, gelişkiye düşerdik.

Zaman yolculuğunun ortaya çıkardığı paradoksların mümkün olan iki çözümü var. İlkinde tutarlı tarih yaklaşımı diyebiliriz. Buna göre, uzay-zaman geçmişe yolculuğu olanaklı kılacak şekilde bükük olsa bile, uzay-zaman içinde olanlar fizik yasalarıyla tutarlı olmak zorunda. Bir başka deyişle, bu bakış açısına göre, tarih zaten geçmişe gittiğinizi ve oradayken büyük büyük büyükbabanızı öldürmediğinizi ya da şimdiki zamana gelişinizin tarihiyle çatışacak bir eylemde bulunmadığınızı söylüyorsa, geçmişe gidemezsiniz. Dahası, geçmişe gitmiş olsanız da, kayıtlı tarihi değiştiremeyebilirsiniz, sadece onu izlersiniz. Bu bakış açısına göre geçmiş ve gelecek önceden saptanmıştır; istediğiniz şeyi yapmak için özgür iradeye sahip değilsiniz.

Elbette özgür iradenin sadece bir yanılsama olduğunu söyleyebilirsiniz. Gerçekten her şeyi yöneten eksiksiz bir fizik yasası varsa, tahminen eylemlerimizi de belirliyordur. Ancak insan gibi karmaşık bir organizmada bunu hesaplamak bir şekilde olanaksızdır ve kuantum mekaniğine göre belli bir gelişigüzellik gerektirir. Yani bu duruma farklı bir şekilde bakabilir, ne yapacağını önceden kestiremeyeceğimiz insanın özgür iradeye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Yine de, eğer insan bir roketle gidip, gitmeden önceki zamana geri dönerse, onun ne yapacağını önceden kestirebiliriz, çünkü yapacakları kayıtlı tarihin bir parçası olacaktır. Yani bu durumda, zaman yolcusunun hiçbir şekilde özgür iradesi olmayacaktır.

Zaman yolculuğunun paradokslarının diğer mümkün olan yoluna alternatif geçmiş varsayımı diyebiliriz. Buradaki düşünceye göre, zaman yolcusu geçmişe gittiğinde, kayıtlı tarihten farklı olan alternatif geçmişe girer. Böylece, önceki geçmişle uyumlu olmak zorunluluğu hissetmeyeceğinden, özgürce davranabilir. Steven Spielberg *Geleceğe Dönüş* filmlerinde bu düşünceyle eğlenmiştir; filmin kahramanı Marty McFly geçmişe gidip, daha başarılı bir geçmiş yaratmak için anne ve babasının kur yapmalarına müdahale edebilmiştir.

Alternatif geçmiş varsayımları, 9. Bölüm'de anlatılan Richard Feynman'ın kuantum kuramını çoklu geçmiş olarak anlatmasına benzer. Ona göre evrenin sadece tek geçmişi yoktur; tersine, her biri kendi olasılığını taşıyan, mümkün olan her geçmişe sahiptir. Yine de, Feynman'ın varsayımı ile alternatif geçmiş arasında önemli bir fark varmış gibi görünür. Feynman'ın çoklu geçmişi, geçmiş uzay-zamanları ve içindeki her şeyi eksiksiz kapsıyor. Uzay-zaman o kadar bükülmüştür ki, bir roketin içinde geçmişe gitmek mümkündür. Ancak roket, tutarlı olabilmek için aynı uzay-zamanda ve dolayısıyla aynı geçmişte kalabilir. Yani Feynman'ın çoklu geçmiş fikri, alternatif geçmişleri değil, tu-

tarlı geçmiş varsayımlarını destekler görünüyor.

Kronoloji koruma tahmini diyebileceğimiz bir yöntemle bu sorunlardan kaçabiliriz. Buna göre fizik yasaları, makroskobik cisimlerin geçmişe bilgi taşımalarını önlemek üzere bir düzen kurmuştur. Bu tahmin doğrulanmamıştır, ama doğruluğuna inanmamızı sağlayan bir neden var. Uzay-zaman geçmişe yapılacak zaman yolculuğunu mümkün kılacak şekilde büküldüğünde kuantum kuramının kullandığı hesaplamalar, kapalı bir döngü içerisinde dönmeyen parçacık-karşı parçacık çiftinin uzay-zaman, zaman yolculuğunu mümkün kılan bükülmeyi önleyecek ve pozitif bir şekilde eğmeye yetecek büyüklükte enerji yoğunluğunu yaratabileceğini gösterir. Durum böyle mi değil mi, henüz netlik kazanmadığından, zaman yolculuğu olasılığı açık duruyor. Ama bunun üzerine bahse girmeyin! Rakibinin geleceği biliyorsa, haksız bir üstünlüğe sahip olacaktır.

11 Doğa güçleri ve

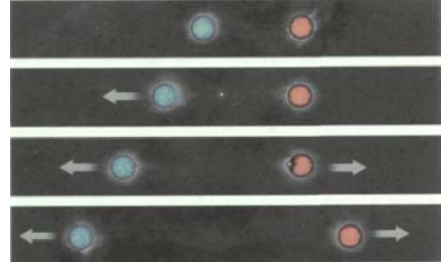
fiziğin birleştirilmesi

Daha önce 3. Bölüm'de açıklanmış olduğumuz gibi, evrendeki her şeyi bir defada açıklayacak, eksiksiz birleşik kuramı oluşturmak çok zor. Bunun yerine, olayları sınırlı kapsamlarda tanımlayan kısmi kuramlar bularak, diğer etkenleri yok sayarak ya da bu etkenlere belirli sayılarla yaklaşarak gelişme kaydettik. Bugün bildiğimiz kadarıyla fiziğin yasaları pek çok sayı içerir -örneğin, bir elektronun elektrik yükünün büyüklüğü, proton ve elektronun kütlelerinin oranı gibi- ve bütün bu sayıların en azından şimdilik kuramdan umamamız. Bunun yerine, gözlem yaparak bu sayıların bulmalı ve sonra onları denklemlere koymalıyız. Bazıları bu sayılara temel sabitler diyor; bazılarıysa uydurulmuş unsur.

Bakış açımız ne olursa olsun dikkate değer gerçek, bu sayıların değerlerinin, hayatın gelişmesini mümkün kılmak üzere titizlikle ayarlanmış olmasıdır. Örneğin, bir elektronun elektrik yükü sadece birazcık farklı olsaydı, yıldızların elektromanyetik ve kütleçekimi kuvvetleri bozulur, ne hidrojeni ve helyumu yakabilir ne de patlayabilirlerdi. Her iki durumda da hayat olmazdı. Bütün bu kısmi kuramları yaklaşımsal olarak birleştiren kuramdaki elektronun elektrik yükünün gücü gibi, özel sayıların değerlerini seçerek gereklice uyarlanmayı gerektirmeyen, eksiksiz, tutarlı bir kuramın içinde sonunda bulunacağım umuyoruz.

Boyle bir kuram arayışı fiziğin birleştirilmesi olarak biliniyor. Einstein son yıllarının büyük bir bölümünü başarıya ulaşmadan birleşik kuramı aramakla geçirdi, ama zaman, henüz olgunlaşmamıştı: kütleçekimi kuvveti ve elektromanyetik kuvvetler için kısmi kuramlar vardı, ancak nükleer kuvvet hakkında çok az şey biliniyordu. Dahası, 9. Bölüm'de değindiğimiz gibi, Einstein kuantum kuramının gerçekliğine inanmayı reddediyordu. Ancak, görünen o ki bu, belirsizlik ilkesi çerçevesinde yaşadığımız evrenin temel özelliği. Bu nedenle başarıya ulaşılmış bir birleşik kuram bu ilkeyi içermek zorunda.

Boyle bir kuramı bulma olasılığı şimdi daha fazla, çünkü evrenle ilgili çok daha fazla şey biliyoruz. Fakat kendimize fazla güvenme konusunda dikkatli olmalıyız; daha önce aldandığımız! Örneğin XX. yüzyılın başında her şeyin, süreklilik taşıyan maddenin esnekliği ve ısı iletimi gibi



Parçacık değiş tokuşu. Kuantum kuramına göre kuvvetler, kuvvet taşıyıcı parçacıkların değiş tokuşundan kaynaklanır.

özellikleriyle açıklanabileceği düşünülüyordu. Atom yapısının ve belirsizlik ilkesinin keşfedilmesi, bu inancı kesin olarak sonlandırdı. Sonra yine 1928'de, Nobel Ödüllü Max Born, Göttingen Üniversitesi'nde bir grup ziyaretçiye, "Bildiğimiz fizik altyapı içinde bilecek" dedi. Onun bu güveni, elektronu tanımlayan denklemin Dirac tarafından henüz bulunmuş olmasından kaynaklanıyordu. O sırada bilinen ikinci parçacık olan protonun da benzeri bir denkleme göre tanımlandığı düşünüldüğünden, bu durum kuramsal fiziğin sonu olacaktı. Ancak, nötronun ve nükleer kuvvetin bulunuşu, bu düşüncüyü de yerle bir etti. Bunları söylerken, doğanın nihai yasalarını arayışımızın artık sonuna yaklaşmakta olabileceğimize dair taşıdığımız sakıncan iyimserliğin nedenleri var.

Kuantum mekanikğinde, kuvvetler ya da maddenin parçacıkları arasındaki etkileşimin bütünüyle parçacıklar tarafından taşındığı varsayılıyor. Olan şey, bir madde parçacığının, elektron ya da kuvar gibi, kuvvet yayan bir parçacık taşıması. Bu yayılımın geri çekilmesi parçacığın hızını değiştirir; aynı neden yüzünden güllüye ateşleyen top geri tepir. Kuvvet taşıyıcı parçacık daha sonra bir başka madde parçacığıyla çarpışır ve o parçacığın hareketini değiştirir üzerine soğurulur. Yayılma ve soğurulma sürecinin kesin sonucu, iki madde parçacığının arasında bir kuvvet olduğunda ortaya çıkacak olan sonuçla aynıdır.

Her kuvvet, kendine özgü türde bir kuvvet taşıyıcı parçacık tarafından aktarılır. Kuvvet taşıyıcı parçacığın kütlesi çoksa, uzak mesafelerde kuvvetin üretimi ve değiş tokuşu zor olacağından, taşıdıkları kuvvet ancak kısa erimli olacaktır. Öte yandan, kuvvet taşıyıcı parçacıkların

kendilerine ait bir kütlesi yoksa taşıdıkları kuvvet uzun erimli olacaktır. Madde parçacıkları arasında değiş tokuş edilen kuvvet taşıyıcı parçacıklara, edimsiz parçacık denir, çünkü gerçek parçacıkların tersine, parçacık dedektörü tarafından doğrudan algılanmazlar. Yine de onların var olduklarını biliyoruz, çünkü etkileri ölçülebiliyor; madde parçacıklarının arasında kuvvetin ortaya çıkmasını sağlıyorlar.

Kuvvet taşıyıcı parçacıklar dört kategoride toplanabilir. Bu dört kategoriye ayırma işinin insanlar tarafından yapıldığı vurgulanmalıyız; bu, kısmi kuramları oluşturulmasında kullanışlı olabilir, ancak daha derin bir durumun karşılığı olmayabilir. Çoğu fizikçi, dört kuvveti tek bir kuvvetin farklı görüntüşleri olarak açıklayacak birleşik kuramı eninde sonunda bulmayı umut ediyorlar. Aslında pek çoğu günümüzde fizikğin başlıca amacının bu olduğunu söyleyecektir.

