
Bertrand
Russell
Rölativitenin ABC'si
say

Rölativitenin ABC'si

Bertrand Russell (1872-1970)

İngiliz mantıkçı ve düşünür. Yirminci yüzyılın, barışı ve nükleer silahsızlanmayı savunan öncü filozof ve bilim insanlarından biri olarak kabul edilmiştir. 1893'te Cambridge'teki Trinity College'den matematik diplomasını aldıktan sonra felsefeye yöneldi. Birinci Dünya Savaşı sırasında savaş karşıtlığı yaptığı için hapis yattı ve üniversiteden atıldı. Sovyetler birliğini ziyaret etti, Çin'de bulundu ve 1938-39 yıllarında ABD'nin çeşitli kentlerinde dersler verdi. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonraki on beş yıl boyunca dünya çapındaki ünü ve saygınlığı giderek arttı. 1954'te BBC'de yayınlanan, "İnsanın Sorumluluğu" başlıklı ünlü konuşmasında ABD'nin hidrojen bombası denemelerini lanetledi. 1962'de Küba'daki uluslararası füze krizi sırasında arabuluculuk yaptı. 1965'te, İngiltere'nin ABD'yi destekleyen Vietnam politikasını protesto etmek için İşçi Partisi'nden istifa etti. 1967'de doksan beş yaşındayken, Stockholm'de, Jean-Paul Sartre'ın başkanlığında bir Uluslararası Savaş Suçları Mahkemesi'nin (Russell Mahkemesi) kurulmasına ve ABD'nin Vietnam'da uyguladığı vahşetin araştırılmasına öncülük etti. En Önemli yapıtları arasında sayılabilecek birkaç kitabı şunlardır: *Matematiğin İlkeleri* (*Principles of Mathematicts*, 1903), *Felsefe Sorunları* (*The Problems of Philosophy*, 1911), *Batı Felsefesi Tarihi* (*History of Western Philosophy*, 1945).

Rölativitenin ABC'si

Bertrand Russell

İngilizceden çeviren:
Vahap Erdoğdu

say

Say Yayınları
Bilim Dizisi

Rölativitenin ABC'si / Bertrand Russell
Özgün Adı: The ABC of Relativity

Bu eser ilk kez 1925 yılında Londra'da Allen & Unwin tarafından yayımlanmıştır. Routledge Klasikleri arasında ilk kez 2009 yılında yayımlanmıştır.
© 2009 The Bertrand Russell Peace Foundation Ltd
Giriş © 1997 Peter Clark

Türkçe yayın hakları Akcalı Ajans aracılığı ile © Say Yayınları, 2013.
Bu eserin Türkçe çevirisi, Taylor & Francis Group'un bir alt kuruluşu olan Routledge tarafından yayımlanmış, yayın hakları The Bertrand Russell Peace Foundation Ltd'e ait olan İngilizce metinden, Routledge'in izniyle yapılmıştır. Tüm hakları saklıdır. Yayınevinden yazılı izin alınmaksızın kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopyalanamaz, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

ISBN 978-605-02-0258-8
Sertifika No: 10962

İngilizceden çeviren: Vahap Erdoğdu
Editör: Sinan Köseoğlu
Sayfa düzeni: Tülay Malkoç
Kapak tasarımı: Artemis İren

Baskı: Engin Ofset
Topkapı / İstanbul
Tel: (0212) 612 05 53
Matbaası Sertifika No: 11254

1. Baskı: Onur Yayınları, 1974
2. Baskı: Sarmal Yayıncılık, 1995
3. Baskı: Say Yayınları, 2013

Say Yayınları
Ankara Cad. 22/12 • TR-34110 Sirkeci-İstanbul
Telefon: (0212) 512 21 58 • Faks: (0212) 512 50 80
www.sayyayincilik.com • e-posta: say@sayyayincilik.com
www.facebook.com/sayyayinlari • www.tvitter.com/sayyayinlari

Genel Dağıtım: Say Dağıtım Ltd. Şti.
Ankara Cad. 22/4 • TR-34110 Sirkeci-İstanbul
Telefon: (0212) 528 17 54 • Faks: (0212) 512 50 80
e-posta: dagitim@saykitap.com • online satış: www.saykitap.com

İÇİNDEKİLER

Çevirmenin Notu 7
Önsöz 9
Giriş 11

1 Dokunma ve Görme: Yeryüzü ve Gökyüzü 23
2 Olan Nedir, Ne Gözlenir? 31
3 Işığın Hızı 41
4 Saat ve Ölçüm Cetvelleri 51
5 Uzay-Zaman 61
6 Özel Rölativite Kuramı 69
7 Uzay-Zaman İçinde Aralıklar 83
8 Einstein'ın Gravitasyon Yasası 97
9 Einstein'ın Gravitasyon Yasasının Kanıtları 111
10 Kütle, Momentum, Enerji ve Etki 121
11 Genleşen Evren 133
12 Görenekler ve Doğal Yasalar 143
13 "Kuvvet"in Ortadan Kalkışı 153
14 Madde Nedir? 163
15 Felsefi Sonuçlar 171
Dizin 179

Çevirmenin Notu

Bu kitabın çevirisini kırk yıl önce, Ankara Ulucanlar Cezaevi'nin 9. Koğuş'unda yapmıştım. 12 Mart generaller darbesinden toplam yarım yüzyıllık hapis cezası alınca yaşamı rasyonelleştirmek için elinizde çok az olanak kalıyor. İstediğinizi okuyamaz, istediğinizi yazamazsınız. Hele de yazdığınız için ceza aldıysanız! O koşullarda çeviri iyi bir uğraş alanı olacaktı. Neyi çevirebilirdim? Öncelik verdiğim iki kitap vardı: Engels'in *Doğanın Diyalektiği* ve Lenin'in *Materyalizm ve Ampriyokritisizm* adlı yapıtı.

Bu iki klasiğin modern bilimin ufkunu açan temel yapıtlar olduğunu biliyordum. Bu bağlamda, Nobel almış Yukava, onun asistanı ve parçacık fiziğine önemli katkılar yapan Şoiçi Sakata, ünlü bilim felsefecisi ve fizikçi Mituo Taketani gibi bilim insanlarının öncülüğünde oluşturulan Japon fizik okulunun *diyalektik materyalizm* üzerinde temellendirildiğini de öğrenmiştim. Yirminci yüzyılın en devrimci kuramı, *rölativite kuramı* ve *kuantum mekaniği* bu yaklaşımla irdeleniyordu. Taketani, "Çekirdek fiziğinin tarihi, maddeye ilişkin yeni diyalektik görüşün zaferinin de tarihidir" diyordu.

Ne var ki, bu kitapları değil hapishaneye sokmak, evdeki kitaplıkta bulundurmak bile, yedi buçuk yıl ceza almak için yeterli sayılıyordu.

Bu sevdamdan vazgeçip, başka klasikler peşine düştüm. Russell'ın Whitehead'le birlikte yazdıkları *Principia Mathema-*

tica yapıtını bulamayınca, *ABC of Relativity* ile yetinmek zorunda kaldım.

Kitabın İngilizcesi, kareli bir "Metot Defteri", *Redhouse* sözlüğü, bir de dizimin üstüne koyduğum 40x30 cm boyutunda, kontrplak tahtam vardı. Bir başka başvuru kaynağım yoktu. Bazı kavramlarda ne denli zorlandığımı anımsıyorum.

İmdadıma kadim dostum, Türkiye'nin yetiştirdiği parlak beyinlerden biri, Feza Gürsey'in asistanı, teorik fizikçi, Dr. Mehmet Koca yetişti. Bilimsel çalışmalarını yurtdışında sürdürmek zorunda kalan Prof. Dr. Mehmet Koca'nın ilk çeviriye yapmış olduğu değerli katkıları, burada anmam gerekiyor.

Kitabın yeni basımı gündeme geldiğinde, orijinalinin 1964 baskısından, kırk yıl önce yapılmış olan çevirinin gözden geçirilmesi gerekiyordu. Bu gözden geçirmeler kapsamında, sürdürülen orijinal baskılarda, 2009 basımında yer alan bilimdeki yeni bulgular doğrultusunda, yapılan güncellemeler de çeviriye aktarıldı. Ayrıca, Felix Pirani'nin "Önsöz"ü ile Peter Clark'ın, "Giriş" incelemesi yanında, kitabın sonuna "dizin" de eklenerek, Russell'ın bu klasik yapıtı, günün koşullarına uyarlandı.