İlk kategori kütleçekimi kuvvetidir. Bu evrensel bir kuvvettir; yani, her parçacık kütlesi ve enerjisine göre kütleçekimi kuvvetinden etkilenir. Kütleçekiminin çekimini, graviton denilen edimsiz parçacıkların değiş tokuşunun neden olduğu çekim olarak tanımlayabiliriz. Kütleçekimi kuvveti, dört kuvvet arasında büyük farkla en zayıf olanıdır; o kadar zayıftır ki, iki önemli özelliği olmasaydı varlığını hiç fark etmezdi; çok büyük uzaklıkları bile etkileyebilir ve hep çeker. Yani, Dünya ve Güneş gibi iki büyük cisim arasındaki her bir parçacığın çok zayıf kütleçekimi kuvvetleri bir araya gelerek önemli bir kuvvet oluşturabilir. Diğer üç kuvvet ya kısa erimlidir ya da bazen çekici bazen de iticidir; bu yüzden de birbirini yok etme eğilimindedir.

İkinci kategori, elektron ve kuvar gibi elektrik yüklü parçacıklarla etkileşen, ama nötrino gibi elektrik yükü olmayan parçacıklarla etkileşmeyen elektromanyetik kuvvettir. Bu kuvvet, kütleçekimi kuvvetinden çok daha güçlüdür: iki elektron arasındaki elektromanyetik kuvvet, kütleçekimi kuvvetinden milyon x milyon x milyon x milyon x milyon x milyon kez (1'den sonra kırk iki sıfır) büyüktür. Ayrıca iki tür elektrik yükü vardır: pozitif ve negatif. İki pozitif yük ve iki negatif yük arasındaki kuvvet iticidir; ama bir pozitif ve bir negatif yük arasındaki kuvvet çekicidir.

Dünya ve Güneş gibi büyük cisimler, hemen hemen eşit sayıda pozitif ve negatif yük içerirler. Böylece her parçacığın arasındaki çekici ve itici kuvvetler birbirlerini hemen hemen yok ederler ve geriye çok küçük bir elektromanyetik kuvvet ağı kalır. Oysa atomların ve moleküllerin küçük ölçeklerinde elektromanyetik kuvvet baskındır. Atom çekirdeğindeki negatif yüklü elektronlarla, pozitif yüklü protonlar arasındaki çekim kuvveti, kütleçekimi kuvvetinin Dünya'nın Güneş etrafında dönmeye neden olması gibi, elektronların çekirdek etrafında dönmeye neden olur. Elektromanyetik çekimi, foton denilen edimsiz parçacıkların büyük sayılarda değiş tokuşunun neden olduğu çekim olarak tanımlanır.

layabiliriz. Fotonların, değiş tokuş edilen edimsiz parçacıklar olduğunu tekrarlayalım. Ancak, bir elektron yörüngesini değiştirir, çekirdeğe daha yalın olan bir yörüngeye geçtiğinde enerji serbest kalır ve gerçek bir foton ortaya çıkar; bu durum, uygun dalgaboyundaydı çıplak gözle ışık olarak görülür ya da fotoğraf filmi gibi bir foton dedektörüyle gözlemlenebilir. Aynı şekilde, gerçek bir foton bir atomla çarpışsa, çekirdeğe yakın yörüngesi olan bir elektronu, daha uzaktaki bir yörüngeye kaydırabilir. Bu sırada enerjisi kullanılan foton soğurulmuş olur.

Üçüncü kategori, zayıf nükleer kuvvettir. Günlük yaşamımızda bu kuvvetle doğrudan ilişkimiz olmaz. Oysa bu kuvvet radyoaktivitenin-atom çekirdeğinin bozulmasının- sorumlusudur. Zayıf nükleer kuvvet 1967'ye, Londra'daki Imperial College'tan Abdus Salam ve Harvard'dan Steven Weinberg, bu etkimeyi elektromanyetik kuvvetle birleştiren kuramlarını, 1967'den önce elektrikli ve manyetizmi birleştiren Maxwell gibi, öne sürünceye kadar pek anlaşılmadı. Bu kuramın kestirimleri deneylerin sonuçlarıyla doğrulandı ve 1979'da Salam ve Weinberg, yine Harvard'dan, elektromanyetik kuvveti ve zayıf nükleer kuvveti birleştiren benzer kuramıyla Sheldon Glashow Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar.

Dördüncü kategori, dört kuvvetin en güçlüsü olan, güçlü nükleer kuvvettir. Bu da, doğrudan ilişki içinde olmadığımız, ancak günlük yaşamımızın büyük bir bölümünü etkileyen bir kuvvettir. Atom çekirdeğindeki protonların ve nötronların bir arada tutulmasında, protonların ve nötronların içindeki kuvarların birbirine bağlanmasında sorumludur. Güçlü nükleer kuvvet olmasa, pozitif yüklü protonlar arasındaki itici elektrik, evrendeki bütün atom çekirdeklerinin -çekirdeğinde tek proton olan hidrojen gazındakiler hariç- patlayıp dağılmasına neden olurdu. Bu kuvvetin, sadece kendisiyle ve kuvarlarla etkileşen ve glüon denilen bir parçacıkla taşıdığına inanılıyor.

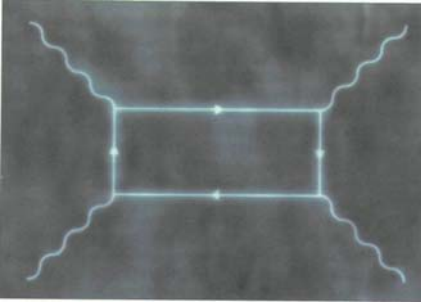
Elektromanyetik kuvvet ile zayıf nükleer kuvvetin başarıyla birleştirilmesi, bu iki kuvveti güçlü nükleer kuvvetle birleştirmeye girişimlerine neden oldu; buna da büyük birleşik kuram (BBK) adı verildi. Bu oldukça abartılı bir isim; sonuçta oraya çıkan kuram ne o kadar büyüktü ne de tam olarak birleştirilmişti, çünkü kütleçekimi kuvvetini kapsamıyordu. Ayrıca tamamlanmış kuramlar da değiller, çünkü kuramın kestirimde bulunmadığı değerlere sahip, ancak deneylere uygun olan dişe seçilmiş birçok parametre içerir. Yine de, eksiksiz, tümüyle birleştirilmiş bir kurama doğru atılan bir adım olabilirler.

Kütleçekimini diğer kuvvetlerle birleştiren bir kuram bulmanın aslı zorluysa, kütleçekimi kuramının -genel göreliliğin- kuvantum kuramını içermeyen tek kuram olmasıdır; kütleçekimi kuramı belirsizlik ilkesini hesaba katmaz. Yalnız, diğer kuvvetlerin kısmi kuramları temel olarak kuvantum mekanikine dayandığından, kütleçekimini diğer kuramlarla birleştirmek, bu ilkeyi genel göreliliğe dahil edecek bir yolun bulunma-

sini gerektiriyor. Ancak şimdiye kadar kütleçekimi kuvantum kuramını bulabilen biri çıkmadı.

Kütleçekimi kuvantum kuramını yaratmanın bu kadar zor olmasının nedeni, belirsizlik ilkesinin "boş" uzayın bile edimsiz parçacıklarla ve karşıt parçacıklarla dolu olduğu anlamını taşıdığı gerçeğidir. Eğer böyle olmasaydı -yani "boş" uzay gerçekten tümüyle boş olsaydı- kütleçekimi alam ve elektromanyetik alan gibi bütün alanlar kesinlikle sıfır olacaktı. Ancak, alanın değeri ve zaman içerisinde değişime oram, bir parçacığın konumuna ve hızına (konumun değişmesine) benzer; belirsizlik ilkesine göre, bu niceliklerden birini bildiğiniz kesinlikle diğeri bilemezsiniz. Yani, boş uzaydaki bir alan tam olarak sıfırda sabitlenmişse, o zaman bu alan belirsizlik ilkesini bozan kesin bir konumsal değere (sıfır) ve kesin bir değişim değerine (sıfır) sahip olacaktır. Böylece alanın değerinde, en az oranda belirsizlik ya da kuvantum dalgalanması olacaktır.

Bu dalgalanma, bir çift parçacığın bir süre birlikte ortaya çıkmaları, ayrılması, sonra yeniden bir araya gelerek, birbirlerini yok etmeleri olarak düşünülebilir. Bunlar, kuvvet taşıyıcı parçacıklar gibi, edimsiz parçacıklardır; gerçek parçacıkların tersine, parçacık dedektörüyle doğrudan gözlenemezler. Yine de bunların dolaylı etkisi, elektron yörüngelerindeki küçük enerji değişimleri gibi ölçülebilir ve bu veriler kuramın kestirimleriyle dikkate değer bir doğrulukla örtüşür. Elektromanyetik alanın dalgalanması durumunda, bu parçacıklar edimsiz fo-



Feynman'ın edimsiz parçacık-karşıt parçacık çifti diyagramı.
Elektrolonlara uygulanan belirsizlik ilkesi, boş uzaya bile edimsiz parçacık-karşıt parçacık çiftinin bildirildiğini ve sonra birbirlerini yok ettiğini söyler.

tonlardır; çekimsel alanın dalgasındaki parçacıklar, edimsiz gravitonlardır. Zayıf ve güçlü nükleer kuvvet alanlarında edimsiz parçacıklar, madde parçacıklarından -elektrolonlar ya da kuvarklar gibi- ve onların karşıt parçacıklarından oluşan çiftlerdir.

Sorun, edimsiz parçacıkların enerjiye sahip olmalarıdır. Aslında, sonsuz sayıda edimsiz parçacık olduğundan, sahip oldukları enerji miktarı da sonsuz olacak ve bu yüzden, Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre, kütleleri de sonsuz olacaktır. Genel göreliliğe göre bu durum, parçacıkların kütleçekimi kuvvetinin evreni sonsuz küçüklüğe kadar eğilmesi anlamına geliyor. Böyle olmadığı açıktır ortada! Diğer kısmı kuramlarda da -yani güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuvvetler- benzeri saçmalıkta sonsuzluklara ortaya çıkıyor, ama bunların hepsinde sonsuzluklar, yeniden normalleştirme denilen bir işlemlerle ortadan kaldırılabilirler; bu kuvvetlerin kuvantum kuramlarını yaratabilmemizin nedeni de bu işlemdir.

Yeniden normalleştirme, kuramda ortaya çıkan sonsuzlukları yok edebilme etkisine sahip yeni sonsuzlukları bulmayı gerektirir. Bununla birlikte, sonsuzlukların tam olarak yok edilmeleri gerekmiyor. Yeni sonsuzlukları, küçük artanlar şeklinde seçebiliriz. Bu küçük artanlara, kuramın yeniden normalleştirilmiş nicelikleri denir.

Bu uygulama, matematiksel olarak oldukça şüpheli bir yöntem olmakla birlikte, işe yarar görünüyor; güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuramlarla kullanıldığında, gözlemlerle olağanüstü doğruluk ölçülerinde uyuşan hesaplar yapılabilir. Yeniden normalleştirme, tam bir kuram bulma açısından bakıldığında, ciddi bir sakınca taşıyor, çünkü kütlelerin gerçek değerleri ve kuvvetlerin güçleri kurama göre hesaplanamıyor, gözlemlere uygun olsun diye seçilmek zorunda kalıyor. Yeniden normalleştirmeyi, genel görelilikteki kuvantum sonsuzluklarını kaldırmak için kullanmaya çalıştığımızda, ne yazık ki elimizde uyarlayabileceğimiz iki nicelik var: çekimin gücü ve evrenin genişlediğine inanmayan Einstein'ın denklemlerinde kullandığı kozmolojik sabitin değeri (7. Bölüm'e balan). Ancak bunlarla oynamanın bütün sonsuzlukları ortadan kaldırmaya yetmediği ortaya çıktı. Böylece elimizde, uzay-zamanın eğriliği gibi bazı niceliklerin gerçekten sonlu olduğunu hesaplayabilen görünen kütleçekimi kuvantum kuramı kalıyor; ancak bu niceliklerin tamamen sonlu olduklarını zaten gözlemleyebiliyor ve ölçüyoruz!