Kitabın ilk baskısını okumuş olanlar, bu yeni baskıda önemli sayılabilecek farklılıklar olduğunu göreceklerdir.

Say Yayınları'nca yayımlanan bu üçüncü baskı, "gözden geçirilmiş yeni baskı" olmayı hak ederek, okura sunulmuş oluyor.

Vahap Erdoğdu, 2013

Önsöz

Bu kitap ilk kez 1925'te yayımlandı. O zamandan bu yana rölativitenin temel ilkeleri değişmedi, ama hem kuramı, hem de uygulamaları, büyük boyutlar kazandı, ikinci ve sonraki baskılar için bazı değişiklikler gerekliydi. İkinci ve üçüncü basımlardaki değişiklikleri Bertrand Russell'ın onayıyla yaptım. En temel değişiklik, 1920'lerin sonlarında saptanan, evrenin genişlemesi bulgusunu katmak için, 11. Bölüm'ün yeniden yazılmasıyla oldu.

Russell 1970'te öldü. Elinizdeki bu baskı, tüm sorumluluğu bana ait olan, 1985'te dördüncüsü için yapılan değişiklikleri içeren basımın, değiştirilmemiş yeniden basımıdır. Burada da, yine, günümüz bilgilerine uyarlamak için, bazı bölümlerde değişiklikler yaptım, altmış yıl önce kabul gören, ya da hoş görülen, ama artık terk edilmiş olan, erilin dişili içerdiği yolundaki inanıştan elimden geldiğince kaçındım. Feminizm yandaşlığında zamanın önünde giden Russell'ın bu duyarlılığımı onaylayacağına inandım. Nitelik olarak, fiziksel olmaktan çok, büyük ölçüde felsefi özellik taşıyan son iki bölümün içeriğine burnumu sokmak gibi bir cüreti kendimde görmedim.

Felix Pirani, 2002

Giriş

Yetmiş yıl önce Russell'ın o dönemin önemli bir fizik kuramına matematiksel olmayan bir açıklama getirmiş olması, kuşkusuz çok büyük bir saygıyı hak ediyor. O kurama kusursuz bir kılavuz olma özelliğini hâlâ koruyan, olağanüstü bir yorum ve yazın gücüyle kaleme alınmış bu kusursuz eser, sunumu ve biçemiyle, bugün bilimin halk yığınlarınca anlaşılmasını olanaklı kılmak adına heyecan verici anlatımlarla süslenen kitaplardan, ölçülü ve yalın fikirleriyle net bir biçimde ayrılmaktadır. Russell'ın kitabını okuyanlar, ister cahil ister ehil olsunlar, esprili, duru ve zekice yazılmış metinden keyif alacak, rölativite kuramının özüne nüfuz edecek ve temel fizik ilkelerini anlayabileceklerdir. Matematiksel bir anlatım içermeyen bu kitap, 1925 yılında ilk kez basıldığında ne denli değerli ise, şimdi de o kadar değerlidir.

Russell, otobiyografisinde (*The Autobiography of Bertrand Russell*, Volume II, 1914-1944, Londra: Allen Unwin, 1968, s. 152), *The ABC of Relativity, ABC of Atoms* (London: Kegan Paul, 1923) ve *What I Believe* (London: Kegan Paul, 1925) adlı kitapları para kazanmak için yazdığını belirtir. Bu üç kitabın ikincisi, kuantum fiziğindeki –özellikle de 1925'ten sonra Yeni Kuantum kuramındaki– gelişmelerin gerisinde kalırken, birincisi, rölativite ve gökbilimdeki çok önemli gelişmelere karşın, zamanın sınavından başarıyla geçmiştir.