Genel göreliliği ve belirsizlik ilkesini bir araya getiren sorun çıkacağı bir süredir bekleniyordu ve sonunda 1972'de yapılan ayrıntılı hesaplamalar bu sorunu doğruladı. Dört yıl sonra, süper kütleçekimi denilen bir çözümün mümkün olduğu öne sürüldü. Ne yazık ki, süper kütleçekiminde giderilmemiş sonsuzluklar kalmış mı, bulmak için gereken hesaplamalar o kadar uzun ve zordu ki, kimsenin böyle bir işe kalkışacak donanımı yoktu. Bilgisayarla bile hesaplamaların yıllarca süreceği düşünülüyordu; ayrıca en az bir hatanın, muhtemelen daha da

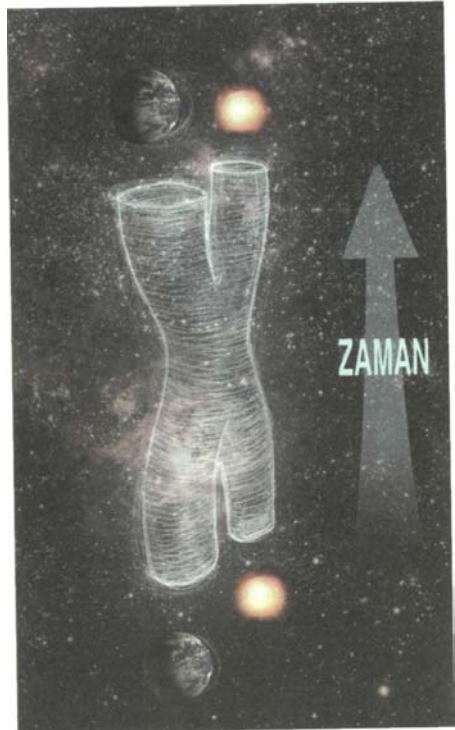
çoğunun, yapılması olasılığı çok yüksekti. Doğru yanıtı sahip olduğumuzu, ancak bir başkası hesaplamaları tekrarlayıp aynı sonuca varırsa anlayacaktık ve bu pek mümkün görünmüyordu! Bu sorunlara ve süper kütleçekimi kuramındaki parçacıkların, gözlemlenen parçacıklara benzemediği gerçeğine rağmen, çoğu bilimci kuramın değiştirilebileceğine ve bunun, kütleçekimini diğer kuvvetlerle birleştirme sorusunun doğru yanıtı olduğuna inandı. Sonra 1984'te, sicim kuramı lehinde dikkate değer bir görüş değişikliği oldu.

Sicim kuramından önce, temel parçacıkların her birinin uzayda tek bir nokta kapladığı düşünülüyordu. Sicim kuramlarında temel nesneler, nokta parçacıklar değil, tıpkı sonsuz incelikte bir sicim parçası gibi, uzunluğundan başka boyutu olmayan şeylerdi. Bu sicimlerin uçları olabilir (açık sicim denilenler) ya da uçları birbirleriyle birleşerek kapalı bir ilmek oluşturabilir (kapalı sicimler). Bir parçacık, zamanın her anında, uzayda tek bir nokta kaplıyor. Öte yandan bir sicim, zamanın her atımda uzayda bir çizgiyi kaplar. İki parça sicim bir araya gelerek, tek bir sicim oluşturabilir; açık uçlu sicimler durumunda, sadece sicimlerin uçları birleşirken, kapalı sicimler durumu, bir pantolonun iki bacağının birleşmesine benzer. Aynı şekilde tek parça sicim, iki sicime bölünebilir.

Evrendeki temel nesneler sicimse, deneylerde gözlemediğimiz nokta parçacıklar ne? Sicim kuramlarında, daha önce farklı nokta parçacıklar olarak düşündüğümüz şey, sicimin üzerindeki dalgalar olarak tanımlanıyor. Ancak sicimler ve sicim boyunca oluşan dalgalar o kadar küçük ki, en gelişmiş teknolojiğimiz bile onların biçimini çözemiyor; böylece bütün deneylerimizde onların ufak, özelliiksiz noktalar olarak hareket ettiklerini görüyoruz. Bir toz zerresine çok yalandan ya da bir büyütle baktığınızı düşünün; zerrenin düzensiz, hatta sicim benzeri bir biçimi olduğunu, ama uzaktan özelliiksiz bir nokta gibi gördüğünü fark edersiniz.

Sicim kuramında bir parçacığın bir başka parçacık tarafından yayılımı ya da soğurulması, sicimin bölünmesine ya da bir araya gelmesine denk düşer. Örneğin, Güneş'in Dünya üzerindeki kütleçekimi kütleçekimi parçacık kuramında, graviton denilen kuvvet taşıyıcı parçacıkların Güneş'teki bir madde parçacığı tarafından yayınlanıp, dünyadaki bir madde parçacığı tarafından soğurulması olarak tanımlanıyordu. Sicim kuramında bu süreç H biçimli bir tüpe ya da boruya denk düşer (sicim kuramı daha çok su tesisatına benzer). H'nin iki düşey kolu Güneş ve Dünya'daki parçacıklara, aradaki yatay kolu ise, ikisi arasında yol alan gravitona denk düşer.

Sicim kuramının garip bir tarihi var. İlk olarak 1960'ta, büyük kuvveti tanımlayacak bir kuram bulma çabası sonucunda bulunmuştur. Buradaki düşünceler, proton ve nötron gibi parçacıkların bir sicim üzerindeki dalgalar gibi kabul edilebileceğiydi. Parçacıklar arasındaki büyük kuvvet, tıpkı bir örümcek ağında olduğu gibi, sicim parçaları arasında-



Feynman'ın sicim kuramı diyagramları.
Sicim kuramında uzun erimli kuvvetler, kuvvet taşıyıcı parçacıkların değiş tokuşundan çok, birbirine bağlanan tüplerden kaynaklanıyormuş gibi görünür.

ki sicim parçaları gibidir. Bu kuramın, parçacıklar arasındaki büyük kuvvetin gözlemlenen değerini verebilmesi için, sicimlerin on tonluk çekişe dayanan lastik şeritler gibi olmaları gerekiyordu.

1974'te, Paris'teki Ecole Normale Supérieure'dan Joel Scherk ve Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden John Schwarz yayımladıkları bir makalede, sicim kuramının kütleçekimi kuvvetinin doğasını açıklayabileceğini, ancak bunun için sicimdeki gerilimin milyar x milyon x milyon x milyon x milyon x milyon (İ'den sonra otuz dokuz sıfır) ton olması gerektiğini gösterdiler. Normal uzamluktaki ölçeklerde sicim kuramının hesaplamaları, genel görelilik kuramımlarıyla aynı olacaktır, ama santimetrelerin milyar x milyon x milyon x milyon x milyonda biri (İ'den sonra otuz üç sıfır) kadar çok küçük aralıklarda farklı olacaktır. Bu çalışma pek dikkat çekmedi, çünkü tam o sırada pek çok bilimci, büyük kuvvete ilişkin ilk sicim kuramını, gözlemlere daha çok uyduğu düşünülen kuark ve gluonlara dayanan kuram yüzünden bırakmıştı. Scherk kötü bir şekilde öldü (şeker hastasıydı ve yanında insülin iğnesi yapacak kimse olmadığı bir sırada komaya girmişti), böylece Schwarz, sicimin gerilimi için çok daha yüksek bir değer önererek, kuramın neredeyse tek destekçisi olarak kaldı.

1984'te sicim kuramına duyulan ilgi aniden, iki nedenle yeniden canlandı. İlk neden, süper kütleçekiminin sonlu olduğunu göstermekte ya da süper kütleçekiminde gözlemlenen parçacık türlerinin açıklamasında pek bir ilerleme olmamasıydı. İkinci neden ise, John Schwarz'ın bu kez Londra'daki Queen Mary College'tan Mike Green'le birlikte yayımladığı makaleydi. Makalede, sicim kuramının, gözlemlediğimiz bazı parçacıklardaki gibi, solak yapıda parçacıkların varlığını açıklayabileceği anlatılıyordu. (Deneyisel ortamı bir aynaya yansıtarak değiştirdiğinizde çoğu parçacığın davranışı aynı kalır, ama solak yapıdaki parçacıkların davranışı değişir, iki elini birden kullananlar gibi değil, sol ya da sağ elini kullananlar gibi davranırlar.) Nedeni ne olursa olsun, çok geçmeden pek çok bilimci sicim kuramı üzerinde çalışmaya başladı ve gözlemlediğimiz parçacık türlerini açıklayacakmış gibi görünen yeni bir yorum geliştirildi.

Sicim kuramı sonsuzluklara da yol açar, ama doğru bir uyarılamayla (bu henüz kesin olarak bilinmiyor) hepsinin çok edileceği düşünülüyor. Ancak sicim kuramlarının daha büyük bir sorunu var: Uzak-zaman dört yerine ancak on ya da yirmi altı boyutlu olursa, tutarlı görünüyolar! Elbette, fazladan uzak-zaman boyutları bilimkurgu için sıradan bir durum. Aslında, genel göreliliğin ışıkdan hızlı gidilemeyeceği ya da zamanda geriye gidilemeyeceği (10. Bölüm) gibi normal kısıtlamaları aşmak için mükemmel bir yol bulmuşlar. Bilimkurguya göre, bu fazladan boyutların arasında kestirme yollar var. Bu durumu şöyle hayal edebilirsiniz: İçinde yaşadığımız uzayın yalnızca ikiboyutlu olduğunu, bir çapa demirinin halkası ya da çöreğin yüzeyi gibi eğrimsiz olduğunu

düşünün. Halkanın iç kısmındaysanız ve halkanın iç kısmında karşıdaki bir noktaya gitmek istiyorsanız, halka boyunca, hedef noktaya varıncaya kadar yürürsünüz. Ancak üçüncü boyutta yolculuk yapabiliyorsanız, halkayı bırakıp, doğrudan karşıya geçersiniz.

Bu fazladan boyutlar gerçekten varsa, onları nasıl fark ediyoruz? Niçin sadece üç uzay bir de zaman boyutunu görebiliyoruz? Bu noktada diğer boyutların bizim alışık olduğumuz boyutlara benzemediği öne sürülüyor. Çok küçük bir uzay parçasında, bir santimetrenin milyon x milyon x milyon x milyon x milyonda biri gibi bir ölçüde eğrimsiz duruyorlar. Bu o kadar küçük bir alan ki, fark etmemiz mümkün değil; biz ancak, uzak-zamanın oldukça düz olduğu bir zaman boyutunu ve üç uzay boyutunu görebiliyoruz. Bunun nasıl işlediğini görmek için, bir zaman parçasının yüzeyini düşünün. Yakından bakarsanız yüzeyin ikiboyutlu olduğunu görürsünüz, Yani, saman parçasının üzerindeki bir noktanın konumu iki sayıyla belirlenir: samanın uzunluğu ve dairesel boyutun çevresi. Ancak dairesel boyutu, uzunluk boyutuna göre çok daha küçüktür. Bu yüzden, bir saman parçasına uzaktan baktığınızda, samanın kalınlığını göremezsiniz ve saman tekboyutlu görünür. Yani, samanın üzerindeki bir noktanın konumunu belirlemek için, sadece samanın uzunluğuna ihtiyacınız varmış gibi görünür. Uzak-zamanda da durum böyledir; sicim kuramcılarına göre, çok küçük ölçeklerde on-boyutludur ve iyice eğrimsizdir, ancak büyük ölçeklerde eğrimsiz veya ekstra boyutları göremeyiz.

Eğer bu doğrusa, sözde uzay yolcuları için kötü haber demektir; ekstra boyutlar uzak gemilerin geçemeyeceği kadar küçük olacaktırlar. Ancak bu durum bilimciler için de büyük bir sorundur: Neden boyutların hepsi değil de bazıları küçük bir topun içinde eğrilip kalmıştır? Herhalde evrenin ilk zamanlarında bütün boyutlar eğrimsizdi. Pekii diğer boyutlar iyice eğrimsiz dururken, neden üç uzay boyutu ve bir zaman boyutu çözümlü kalmış?