Russell, Çin'den 1921 Eylülünde döndü ve herhangi bir akademik bağlantısı yoktu. ABC kitaplarının oldukça iyi iş

yaptığını, ama 1926'da yayınladığı eğitim üzerine bir kitap yazana kadar "yoksul sayılabileceğini", o kitabın ardından mali refaha kavuştuğunu belirtiyor. 1920'de başlayan on yıllık dönemde yazım çalışmalarının olağanüstü sonuçları oluğunu belirtmek gerekiyor. Bunlar arasında, mantık ve felsefe konusunda üç önemli katkısı, 1925'te *Principia Mathematica*'nın yeni bir basımı ile *The Analysis of Mind* (Londra: Allen/Unwin, 1921) ve *The Analysis of Matter* (London: Kegan Paul, Trench Trubner/Co., 1927) gibi iki temel yapıt vardır. Son kitabın kimi bölümleri, 1926 yılında Cambridge Trinity Koleji'nde verilen derslerden oluşmuştu. Bu dersler, yeni fiziğin bilgibilimine ayrılmıştı ve rölativite kuramının kusursuz bir mantıksal ve yapısal tahlilini ve soyut ve uygulamalı geometriyle bağlantısını içeriyordu; iki ders de, o zamanın anlayışıyla, kuantum kuramının temellerine ilişkindi. Bütün bunların üstüne de, Çin, mutluluk, evlilik, toplumun geleceği ve bilim gibi değişik konularda kitapları vardı.

Besbelli ki bu dönemde, Russell'ın kafasında, toplumsal konular ve milliyetçiliğin yükselişinde ve Birinci Dünya Savaşı'nda, Avrupa halklarının alkışladığı o şamatalı desteğin cehalet ve eğitim eksikliğinden kaynaklanan, kökleşmiş akıldışılığın üstesinden, bilginin yaygınlaştırılması ve halka indirgenmesiyle gelinebileceği görüşü egemendi. Kuşkusuz, Russell'ın yaşamında, düşüncesiz, kör önyargıların, –Birinci Dünya Savaşı'nın dehşetinin temel nedeninin de bu olduğuna inanıyordu– bilginin yayılması ve eleştirel aklın gücünün, toplumun bütün sınıfları tarafından kullanılmasıyla aşılabileceğine içtenlikle inandığı, destansı bir dönemdi. Onun bu dönemdeki o büyük çabası, bilginin ve öğrenmenin getirdiği düşünce özgürlüğünü ve eylemi, olabildiğince herkesin algı alanına taşımaya yönelikti. Bu aydınlanma ruhu, hiç kuşkusuz, *Rölativitenin ABC'si* kitabını da kucaklamaktadır.

Gene hiç kuşku yok ki, Russell'ın bu kitabı, bir yorumlama başyapıtıdır. Ama bu kitabın, dikkatsiz okuru yanıltabilecek

iki yönü vardır. Birincisi, kitabın Özel Rölativite'nin esas olarak ne olduğunu –kapsamının sınırlarını– ele alması, ikincisi de, Özel Kuram'dan, Genel Kuram'a geçişi incelemesidir. Özel Kuram'ı incelerken Russell, "gözlemci"yi esas alıyor ve klasik Newtoncu anlayış ile Özel Kuram arasındaki farklılığı irdeleyerek, zamandaşlık, uzunluk, zaman ve zamansal dizgenin belirleyici ilişkilerini klasik anlayış temelinde mutlak olarak değerlendirirken, bunların Özel Kuram'da "gözlemci"ye bağlı olarak irdelendiğini gösteriyor.

Russell, olayların zaman sıralamasından söz ederken, "Olayların zaman sıralaması, bir yanıyla gözlemciye bağımlıdır, bu sıralama her zaman ve bütünüyle, olayların kendi aralarındaki gerçek bir ilişki değildir" diyor (s. 51). Bu, Özel Kuram'ın, *gözlemlenen* zamansal aralıklar, *ölçümlenen* uzamsal büyüklükler, *gözlemlenen* zamandaşlık, *gerçek* katı çubuklar ve saatler vb. ile ilgili olduğu izlenimine yol açabilir. Ama bu doğru değildir.

Özel Rölativite, bir uzay-zaman kuramıdır, esas olarak, olaylara ve bunlar arasındaki uzamsal ve zamansal bağıntılara ilişkin –tıpkı Newton kuramı gibi– hareketsel (kinematik) bir kuramdır ve bu haliyle "gözlemci" ile bir ilgisi yoktur. Bunun böyle olduğunu, kuramın gözlemciler ya da onların nitelikleri veya yapılarına ilişkin herhangi bir istemi olmadığı olgusu açıkça ortaya koyuyor. Russell'ın o güzel ifadesiyle, onun konusu, "gözlemlenen" değil, "olanlar"dır. Elbette ki, olanlardan söz ederken, her hareketsel kuram gibi (örneğin yerini aldığı Galileo'nunki gibi) bu kuram da, deneysel yapıların açıklamalarıyla birlikte ele alındığında, olanlar ve bunların uzay-zamansal düzenlenmeleri konusunda da öngörüleri gerekli kılıyor. Özünde bu, deneyim karşısında test edilebilir olacaktır, ama bu olgu onu, oluşlar arasındaki *gözlemlenen* uzay-zaman aralıklarını konu alan bir kuram haline getirmez.