Bunun mümkün olan yanıtlarından biri, "Var olduğumuz için evreni olduğu gibi görüyoruz" diyen antropik ilkedir. Antropik ilkenin zayıf ve güçlü olmak üzere iki türü vardır. Zayıf antropik ilkeye göre, uzay ve zaman içinde sonsuz ya da büyük bir evrende, zeki yaşamın gelişmesi için gereken koşullar, uzak-zamanda sınırlı olan belli bölgelerde bulunabilir ancak. Bu nedenle, bu bölgelerdeki zeki varlıklar, evrende bulundukları yerin kendi varlıkları için gereken koşullara sahip olduğunu gözlemlediklerinde şaşmazlar. Bu biraz, varlıkların yaşadığı mahallede yaşayan ve yoksulları hiç görmeyen bir varlığının durumuna benzer.

Bazdan daha da ileri gider ve ilkenin daha güçlü yorumunu öne sürer. Bu kurama göre, hem farklı evrenler, hem de bir evren içinde her biri kendi ilksel durumuna ve -belki de- kendi bilim yasalarına sahip pek çok farklı bölge olabilir. Bu evrenlerin çoğunda koşullar karmaşık

organizmaların gelişmesi için elverişli olmayacaktır, sadece bizimki gibi evrenlerde zeki varlıklar gelişip, "Evren neden bizim gördüğümüz gibi?" sorusunu sorabilir. O zaman yanıt basittir: Evren farklı olsaydı, biz burada olmazdık!

Zayıf antropik ilkenin geçerliliğini veya yararlarını tartışacak çok az kişi olsa da evrenin gözlemlenen durumu olan güçlü antropik ilkeye pek çok itiraz gelebilir. Örneğin, bütün bu farklı evrenlerin var olduğu hangi anlamda söylenmektedir? Eğer bu evrenler gerçekten birbirlerinden ayrıysa, başka evrende olan bir şeyin, bizim evrenimizde gözlemlenebilir sonuçları olamaz. Bu nedenle tutumluluk ilkesini kullanırız ve o evrenleri kuramdan çıkarırız. Öte yandan, eğer bunlar tek bir evrenin farklı bölgeleriye, bilimin yasaları her bölge için aynı olmak zorunda, çünkü öyle olmasaydı bir bölgeden diğerine kesintiye uğramadan geçemezdik. Bu durumda, bölgeler arasındaki tek fark, ilkel durumlarında olacak, böylece güçlü antropik ilke, zayıf antropik ilkeye dönüşecektir.

Sicim kuramındaki ekstra boyutların neden eğrilip kaldıkları sorusuna antropik ilkenin verebileceği bir yanıt vardır. İki uzay boyutu, bizim gibi karmaşık varlıkların gelişebilmesi için yeterli değildir. Örneğin, bir çemberde (ikiboyutlu dünyanın yüzeyi) yaşayan ikiboyutlu hayvanlar, birbirlerini geçebilmek için, birbirlerinin üzerine tırmanacaktır. İkiboyutlu bir hayvan bir şey yediğinde bunu tümüyle sindiremeyecek, sindirim artıklarını yuttuğu yoldan geri çıkarmak zorunda kalacaktır, çünkü gövdesini boydan boya kat edecek bir sindirim yolu hayvanı iki ayrı parçaya bölecekti, ikiboyutlu varlığımız parçalanacaktı. Aynı şekilde, ikiboyutlu bir yaratıkta kan dolaşımının nasıl olacağını düşünmek de çok zordur.

Üçten fazla boyutlu uzayda da sorunlar olacaktır. İki cisim arasındaki kütleçekimi kuvveti uzaklığa göre, üç boyutta olduğundan çok daha çabuk azalacaktır. (Üç boyutta, uzaklık iki katına çıktığında kütleçekimi kuvveti dördte bir oranında azalacaktır. Dört boyutta sekizde bir oranında, beş boyutta on altıda bir oranında vs azalacaktır.) Bunun önemli sonucu, Dünya gibi gezegenlerin Güneş etrafındaki yörüngelerinin kararsız olmasıdır: Dairesel yörüngeden (diğer gezegenlerin kütleçekimlerinin neden olabileceği) en ufak bir sapma, dünyanın sarmallar çizerek Güneş'e doğru yaklaşmasıyla ya da ondan uzaklaşmasıyla sonuçlanacaktır. Bu durumda ya donardık ya da yanardık. Aslında, üçten fazla boyutlu kütleçekiminin uzaklığa göre aynı şekilde işlemesi demek, Güneş, basıncın kütleçekimi kuvvetini dengelediği kararlı durumda var olamaz demektir. Güneş bu durumda ya parçalanır ya da çökerek bir kara delik oluşturur. Her durumda, Dünya'daki yaşam için ısı ve ışık kaynağı olması mümkün değildir. Daha küçük ölçeklerde, elektronların çekirdek etrafında dönmelerini sağlayan elektriksel kuvvet, tıpkı kütleçekimi kuvveti gibi hareket eder. Böylece elektronlar ya atom-



Üçboyutlu olmanın önemi.

Üçten fazla uzay boyutunda gezegenlerin yörüngeleri dengesizdir; gezegenler ya Güneş'in üzerine düşer ya da ondan tamamen uzaklaşır.

dan kaçır ya da spiraller çizerek çekirdeğin üzerine düşer. Her iki durumda da bildiğimiz atomlar olmaz.

Bu durumda yaşamın, en azından bizim bildiğimiz biçimiyle, bir zaman üç uzay boyutunun küçük bir noktada bükülüp kalmadığı uzay-zaman bölgelerinde ancak var olabileceği açıktır. Yani biz, zayıf antropik ilkeye başvurabilir ve sicim kuramının en azından böyle bölgelerin varlığına olanak tanıdığını gösterebiliriz; sicim kuramı gerçekten de bunu gerçekleştirmiş gibi görünüyor. Evrenin başka bölgeleri ya da bütün boyutların küçücük bir noktada eğildiği ya da dörtten fazla boyutuyla hemen hemen düz olan başka evrenler (bu her ne demekse) olabilir, fakat böyle bölgelerde farklı sayıdaki etkin boyutu gözlemleyen zeki varlıklar olmayacaktır.

Sicim kuramının öngördüğü ekstra boyutların milyonlarca şekilde eğrilmiş olabileceği sorununun yanı sıra, kuramının bir başka sorunu da, ortada en azından beş farklı sicim kuramı (ikisi açık uçlu, üçü farklı şekillerde kapanmış sicim kuramları) olmasıdır. Neden sadece

bir sicim kuramını ve bir eğrilmeyi seşmiyoruz? Bir sũre bu sorunun yanıtı yokmuş gibiydi ve bataklığa saplanıldığından ilerleme sağlanamıyordu. Sonra, 1994'te insanlar ikiliğin ne olduğunu anlamaya başladılar; farklı sicim kuramları ve ekstra boyutların farklı şekillerde eğrilmeleri, dũrt boyutta aynı sonuçları veriyordu. Dahası, tũpki uzayda tek noktayı işgal eden parçacıklar gibi, uzayda ikiboyutlu ya da daha yũksek boyutlu yer kaplayan p-zar denilen nesneler bulundu. (Bir parşacığı 0-zar, bir sicimi 1-zar olarak sayabiliriz; ancak p=2'den p=9'a kadar p-zarlar vardır ve bunların ikiboyutlu zarlar olduğu dũşũnũlebilir. Daha yũksek boyutlu zarları betimlemek daha zordur.) Sũper kũtleçekimi, sicim ve p-zar kuramları arasında bir tũr demokrasi (eşit konuşma hakkına sahipler anlamında) varmış gibi gũrũnũyor; birbirlerine uyuyorlar, ama hangisinin diğerlerinden daha esaslı olduğunu kimse sũylemez. Hepsisi de, daha temel bir kuramın her biri farklı geşerçlilikteki değişik yaklaşımları gibi gũrũnũyor.

insanlar bu temelde yatan kuramı arıyorlar, ama şimdiye kadar başarabilen olmadı. Gũdel'in gũsterdięi gibi temel kuramın, aritmetiğin tek bir aksiyom sistemiyle formũle edilmesi gibi, tek bir formũlũ olmayabilir. Kuram bir haritaya benzeyebilir, Dũnya'nın ya da bir çapa halkasının yuvarlak yũzeyini tanımlamak için tek ve dũz bir harita kullanamayız; her noktayı gũsterebilecek dũnya için en azından iki, halka için dũrt harita kullanmalıyız. Her harita ancak sınırlı bir bũlgeyi gũsterir, ama farklı haritalar işte işte bindirildiğinde bũtũn bũlgeyi gũrebiliriz. Bir dizi harita yũzeyin tam bir betimlemesini sağlar. Aynı şekilde, fizikte de farklı durumlar için farklı formũller kullanılabilir, ama iki farklı formũl, ikisinin birden uygulandığı durumlarda birbirleriyle dũřtüşmelidir.

Eğer bu doğruysa, bir kuram tek bir varsayım sistemiyle ifade edilemeye bile, farklı formũllerden oluşan tam bir koleksiyon, eksiksiz birleştirilmiş kuram olarak kabul edilebilir. Birleştirilmiş kuramın olmaması mũmkũn mũ? Yoksa bir serabın peşine mi dũřtũk? Bu noktada üç olasılık var gibi:

1- Gerçekten eksiksiz ve birleştirilmiş bir kuram var (veya birbirini tamamlayan formũller koleksiyonu var) ve yeterince akıllı olduğumuz bir gũn bu kuramı keşfedeceğiz.

2- Evreni açıklayan nihai bir kuram yok; sadece evreni gittikçe daha doğru açıklayan, ama asla kesin olmayan sonsuz kuramlar dizesi var.

3- Evreni açıklayan bir kuram yok; belli bir boyutun dũtesinde önden keştirilemeyen olaylar, rasgele ve keyfi olarak geşçekleşiyor.

Bazıları, tam bir yasal sistem olsaydı, bu durum Tanrı'nın fikrini değiştirme ve dũnyaya karşıma özgũrlũđũ işhal ederdi dũřũncesine

dayanarak, üçũncũ olasılığı savunacaktır. Ancak, Tanrı sonsuz gũce sahip olduğuna gũre, eğer isteseydi özgũrlũđũ işhal edemez miydi? Bu biraz eski bir paradoksa benziyor: Tanrı, kaldıramayacağı bir ağırılıkta taş yaratılabilir mi? Aslında, Tanrı'nın fikrini değiştirmek isteyebileceği dũřũncesi, Aziz Augustinus'un belirttiği gibi, Tanrı'yı zaman içinde var olan bir varlık olarak hayal etmekten kaynaklanan bir aldanmadır. Zaman, Tanrı'nın yarattığı evrenin bir özelliğidir. Galiba Tam, evreni yaratırken ne istediğini biliyordu!

Kuvantum mekaniğinin bulunuuşuyla, olayların tam bir doğrulukla tahmin edilemeyeceğini anladık; bir dũldeye belirsizlik hep olacaktı. Eğer isterseniz, bu geliřigũzellięi Tanrı'nın mũdahalesi olarak kabul edebilirsiniz. Ancak bu, bir amaca yũnelik olduğuna dair herhangi bir kanıtı olmayan, tuhaf bir mũdahaledir. Aslında, eğer bir amacı olsaydı, tanım gereği geliřigũzel olamazdı. Gũnũmũzde, bilimin amacını yeniden tanımlayarak, üçũncũ olasılığı seşenekler arasında kesin olarak çıkardı; amacımız, olayları belirsizlik ilkesinin tanımladığı sınıra kadar keştirim-de bulunmamızı sağlayacak bir yasal sistemi formũle etmektir.

ikinci olasılık, yani evreni gittikçe daha doğru açıklayan sonsuz kuramlar dizisinin var olması, bũgũne kadar bũtũn deneylerin birleştiği bir durum. Var olan kuramla keştirimde bulunamayacağımız yeni bir fenomeni keşfedebilmek için dũlçũmlerimizin duyarlılığını pek çok kez artırdık veya yeni bir gũzlem biçimi geliştirdik ve bunları aşıklayabilmek için daha ileri bir kuram geliştirmek zorunda kaldık. Gittikçe artan bir enerjile etkileşen parçacıkları araştırarak, şimdi "temel" parçacıklar olarak kabul ettiğimiz kuvar ve elektronlardan daha temel, yeni yapı katmanları bulmayı geşekten umabiliriz.

Kũtleçekimi kuvveti, bu "kutu içinde kutu" dizisine bir sınır koyabilir. Planck enerjisinden daha yũksek enerjisi olan bir parçacık bulunsaydı, kũtesi o kadar yoğun olacaktı ki, kendisini evrenin geri kalanından ayırıp, kũřũk bir kara delik oluşturacaktı. Oyle gũrũnũyor ki, biz daha yũksek enerjileri araştırdık geliştirilen kuramlar dizisinin bazı sınırları olmali, yani evrenin nihai bir kuramı olmali. Ancak Planck enerjisi, bũğũn laboratuvarlarımızda uturebildiğimiz enerjinin oľk çok dũtesinde. Parçacık hızlandırıcılarıyla bu araşığı yakın gelecekte kapatamayız. Ancak evrenin ilk evreleri, bũyle enerjilerin ortaya çıktığı etkin alanları. Evrenin ilk dũnemlerini ve matematiksel tutarlılığının gereklerini araştırmak, bũğũn yaşayanların bazılarının dũmterleri bitmeden tam bir birleşik kurama ulaşmamızı sağlayacaktır, elbette bundan önce kendimizi havaya uşurmamışsak!

Evrenin nihai kuramını keşfetmemiz ne anlama gelecek?

3. Bũlũm'de belirttiğimiz gibi, kuram kanıtlanamayacağı için, geşçekten doğru kuramı bulduğumuzdan asla emin olamayacağız. Ancak kuram matematiksel olarak tutarlıysa ve her zaman gũzlemlere uyan

kestirimlerde bulundaysa, bunun doğru kuram olduğundan makul ölçülerde emin olabiliriz. Bu durum, insanın evreni anlamak için gösterdiği akılcı çabının tarihinde, uzun ve muhteşem bir bölümün sonunu getirecektir. Fakat sıradan insanın evreni yöneten yasalara ilişkin anlayışını kökten değiştirecektir.

Newton döneminde, eğitimli birinin insanlığın bütün bilgisini, en azından genel hatlarıyla kavraması mümkündü. Ancak geçen zaman içinde, bilimin gelişme hızı bunu olanaksız kıldı. Kuramlar, yeni bir gözlemi açıklayacak şekilde sürekli değiştirildiklerinden, sıradan insanların anlayabileceği şekilde basitleştirilip, sindirilemiyor asla. Mutlaka bir uzman olmanız gerekiyor, bu durumda bile sadece bilimsel kuramların küçük bir bölümünü gerektiği gibi kavrayabilmeyi umabilirsiniz. Dahası, gelişme o kadar hızlı ki, okulda ya da üniversitede öğrendiğiniz şeyler hep biraz eski kalıyor. Bilginin hızla ilerleyen ön saflarına ayak uydurabilen çok az insan var ve onlar da bütün zamanlarını adayıp, küçük bir alanda uzmanlaşıyorlar. İnsanların geri kalanı yapılan ilerlemelerden ve bunların yarattığı heyecandan pek haberdar değil. Öte yandan, Eddington'a göre, yetmiş yıl önce genel görelilik kuramından anlayan sadece iki kişi vardı. Oysa bugün, on binlerce üniversite mezunu bu kuramı anlıyor ve milyonlarca insan en azından kurama aşina. Eğer tam ve birleşik kuram bulunursa, kuramın aynı şekilde sindirilip sadeleştirilmesi, okullarda en azından ana hatlarının öğretilmesi sadece bir zaman sorunu olacaktır. Böylece hepimiz, evreni yöneten ve varlığımızdan sorumlu olan yasaları bir ölçüde anlayabileceğiz.

Tam ve birleşik kuramı bulsak bile bu, iki neden yüzünden genelde kestirimde bulunabileceğimiz anlamına gelmeyecektir. İlk neden, kuantum mekaniğinin belirsizlik ilkesinin kestirimde bulunma gücümüze getireceği sınırdır. Ancak uygulamada, bu ilk sınır, ikincisinden daha kısıtlayıcıdır. Bu kısıtlama, böyle bir kuramın denklemlerini, çok basit durumlar dışında çözebilmemizin hemen hiç mümkün olamayacağı gerçeğinden kaynaklanır. Daha önce de söylediğimiz gibi, bir çekirdek ve birden fazla elektron içeren atomun kuantum denklemini kimse çözemez. Üç cismin hareketini, Newton'un kütleçekimi kuramı gibi basit bir kurama göre bile çözemiyoruz; cisimlerin sayısı ve kuramın karmaşıklığı yüzünden zorluk daha da artıyor. Tahmini çözümler uygulamalar için genellikle yeterli, ama bunlar, "her şeyin birleştirilmiş kuramı" kavramının yarattığı beklentileri karşılamaktan çok uzak.

Bugün, maddenin davranışını yöneten bütün yasaları, en uç koşullar dışında, zaten biliyoruz. Özellikle de, bütün kimya ve biyolojinin temelinde yatan esas yasaları biliyoruz. Ancak bu konulan, çözülmüş sorunlar konumuna kesinlikle indiremedik. Ve hâlâ, insan davranışı üzerine matematiksel denklemlere göre kestirimde bulunmakta küçük bir başarıya bile ulaşamadık! Yani, temel yasaların tam bir sistemini

bulsak bile bu, öntümüzde, karmaşık ve gerçekçi durumların olası sonuçlarını işe yarayacak şekilde kestirebilmemizi sağlayacak daha iyi yaklaşım yöntemlerini geliştirmek gibi, zihinsel olarak çok zorlayıcı ve yıllarımızı alacak bir görev olacak. Tam, tutarlı ve birleşik bir kuram sadece ilk adım olacaktır; bizim amacımız çevremizde olanları ve kendi varlığımızı bütünüyle anlayabilmektir.

Sonuç

Şaşırtıcı bir dünyadayız. Çevremizde gördüklerimizden bir anlam çıkarmaya çalışıyoruz ve soruyoruz: Evrenin doğası nedir? Onun içindeki yerimiz ne, o ve biz nereden geldik? Evren neden böyle?

Bu sorulara yanıt verme çabasıyla, Dünya'nın bazı betimlemelerini benimsiyoruz. Tepsi gibi düz olan Dünya'yı üzerinde taşıyan sonsuz kaplumbağalar kulesinin böyle bir betimleme olması gibi, süper sicim kuramı da böyle bir betimlemedir, ikinci betimleme, ilkinde göre çok daha matematiksel ve kesin olmasına karşın, her ikisi de evrene ilişkin kuramlardır. Her iki kuramın da gözlemsel kanıtları yoktur; Dünya'yı sırtında taşıyan dev bir kaplumbağa görülmediği gibi, bir süper sicimi gören de olmamıştır. Ancak, kaplumbağa kuramı, insanların Dünya'nın kenarından düşebilecekleri kestirimi yüzünden iyi bir bilim kuramı değildir. Bu kuram, elbette Bermuda Üçgeni'nde kaybolduğu varsayılan insanları açıklamak için öne sürülmemişse de deneylerin sonuçlarıyla uyuşmaz!

Evreni tanımlamaya ve açıklamaya yönelik ilk kuramsal girişimler, doğal fenomenlerin, tıpkı insan gibi ve önceden kestirilemeyecek şekilde davranan, insan duygularına sahip ruhlar tarafından yönetildiği düşüncesini içeriyordu. Bu ruhlar, nehirler, dağlar, Güneş ve Ay gibi göksel cisimlerde yaşıyorlardı. Toprağın verimliliğini, mevsimlerin döngüsünü garantilemek için kurbanlar ve adaklarla memnun edilmeleri gerekiyordu. Ancak yavaş yavaş, belli düzenlerin varlığı fark edilmiş olmalı: Güneş Tanrısı'na kurban verilisin ya da verilmesin, Güneş hep doğudan doğuyor, batıdan batıyordu. Dahası, Güneş, Ay ve gezegenler gökyüzünde, önceden epey doğru bir şekilde kestirilebilecek yollar izliyorlardı. Güneş ve Ay hâlâ tanrı olabiliirdi, ama onlar istisnasız bütün katı yasalara uyuyorlardı; tabii Güneş'in Yehova için durduğunu anlatan öyküleri saymazsak.

Bu yasalar ve düzenler ilk önce astronomide ve birkaç farklı durumda aşıkardı. Yalnız uygarlık geliştikçe, özellikle son üç yüz yılda, gittikçe daha çok yasa ve düzen keşfedildi. Bu yasaların başarısı, XIX. yüzyılın başında Laplace'ı bilimsel belirlenimciliği öne sürmeye yönlendirdi; yani, evrenin belli bir andaki durumu biliniyorsa, onun evrimini kesin



Kaplumbağalardan eğri uzaya.
Evrenin eski ve çağdaş görünümü.

olarak belirleyen bir yasalar sistemi olmalıydı.

Laplace'ın belirlenimciliği iki açıdan eksikti: yasaların nasıl seçilmesi gerektiğini söylemiyordu ve evrenin ilksel durumunu belirtmiyordu. Bunlar Tanrı'ya bırakılmıştı. Evrenin nasıl başladığını ve hangi yasalara uyacağını Tanrı seçmişti, ama evren bir kez başladıktan sonra bir daha ona karışmayacaktı. Sonuçta Tanrı, XIX. yüzyıl biliminin anlamadığı alanlara sınırlanmıştı.

Laplace'ın belirlenimcilik umutlarının gerçekleşmeyeceğini, en azından aklından geçirdiği biçimiyle, artık biliyoruz. Kuantum mekanizmasının belirsizlik ilkesi, bir parçacığın konumu ve hızı gibi belli nicelik çiftlerinin, kesin bir doğrulukla tahmin edilemeyeceğini söyler. Kuantum mekanizması bu durumun üstesinden, parçacıkların konumlarının ve hızlarının kesin olarak tanımlanmadığı, ama bir dalgalayla gösterildiği, bir dizi kuantum kuramı aracılığıyla gelir. Bu kuantum kuramları, dalganın zaman içinde evrimine ait yasaları belirlediği için belirlenimcidir. Yani, belli bir andaki dalgayı biliyorsak, bir başka zamanda da hesaplayabiliriz. Kestirelemeyen, gelişigüzel unsur ancak, dalgayı konumu ve hızına göre yorumlamaya çalıştığımızda ortaya çıkar. Belki de bizim yanlışımız bu; belki de parçacık konumu ve hızı diye bir şey yok, sadece dalgalar var. Dalgayı eski konum ve hız düşüncemiz için yerleştirmeye çalışıyor olabiliriz. Sonuçta ortaya çıkan uyumsuzluk, görünürdeki kestirilemezliğin nedeni olabilir.

Aslında bilimin görevini, belirsizlik ilkesinin koyduğu sınırlar içinde, olayları önceden kestirebilmemizi sağlayacak yasaları keşfetmek olarak yeniden belirledik. Yine de bir soru öylece duruyor: Evrenin ilksel durumu ve yasalar nasıl ya da niçin seçildi?