Bu önemli bir noktadır, çünkü kuramı gözlemciye bağlantılamak, kuramın katı çubuklar ve saatlerle yapabileceğimiz

ölçüm ve işlemlere ilişkin olduğu algısına yol açabilir. Bu noktada varılan sonucun, bize yalnızca fiziksel olarak anlaşılabilir uzay-zamansal ilişkilerin, yani Özel Kuram'ın açıkladığı ilişkilerin kapısını aralayarak, evrenin sanki gerçek uzay-zamansal *olguların* üstünü örtmek için bir komplo kurduğu görünümünü veriyor. Hiçbir şey gerçeğin ötesine geçemez ve aslında hiçbir şey Russell'ın yorumsal amaçlarının ötesine geçemez. Yorumlamasının daha başlarında, "[Özel Rölativite] rölatif olanı ayırıp gözlemcinin içinde bulunduğu koşullara hiçbir şekilde bağımlı olmayan, fiziksel yasalar ortaya çıkarmakla ilgilenir" (s. 31), vurgusunu yapıyor. "Gözlemci bağımlılığı" tuzağından sakınmanın en kolay yolu, bu kavramın yerine "konumlama bağımlılığı" kavramını koymak ve Özel Rölativite'nin zamandaşlık, süre ve uzamsal aralık ilişkilerini konumlama bağımlılığına dönüştürdüğünü gözardı etmemektir.

Özel Kuram'la ilgili yanıltıcı bir yoruma karşı uyarı yaparken, aynı ölçüde yanıltıcı olan bir başkasına karşı, kuramın uzay-zamanın nedensel kuramını doğruladığı savına karşı da, uyarı yapmamız gerekiyor. Leibniz, uzay ve zamanın, töz olarak değil, oluşlar arasındaki nedensel bağlantıların meydana getirdiği ilişkiler olarak görülmesi gerektiği yolundaki o ünlü tezini öne sürmüştü. Buna göre, örneğin, bir zamansal an, bütün "zamandaş olaylar"ın bir kümesi olarak düşünülebilir. Öyle ki, t anında olan bir oluş seçin ve t bu oluşla eşzamanlı oluşlar kümesi olsun. Bu görüşe göre, hangi hızla yayılmış olursa olsun, herhangi iki oluş, bir türden nedensel bir işaretle bağlantılanamıyorsa, bu iki oluş eşzamanlıdır. Aslında Leibniz, bu savını, nedensel işaretlerin yayılma hızlarının üst sınırı olmadığı için, eşzaman bağıntısı anlaşılmış olduğu biçimde, yukarıda açıklandığı haliyle, zamansal anların çakışmayacağı (eşzamanlık bağıntısı geçişli olacaktır) ve tam da Newton'un mutlak zaman kuramının gerektirdiği tarzda davranacağı temeline dayandırmıştı. Mutlak uzay için böyle-

sine doğrudan bir kanıt yoktur, gene de, nedensellik bağıntılarına dayanan klasik bir uzay ve zaman geometrisi inşa etme tasarımı, hiçbir zaman başarıyla sonuçlanmamıştı.

Russell'ın değindiği gibi (s. 64), Cambridge'de çalışan A. A. Robb, 1914'te *Bir Uzay ve Zaman Kuramı* (*A Theory of Space and Time*, Cambridge: Cambridge University Press, 1914) adlı dikkat çekici eserini yayımladı. Özel Rölativite uzay-zamanına ilişkin olan bu nedensel kurama göre, uzay-zamanın nedensel yapısı, kendi (Öklidsel olmayan) geometrisini üretmeye yeterlidir. Elbette, Özel Rölativite'de, ışık hızının sonlu olmasının ve bir ışık işaretinin en çabuk –gidiş-dönüş terimleriyle tanımlanan en çabukluğun– nedensel işaret olduğuna ilişkin temel iddianın doğrudan sonucu olarak, eşzamanlık konusunda yeni bir belite (postülaya) gerek vardır. Kimi zaman Robb'un çalışmasının bu sonucu, literatürde Leibnizci düşüncenin bir doğrulanması olarak kabul ediliyor, ama böyle bir iddia, Özel Rölativite'nin içeriğini aşıyor, çünkü bu kuramda, bizi eşzamanlık kavramını nedensel bağıntılarının terimleriyle ifade etmeye zorlayan hiçbir şey yok.