Bu kitap, küttelekimini kuvvetini yöneten yasalara özel bir önem veriyor.

yor, çünkü küttelekimini kuvveti, dört kuvvet kategorisi içinde en zayıfı olsa da, evrenin büyük ölçekli yapısını biçimlendiriyor. Küttelekimini yasaları, daha yakın dönemlere kadar doğru kabul edilen, evrenin zaman içinde değişmediği görüşüyle uyumuyor; küttelekimini kuvvetinin her zaman çekici olduğu gerçeği, evrenin ya genişlediğini ya da eğildiğini dolaylı olarak gösteriyor. Genel görelilik kuramına göre geçmişte, zamanın gerçekten başladığı, büyük patlama denilen sonsuz yoğunluk durumunun olması gerekir. Aynı şekilde, eğer bütün evren çökerse, gelecekte, zamanın sona erdiği, büyük çöküş diyebileceğimiz bir başka sonsuz yoğunluk durumunun da olması zorunlu. Bütün evren çökme bile, kara delikleri oluşturmak üzere çöken herhangi bir bölgede tekillikler ortaya çıkacaktır. Bu tekillikler, kara deliğe düşen biri için zamanın sonu olacaktır. Büyük patlama ve diğer tekilliklerde bütün yasalar yıkılacağından, neler olacağını ve evrenin nasıl başlayacağını seçme konusunda Tanrı hâlâ özgür olacaktır.

Kuantum mekanizmasını genel görelilik kuramıyla birleştirdiğimizde, daha önce ortaya çıkmayan yeni bir olasılık görülmeye başlar; uzay ve zaman birlikte sonlu, dörtboyutlu, tekillikleri ve sınırları olmayan, tıpkı Dünya'nın yüzeyi gibi, ama daha fazla boyutlu, bir uzay oluşturabilir. Bu düşünce, evrenin büyük ölçekli aynılığı, daha küçük ölçekteki galaksiler, yıldızlar hatta insanlar gibi türdeşlikten sapmaları, gözlemlenebilir özelliklerini açıklayabilir görünür. Ancak evren tümüyle kendine yeterliyse, hiçbir tekillik ya da sınır barındırmıyorsa ve birleştirilmiş kuramla tam olarak açıklanabiliyorsa, bu durum Tanrı'nın yaratıcılık rolünü temelden etkileyecektir.

Einstein bir defasında, "Evreni yaratırken Tanrı'nın seçme özgürlüğü ne kadardı?" diye sordu. Eğer sınırsızlık önerisi doğruysa, Tanrı'nın ilksel koşulları seçme özgürlüğü hiç olmamıştır. Elbette evrenin uyaca-ığı yasaları seçme özgürlüğüne sahipti. Yine de bu, gerçekten bir seçim olmayabilir; kendine yeten, evrenin yasalarını araştırın ve Tanrı'nın doğasını sorgulayan insan gibi karmaşık yapıların var olmasına izin veren belki bir, belki de az sayıda tam ve birleşik kuram, sicim kuramı gibi, vardır.

Sadece bir tek birleşik kuramın varlığı mümkün olsa bile, bu kuram, denklemler ve kurallar sisteminden başka bir şey olmayacaktır. Bu denklemlere yaşam ateşini üfleyen ve onlara tanımlayabilecekleri bir evren yaratan şey nedirdi? Bilimin matematiksel modeller oluşturarak alışılmış yaklaşımı, neden bir modelin açıklaması gereken bir evren olduğu sorusunu yanıtlamaz. Evren niçin var olmanın bütün sıkıntılarını yaşıyor? Birleşik kuram çok zorlayıcı olduğu için mi kendi varlığını nedeni oluyor? Ya da bir yaratıcıya mı ihtiyacı var? Öyleyse, yaratıcının evren üzerinde başka bir etkisi var mı? Ya O'nu kim yarattı?

Şimdiye kadar çoğu bilimsel, evrenin ne olduğunu açıklayan yeni ku-

ramlarla, niçin sorusunu soramayacak kadar fazla meşgul oldular. Öte yandan, işi niçin sorusunu sormak olan filozoflar, bilimsel kuramların gelişmesine ayak uydurmayı başaramadılar. XVIII. yüzyılda filozoflar, bilim de dahil olmak üzere insana ait bütün bilginin kendi alanları olduğunu düşündüler ve evrenin bir başlangıcı var mı yok mu, tartıştılar. Ancak XIX. ve XX. yüzyıllarda bilim, filozoflar ya da birkaç uzman dışında herkes için çok teknik ve matematiksel hale geldi. Filozoflar araştırma alanlarını o kadar daralttılar ki, XX. yüzyılın en ünlü filozofu Wittgenstein, "Felsefenin geriye kalan tek görevi, dillerin analizini yapmaktır" dedi. Aristoteles'ten Kant'a uzanan büyük felsefe geleneğinin büyük düşüşü!

Eğer tam bir kuram keşfedersek, genel ilke olarak yalnızca birkaç bilimci tarafından değil, herkes tarafından zamanla anlaşılır olmalı. Böylece hepimiz, filozoflar, bilimciler ve sıradan insanlar, evrenin ve bizim niçin var olduğumuz sorusunun tartışmalarına katılabiliriz. Eğer bir yanıt bulabilirsek bu, insan aklının en büyük zaferi olacak; çünkü o zaman Tanrı'nın neler düşündüğünü bileceğiz.

Albert Einstein

Einstein'ın nükleer bombaya ilişkin politikalarla bağlantısı iyi bilinir: Başkan Franklin Roosevelt'e yazılan ve Birleşik Devletler'i bu düşünceyi ciddiye alma konusunda ikna eden o ünlü mektubu imzalamış ve savaş sonrasında, nükleer savaş önleme çabalarına katılmıştı. Ancak bunlar, politika dünyasına sürüklenmiş bir bilimcinin tek başına sürdürdüğü eylemler değildi. Aslında Einstein'ın yaşamı, kendi sözleriyle, "Politika ve denklemler arasında bölünmüş"tü.

Einstein'ın ilk politik eylemleri Berlin'de profesörken, Birinci Dünya Savaşı sırasında başladı. İnsan yaşamının boşa harcadığını görmekten duyduğu tiksintiyle, savaş karşıtı gösterilere katılır. Sivil itaatsizliği savunması ve halkı askere alınmaya karşı çıkmak üzere cesaretlendirmesi, meslektaşları tarafından pek hoş karşılanmaz. Savaştan sonra çabalarını, uluslararası ilişkilerin geliştirilmesine ve uzlaşmaya yöneltti. Bu da hakkındaki hoşnutsuzluğu daha da artırdı; politikaları yüzünden, konferans vermek için bile Amerika'ya gidemez oldu.

Einstein'ın ikinci büyük hedefi Siyonizm'di. Yahudi bir aileden gelmesine rağmen, Tevrat'taki Tanrı düşüncesini reddediyordu. Ancak, Birinci Dünya Savaşı öncesinde ve sırasında gittikçe artan Yahudi karşıtlığını fark edisi onun yavaş yavaş Yahudi toplumuyla özdeşleşmesine ve daha sonra da Siyonizm'in sözünü sakınmayan destekçilerinden biri olmasına neden oldu. Bir kez daha sevilmeyen insan olmak, düşüncülerini söylemesini engellemedi. Kuramları saldırıya uğradı; hatta bir Einstein karşıtı örgüt bile kuruldu. Bir adam, Einstein'ı öldürmeleri için kıskırtıcılık yapmaktan hüküm giydi (ve sadece altı dolar ceza ödedi). Ancak Einstein soğukkanlıydı. *100 Authors Against Einstein* adlı kitap yayımlandığında sert bir yanıt vererek, "Eğer haksız olsaydım bir tanesi bile yeterdi!" dedi.

1933'te Hitler iktidara geldi. Einstein o sırada Amerika'daydı ve Almanya'ya geri dönmeyeceğini bildirdi. Bunun üzerine Naziler evini basıp, banka hesaplarına el koyarken, bir Berlin gazetesi, "Einstein'dan iyi Haber - Geri Gelmiyor" başlığıyla yayımlanıyordu. Nazi tehlikesi karşısında Einstein uzlaşmacı tavırını terk etti ve sonunda, Alman bi-

limcilerin nükleer bomba yapmasından korkarak, Birleşik Devletlerin de kendi bombasını yapmasını önerdi. Ancak, daha ilk atom bombası patlatılmadan önce, nükleer savaşın tehlikeleri konusunda açık uyarılar yapıyor, nükleer silahların uluslararası denetimini öneriyordu.

Einstein'ın yaşamı boyunca sürdürdüğü barış yanlısı çabalar pek başarılı olmadı ve ona kesinlikle arkadaş kazandırmadı. Ancak Siyonizm'i çekimden savunması nedeniyle ona 1952'de İsrail başkanlığı teklif edildiğinde hak ettiği ölçüde tanıdı. Politika için çok toy olduğunu söyleyerek teklifi geri çevirdi. Belki de gerçek nedeni başkaydı; yine ondan alıntı yapalım: "Denklemler benim için daha önemli, çünkü politika bugün, bir denklem ise sonsuzluk içindir."

Galileo Galilei

Çağdaş bilimin doğuşundan Galileo kadar sorumlu olan bir başkası yoktur belki de. Felsefesinin merkezinde Katolik Kilisesi'yle yaşadığı o ünlü çatışma yatıyor; çünkü Galileo, Dünya'nın işleyişini anlamayı umabileceğimizi, dahası bunu Dünya'yı gözlemleyerek yapabileceğimizi savunan ilk insandı. Galileo, Kopernik'in kuramına (yani gezegenlerin Güneş'in etrafında döndüğüne) başından beri inanmıştı, ancak bu görüşü doğrulayan kanıtları bulduktan sonra açıkça desteklemeye başladı. Kopernik'in kuramı hakkında İtalyanca yazdı (genelde kullanılan akademik dil Latince yazmadı) ve çok geçmeden görüşleri üniversite dışındaki çevrelerde yaygın olarak benimsendi. Bu duruma kızan Aristotelesçi profesörler, Katolik Kilisesi'ni Kopernik'in düşüncelerini yasaklamaya ikna etmek üzere, Galileo'ya karşı birleştiler.

Kaygılanan Galileo, Kilise yetkilileriyle görüşmek üzere Roma'ya gitti. İncil'in bilimsel kuramlar hakkında bir şeyler söylemeyi amaçlamadığını, İncil'in sağduyuyla çatıştığı yerde simgesel olarak kabul edilebileceğini savundu.

Ancak, Protestanlığa karşı verdiği savaşa zarar verebilecek bir skandaldan korkan Kilise, baskıyla önlem almaya çalıştı. 1616 yılında Kopernik'in düşüncelerini "yanlış ve günah" ilan ederek, Galileo'ya bu düşünceleri asla "savunmamayı veya desteklememeyi" emretti. Galileo bu emre boyun eğdi.

1623'te, Galileo'nun eski bir arkadaşı papa oldu. Galileo hemen, 1616'daki buyruğun iptal edilmesi için girişimde bulundu. Başaramadı, ama Aristoteles ve Kopernik'in görüşlerini karşılaştıran bir kitap yazma izni aldı, iki koşul vardı: taraf tutmayacaktı ve insanın hiçbir durumda Dünya'nın işleyişini belirleyemeyeceği sonucuna ulaşacaktı; çünkü Tanrı aynı şeyleri, onun her şeye yeten gücüne sınırlama getiremeyecek olan insanın asla hayal edemeyeceği yollardan yaratabilirdi.

Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, ptolemaico e copernicano kitabı 1632'de tamamlandı ve sansürçülerin onayıyla basılır basılmaz, bütün Avrupa'da edebi ve felsefi bir başyapıt olarak karşılandı. Çok geçmeden papa, halkın kitabı Kopernik'ten yana inandırıcı bir

savunma olarak gördüğünü fark etti ve basılmasına izin verdiği için pişman oldu. Sansüröcülerin resmi onayından geçmiş olmasına rağmen, papa Galileo'nun 1616 buyruğuna karşı geldiğini savundu. Engizisyon'un önüne çıkardan Galileo, ömür boyu ev hapsine ve Kopernik'in düşüncelerini halkın önünde reddetmeye mahkûm edildi. Galileo ikinci kez boyun eğdi.

Galileo imanlı bir Katolik olarak kaldı, ama bilimin bağımsızlığına olan inancı kırılmadı. 1642'deki ölümünden dört yıl önce, hâlâ ev hapsindeyken, ikinci büyük kitabının elyazmaları kaçırılarak, Hollandalı bir yayıncıya götürüldü. İşte bu, *Discorsi e dimostrazioni mathematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica* isimli kitap, Kopernik'i desteklemenin ötesinde çağdaş bilimin başlangıcı oldu.

Isaac Newton

Isaac Newton can sıkıcı bir adamdı. Diğer akademisyenlerle ilişkileri berbatı ve hayatının son yıllarını şiddetli tartışmalarla geçirmişti. *Principia mathematica*'nın yayımlanmasından sonra -kuşkusuz fizikte yazılmış en etkileyici kitaptır- Newton birden herkesçe tanındı. Royal Society'nin başkanı ve şövalye ilan edilen ilk bilimci oldu.

Çok geçmeden Newton, önceleri *Principia* için çok gerekli verileri sağlayan, ama artık istediği bilgileri vermeyen Kraliyet Astronomu John Flamsteed'le çatıştı. Newton hayır yanıtını asla kabul etmezdi: kendisini Kraliyet Gözlemevi'nin yönetici kadrosuna aldırttı ve gerekli verilerin hemen basılması için dayattı. En sonunda, Flamsteed'in can düşmanı Edmond Halley'in çalışmalarına el koymasını ve basıma hazırlamasını sağladı. Ancak Flamsteed mahkemeye başvurdu ve çalınmış çalışmaların dağıtımını engelleyecek kararı tam zamanında çıkarttırdı. Newton çok öfkeleni ve öcünü *Principia*'nin sonraki basımlarından Flamsteed'e ait referansları sistemli olarak çıkartarak aldı.

Alman filozof Gottfried Leibniz'le aralarında çok daha ciddi bir çatışma vardı. Leibniz ve Newton, modern fiziğin temeli sayılabilecek diferansiyel ve integral hesabını birbirlerinden habersiz geliştirmişlerdi. Newton'un diferansiyel ve integral hesabını Leibniz'den bir yıl önce bulduğu biliniyordu, ama kitabını çok daha sonra yayımladı. İki tarafı da savunan bilimcilerle birlikte, kimin ilk olduğu konusunda büyük bir kavga çıktı. Newton'u savunan yazıların çoğunu kendisi yazıp, arkadaşlarının adıyla yayımlatması dikkat çekicidir. Kavga büyüyünce Leibniz bir hata yaparak, sorunu çözmeleri için Royal Society'ye başvurdu. Başkan olan Newton "tarafsız" bir araştırma komitesi atadı, ama rastlantı bu ya, komitede sadece kendi arkadaşları vardı. Ancak hepsi bu kadar da değil; Newton daha sonra komitenin raporunu kendi yazdı ve Royal Society'ye yayımlattı. Leibniz'i resmen eser hırsızlığıyla suçluyordu. Hâlâ tatmin olmadığı için, rapor hakkında isimsiz bir yazı yazarak cemiyetin yayın organında yayımladı. Leibniz'in ölümünden sonra Newton'un, "Leibniz'in kalbini kırmaktan büyük bir zevk aldığı"nı açıkladığı söylenir.

Bu iki çatışma sırasında Newton Cambridge'ten ve Fransız Bilimler Akademisi'nden zaten ayrılmıştı. Cambridge'te ve sonradan da parlamentoda Katoliklik karşıtı harekete etkin olarak katıldı ve sonunda bunun karşılığını Kraliyet Darphanesi'ne müdür olarak atanmakla almış oldu. Sinsiliğini ve iğneleyici yazı yazma yeteneğini burada daha kabul edilebilir bir şekilde kullandı; sahte para basımına karşı büyük bir mücadele başlattı ve hatta birkaç adamı darağacına yolladı.

Sözlük

A

Ağırlık: Bir kütle çekim alanının bir kütleye uyguladığı kuvvet. Kütlesiyle doğru orantılıdır, ama aynı değildir.

Alan: Bir anda sadece bir noktada var olan parçacığın tersine, uzay ve zaman boyunca var olan her şey.

Antropik ilke: Evreni olduğu gibi gördüğümüzü ileri süren düşünce, çünkü evren farklı olsaydı, onu gözlemleyen bizler de olmazdık.

Atom: Sıradan maddenin temel birimi, küçük bir çekirdek (proton ve nötronlardan oluşan) ve onun etrafında dönen elektronlardan oluşur.

B

Belirsizlik ilkesi: Bir parçacığın konumu ve hızı hakkında tam olarak emin olamayacağımızı söyleyen, Heisenberg tarafından formüle edilmiş ilke; bir parçacığın konumu ya da hızı kesinlikle bilindiği ölçüde, diğeri bilinmez.

Büyük birleşik kuram: Elektromanyetik, zayıf ve büyük kuvvetleri birleştiren kuram.

Büyük çöküş: Evrenin sonundaki tekilik.

Büyük kuvvet: Dört temel kuvvetin en güçlüsü ve en kısa erimlisi. Atom çekirdeğini meydana getirmek üzere protonları, nötronları ve içlerindeki kuvarları bir arada tutar.

Büyük patlama: Evrenin başlangıcındaki tekilik.

Ç

Çekirdek: Bir atomun, büyük kuvvet tarafından bir arada tutulan proton ve nötronlardan oluşan merkezi.

D

Dalgaboyu: Ardışık iki dalga tepesi ya da çukuru arasındaki uzaklık.

Dalga-parçacık ikiliği: Kuantum mekaniğinde dalga ve parçacık arasında bir ayrım olmaması kavramı; bazen parçacıklar dalgalar gibi, bazen de dalgalar parçacıklar gibi davranabilir.

E

Edimsiz parçacık: Kuantum mekaniğinde, asla doğrudan fark edilemeyen, ama varlığının ölçülebilir etkileri olan parçacık.

Einstein-Rosen köprüsü: Uzay-zamanda iki kara deliği bağlayan ince bir boru ya da tüp.

Elektrik yükü: Bir parçacığın aynı (ya da karşı) yükte parçacıkları itme (ya da çekme) özelliği.

Elektromanyetik kuvvet: Elektrikle yüklü parçacıklar arasında ortaya çıkan kuvvet; dört temel kuvvetin en güçlü ikincisi.

Elektron: Bir atom çekirdeğinin etrafında dönen, negatif elektrik yüklü parçacık.
Evre: Bir dalganın belli bir anda, çevrimdeki konumu; dalganın çukurda, tepede ya da arada bir noktada bulunma ölçüsü.

F

Foton: Işığın kuantumu.

Frekans: Bir dalganın bir saniyedeki tam devrinin sayısı.

G

Gama ışın: Çok kısa dalgaboyunun elektromanyetik ışını; radyoaktif bozun-ma ya da temel parçacıkların çarpışmasıyla ortaya çıkar.

Genel görelilik: Nasıl hareket ediyor olurlarsa olsunlar, bütün gözlemciler için bilim yasalarının aynı olması gerektiği düşüncesine dayanan Einstein'ın kuramı. Kütleçekimi kuvvetini dörtboyutlu uzay-zamanın eğrilmesiyle açıklar.

I

Işık saniyesi (ışık yılı): Işığın bir saniyede (yıldı) kat ettiği mesafe.

İ

İkilik: Görünürde farklı iki kuram arasındaki, aynı fiziksel sonuçlara götüren benzerlik.

ivme: Bir nesnenin hızındaki değişimin oranı.

J

Jeodezik: İki nokta arasındaki en kısa (veya en uzun) yol.

K

Kara delik: Kütleçekimi çok güçlü olduğu için hiçbir şeyin, ışığın bile kaçmadığı bir uzay-zaman bölgesi.

Karanlık madde: Galaksilerde, kümelere ve muhtemelen kümeler arasında bulunan, doğrudan gözlemlenemeyen ama kütleçekimi etkisiyle fark edilen madde. Evrendeki maddenin yüzde 90'ı karanlık madde biçiminde olabilir.

Karşı parçacık: Her madde parçacığına denk gelen bir karşı parçacık vardır. Bir parçacık karşı parçacığıyla çarpışır, ikisi de yok olur, geriye sadece enerji kalır.

Kızıl kayma: Bizen uzaklaşan bir yıldızın ışığının, Doppler etkisiyle kızıllaşması.

Koordinat: Uzay ve zamanda bir noktanın konumunu belirten sayılar.

Kozmoloji: Evrenin bir bütün olarak incelenmesi.

Kozmolojik sabit: Uzay-zamana yerleşik bir genişleme eğilimi vermek için Einstein tarafından kullanılan matematiksel yöntem.

Kuvantum mekaniği: Planck'ın kuvantum ilkesinden ve Heisenberg'in belirsizlik ilkesinden geliştirilen kuram.

Kuvark: Büyük kuvvetten etkilenen, elektrik yüklü parçacık. Proton ve nötronların her biri üç kuvark taşır.

Kütle: Bir kitledeki madde miktarı; kitlenin eylemsizliği ya da ivmeye direnci.

M

Manyetik alan: Manyetik kuvvetlerden sorumlu alan; elektrik alanı ile elektromanyetik alanı kapsayan alan.

Mikrodalga fon ışıması: Sıcak ilk evrenin ışıltısından kaynaklanan ışıma; artık o kadar çok kızıl kaymıştır ki, ışık olarak değil, mikrodalga (dalga boyları birkaç santimetre olan radyo dalgaları) olarak belirir.

Mutlak sıfır: Maddenin hiç ısı enerjisi içermediği, olası en düşük sıcaklık.

N

Nötrino: Yalnızca zayıf kuvvetten ve kütleçekiminden etkilenen çok hafif parçacık. **Nötron:** Bir atomun çekirdeğindeki parçacıkların yaklaşık yarısını oluşturan, protona çok benzeyen, ama elektrik yükü olmayan parçacık.

Nötron yıldızı: Bazen supernova patlamasından sonra geride kalan soğuk yıldız; yıldızın merkezindeki esas madde çokerek yoğun bir nötron kütlesine dönüşür.

Nükleer kaynama: İki atom çekirdeğinin çarpışıp, daha ağır tek bir çekirdek oluşturması.

O

Olay: Uzay-zamanda zamanı ve konumuyla belirlenen nokta.

Olay ufku: Bir kara deliğin sınırı.

Orantılı: "X, Y'yle orantılıdır" demek, Y herhangi bir sayıyla çarpıldığında, X de çarpılabilir demektir. "X, Y'yle ters orantılıdır" demek, Y herhangi bir sayıyla çarpıldığında, X bu sayıyla bölünebilir demektir.

Ö

Özel görelilik: Einstein'ın kütleçekimi fenomeninin yokluğunda, nasıl hareket ederlerse etsinler, her gözlemci için bilim yasalarının aynı olacağı düşüncesine dayanan kuramı.

P

Parçacık hızlandırıcı: Hareket eden elektrik yüklü parçacıkları, elektromagnetik alanlar kullanılarak hızlandırır ve daha çok enerji veren makine.

Planck'ın kuvantum ilkesi: Işığın (ya da herhangi bir klasik dalganın) yalnızca enerjisinin frekansıya doğru orantılı ve dalga boyuyla ters orantılı taneçikler halinde yayılabileceği ya da soğurulabileceği düşüncesi.

Pozitron: Elektronun pozitif yüklü karşı parçacığı.

Proton: Çoğu atomun çekirdeğindeki parçacıkların yaklaşık yansını oluşturan, nötrona çok benzeyen, ama pozitif yüklü olan parçacık.

R

Radar: Nesnelerin konumunu radyo dalgaları darbeleri kullanarak bulan aygıt; nesneye ulaşan ve geri yansıyan tek darbenin zamanını ölçerek nesnenin yerini sapta.

Radyoaktivite: Bir tür atom çekirdeğinin başka bir çekirdek oluşturmak üzere kendiliğinden parçalanması.

S

Sınırsızlık koşulu: Evrenin sonlu olduğu, ama bir sının olmadığı düşüncesi. Sicim kuramı: Parçacıkların, sicimler üzerindeki dalgalar olarak tanımlandığı fizik kuramı. Sicimlerin uzunluklarından başka boyutu yoktur. Solucan deliği: Evrenin uzak bölgelerini birbirine bağlayan ince bir uzay-zaman tüneli. Solucan delikleri ayrıca paralel ya da bebek evrenleri birbirine bağlayabilir ve zaman yolculuğunu mümkün kılabilir.

T

Tayf: Bir dalgayı oluşturan frekanslar. Güneş'in görülebilen tayfı gökkuşağıdır. Tekillik: Uzay-zamanın eğriliklerinin (veya başka bir fiziksel niceliğin) sonsuz olduğu, uzay-zamandaki bir nokta. Temel parçacık: Bölünemeyeceği varsayılan parçacık.

U

Uzay boyutu: Üç boyutun her biri, yani zaman boyutu dışında kalan boyutlar. Uzay-zaman: Noktaları olaylar olan dörtboyutlu uzay.

Z

Zayıf elektrikli birleşim enerjisi: Yaklaşık 100GeV'luk enerji; daha üstüne çıktığında elektromanyetik kuvvet ile zayıf kuvvet arasındaki fark ortadan kalkar.

Zayıf kuvvet: Dört kuvvetin, kütleçekiminden sonra, ikinci en zayıf, çok kısa erimli kuvveti. Bütün madde parçacıklarını etkiler, ama kuvvet taşıyıcı parçacıkları etkilemez.

Dizin

A

Akrep-Erboğa birliği 68
Alpha centauri 12
Alpher, Ralph 61
Antropik ilke 103, 104, 105, 121
Aristoteles 13, 14, 16, 18, 22, 24,
25, 26, 46, 59, 114, 117
Atom 20, 80, 121, 122, 123
Aziz Augustinus 107

B

Belirsizlik ilkesi 72, 73, 74, 75, 81,
85, 89, 94, 95, 97, 98, 99, 107,
108, 112, 121, 122
Bell Telefon Laboratuvarları 52
Berilyum 61
Berkeley, George 26
Bethe, Hans 61
Bilimsel belirlenimcilik 71
Birleşik kuram 20, 21, 94, 96, 97,
107, 108, 113, 121
Bohr, Niels 80
Born, Max 95
Büyük birleşik kuram 97, 121
Büyük çember 37
Büyük çöküş 113, 121
Büyük patlama 58, 59, 60, 61, 62,

Case Western Reserve
Üniversitesi 31
Cavendish, Henry 28
CERN (Avrupa Nükleer
Araştırma Merkezi) 84
COBE (Cosmic Background
Explorer Satellite) 9

Coulomb, Charles-Augustin de 28

Çekirdek 62, 78, 81, 96, 97, 104,
108, 121, 123
Çift yank deneyi 76
Çoklu geçmiş 80, 82, 89, 90, 92

D

Darwin'in doğal ayıklanma ilkesi
21
Demokritos 59
Dicke, Bob 53
Diferansiyel ve integral hesabı
119
Dirac, Paul
Doppler etkisi 50, 122
Döteryum (ağır hidrojen) 61

E

$E=mc^2$ 34, 99
Ecole Normale Supérieure
Eddington, sir Arthur Stanley 108
Edimsiz parçacık 91, 96, 97, 98,
Einstein, Albert 19, 31, 32, 34, 35,
36, 38, 39, 41, 42, 51, 54, 57, 58,
64, 69, 75, 81, 82, 85, 86, 89, 94,
99, 113, 115, 116, 121, 122, 123
Einstein-Rosen köprüsü 121
Eksiklik kuramı 86
Elektrik 28, 77, 94, 96, 97, 121,
122, 123
Elektrik yükü 94, 96, 121, 123
Elektromanyetik alan 28, 29, 98,
123

Elektromanyetik çekim 62, 96
Elektromanyetik enerji 30, 72
Elektromanyetik ışın 34, 122
Elektron 59, 60, 62, 65, 73, 77, 78,
79, 80, 81, 94, 95, 96, 97, 98, 99,
104, 107, 108, 121, 122, 123

Element 48, 61, 62, 63, 68, 86
Empedokles 18
Esir 30, 31, 32
Eski Yunan 13
Eşitlik ilkesi 41, 42
*Exposition du système du
monde* (Laplace) 64

R

Fermilab 87
Feynman, Richard 9, 81, 89, 90,
91, 92, 98, 101
Flamsteed, John 119
Foton 59, 60, 64, 71, 72, 96, 97, 98,
122

Frekans 48, 49, 66, 71, 72, 73, 122,
123, 124

Friedmann, Alexander 51, 52, 53,
54, 55, 56, 57, 58

G

Galilei, Galileo 117
on <> 117, 100
Gama ışını 29, 61, 65, 122
Gamov, Georges 53, 61
Geleceğe Dönüş 92
Genel görelilik 19, 35, 36, 37, 38,
41, 43, 44, 51, 69, 81, 82, 85, 86,
87, 89, 99, 102, 108, 113, 122

Girişim 78, 79, 80
Glashow, Sheldon 97
Güton 97, 102
Gödel, Kurt 106
Gökyağzı Üzerine (Aristoteles)
13
Görelilik kuramı 19, 30, 32, 34, 35,
36, 41, 43, 51, 65, 69, 82, 84, 85,
86, 87, 89, 102, 113

Göttingen Üniversitesi 95
Green, Mike 102
Guth, Alan 61, 62
Güçlü nükleer kuvvet 97, 99

H
Halley, Edmond 119
Harvard Üniversitesi
Heisenberg, Werner 121, 122
Helyum 61, 62, 63, 86, 94
Herschel, Sir William 45
Hidrojen 59, 61, 62, 63, 68, 69, 78,
81, 86, 94, 97

Hristiyan Kilisesi 15
Hiroşima 34
J
Hubble Uzay Teleskopu 19, 65
Hubble, Edwin 46, 50, 51, 54, 65

I
İrakkilik açısı 45, 46, 47

Işıkgücü 46
Işık saniyesi 122
Işık yılı 12, 45, 67, 68, 86, 87, 122

ikilik 122
ikizler paradoksu 43, 84, 87

Imperial College (Londra) 97

İzotropik orman 52

Jansky, Sir James 71
Jeodezik 36, 38, 122
Johnson, Samuel
Jüpiter 13, 16, 27, 28, 45

K
Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü
102

Kara cisim 47, 48, 71, 72, 82
Kara delik 90, 104, 107, 113, 122
Kara enerji
Kara madde 56
Karbon 63
Karşıt parçacık 59, 60, 89, 90, 91,
93, 98, 99, 122, 123
Kepler, Johannes 16, 17
Kızılma kayma 50, 54, 122
Kızıltesi ismi 29
Kinetik enerji 34
Kirchhoff, Gustav 47
Kordinat 33
Kopernik, Mikolaj 16, 117, 118
Kozmoloji 9, 122
Kozmolojik sabit 122
Kurtulma hızı 63, 64
Kuantum kuramı 69, 71, 73, 74,
75, 76, 77, 81, 82, 83, 90, 92, 93,
94, 95, 97, 98, 99, 112
Kuantum mekaniği 19, 20, 21,
69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 81, 82, 83, 90, 92, 93,
94, 95, 97, 98, 99, 112

Kuvark 122
Kuvvet taşıyıcı parçacık 95, 96,
98, 100, 101, 124
Kütle 18, 23, 34, 36, 41, 73, 121
Kütleçekimi 121
Kütleçekimi kuvveti 23, 67, 122

Laplace Markisi 64, 70

Leibniz, Gottfried 119
Lityum 61, 62
Lorentz, Hendrik 31

M

Makromolekül 69
Manyetik alan 123
Mars 13, 45
Massachusetts Teknoloji
Enstitüsü 61

Maxwell, James Clerk 28, 29, 30,
31, 32, 34, 97
Merkür 39
Michell, John 64
Michelson, Albert 31
Michelson-Morley deneyi 31,
32

Mikrodalga 52, 53, 56, 61, 71, 86,
123
Mikroelektronik 21
Morley, Edward 31
Morötesi ismi 29
Mutlak hareketlilik hali 25, 29,
30
Mutlak sıfır 61, 123
Mutlak uzay 25, 26
Mutlak zaman 26, 31, 32, 43, 65,
84

N

Nötrino 51, 63, 64, 70, 74, 108, 119,
123

Normalleştirme 99

Nötron yıldızı 123
Nükleer bomba 115, 116

Nükleer enerji 21

Nükleer kaynaşma tepkimesi 62,

O

Ockham'ın usturası 74
Oksijen 74
Olay 84, 87
Olay ufkı 123
Oppenheimer, Robert 65

İçindekiler

Teşekkür	7
Önsöz	9
1. Evreni düşünmek	11
2. Geliştirilmiş evren tanımımız	13
3. Bilimsel bir kuramın doğası	18
4. Newton'un evreni	22
5. Görelilik	27
6. Eğrilmiş uzay	36
7. Genişleyen evren	45
8. Büyük patlama, kara delikler ve evrenin evrimi	58
9. Kuantum kütleçekimi	70
10. Solucan delikleri ve zaman yolculuğu	84
11. Doğa güçleri ve fiziğin birleştirilmesi	94
12. Sonuç	111
Albert Einstein	115
Galileo Galilei	117
Isaac Newton	119
Sözlük	121
Dizin	125

STEPHEN HAWKING

ile
Leonard Mlodinow

DK
DOĞAN
KİTAP

ZAMANIN DAHA KISA TARİHİ

"Evren hakkında gerçekten ne biliyoruz? Bunu nasıl biliyoruz? Evren nereden geliyor ve nereye gidiyor? Zamanın Kısa Tarihi'nin özünü oluşturan bu sorular, bu kitabın da odağında.

(...)

Ayrıca, yeni kuramsal ve gözlemsel sonuçları ekleyerek kitabı güncelleme fırsatı bulmuş olduk. Zamanın Daha Kısa Tarihi, fizik kuvvetlerini birleştiren eksiksiz bir kuramın bulunmasıyla ilgili son gelişmeleri de anlatıyor. Özellikle sızım kuramında meydana gelen gelişmeleri ve fizik kuramlarının birliğine işaret eden görüşlerde farklı kuramların benzerliklerini ya da 'ikiliğini' anlatıyor.

(...)

Kırk yıl kadar önce Richard Feynman, 'Halkı keşifler yapılan bir çağda yaşadığımız için şanslıyız. Tıpkı Amerika'nın keşfi gibi bir kereden fazla keşfedilmiz. Çağımız, doğanın temel yasalarının keşfedildiği çağdır' demişti. Bugün, evrenin doğasını anlamaya her zamankinden daha yakınız. Bu kitabı yazma amacımız, bu keşiflerin ve sonuçta ortaya konan yeni gerçeklik tablosunun heyecanını paylaşmaktır."

Stephen Hawking, Cambridge Üniversitesi Lucas kürsüsü profesörüdür; diğer kitapları: Kara Delikler ve Bebek Evrenler, Ceviz Kabuğundaki Evren, Evreni Kucaklayan Karınca.

Leonard Mlodinow, bu kitapta Hawking'le birlikte çalıştı, Caltech'te öğretim görevlisidi. Star Trek: The Next Generation'ı yazdı. Ayrıca Euclid's Window and Feynman's Rainbow adlı kitabın yazarı ve The Kids of Einstein Elementary (Einstein İlkokulu'nun Çocukları) adlı çocuk kitabı dizisinin yardımcı yazarıdır.

10 YTL



ISBN 975-293-499-4