Özel Rölativite, olaylar arasındaki bağıntıları konumsal bağımlı mı yapar (her şey rölatif midir)? Russell buna hayranlık verici bir netlikle yanıt verir: "Hayır" (s. 58, 94, 95, 97). Bir bakıma, klasik tanımlamalarda olduğu kadar mutlaktır, ama konumlamadan bağımsız olmak farklıdır. Fizik çalışmalarında, klasik bakış açısının, on dokuzuncu yüzyıldaki kavranışı, Newton'un belitlediğinden daha güçlüydü. Aslında bu, Kant'ın görüşüne dayanıyordu, bu bağlamda mutlak uzay ve mutlak zaman gibi, iki bağımsız ontolojik yapı, nesnel deneyimin olabilirliği ve buna bağlı olarak bir bilim olarak fiziğin varlığıyla öngörülmüştü. Bu Kant'ın, doğa yasalarının tümevarımsal bilgisine ulaşabileceğimiz düşüncesine karşı Hume'un kuşkucu itirazının ortaya koyduğu soruya yanıtıydı. Bu Kant'ın "Doğal Bilim nasıl olabilir?" bilgibilimsel temel sorusuna (*Gelecekte Bilim Olarak Ortaya Çıkabilecek Her*

Metafiziğe Prolegomena, 1783) yanıtıydı. Dahası, Kant, mutlak uzay ve mutlak zamanı, iki bağımsız niteliği birlikte alarak oluşturulacak yapının geometrisinin Öklidsel olmasını fizik çalışmalarında bir ön varsayım olduğu görüşünü savunmuştu. Bu, birbirinden uzak iki olay arasındaki uzamsal uzaklığı, Pisagor teoremini kullanarak bulabileceğimiz ve zamansal ayrılığı, mutlak zamansal koordinatların çıkarılmasıyla hesaplayabileceğimiz anlamına geliyordu (s. 86-94).

Şimdi Özel Rölativite, mutlak uzay ve mutlak zaman yerine, bir başka mutlak, eylemsizlik çerçeve sınıfını (yani kendileri kuvvet etkisinin konusu olmayan referans çerçeveleri ya da uzay-zaman haritaları) koyuyor. Rölativitenin temel ilkesine göre, doğa yasaları bu sınıfın her ögesi içinde aynı biçime sahip olmalıdır. Bunun hemen ardından şu soru geliyor: her eylemsizlik çerçevesinde doğa yasalarının değişmez biçime sahip olması için –sınıfın bir ögesindeki bir olayın koordinatlarını alıp aynı olayın koordinatlarını sınıfın herhangi bir başka ögesine veren– dönüşümler hangi biçimleri almalıdır? Ama burada önemli bir zorluk vardı.

Eğer dönüşümler, standart Galile dönüşümlerindense, Newton mekaniğinin yasaları istenilen anlamda değişmezdir. Ama bu dönüşümler, elektromanyetizm yasaları söz konusu olduğunda, böyle olmaz; ancak oldukça farklı bir dönüşüm kümesi kullanıldığında, eylemsizlik çerçeveleri dışında, değişmez olarak kalırlar. Bu küme içerisinde fiziksel olarak en önemli olanları Lorentz dönüşümleridir. Bu, Einstein'a en temel yasaların mekanik yasalar değil, elektromanyetik yasalar olduğunu ve doğru olanın, Lorentz dönüşümleri olduğunu görmek için, olağanüstü bir imkân sağladı. Özel Rölativite, tümüyle, Russell'ın da doğru bir biçimde belirttiği gibi (s. 79-81), Lorentz dönüşümleri esas alındığında, kinematik ve mekaniğin özelliklerinin ne olması (yeniden nasıl yazılması) gerektiğine ilişkin araştırmaların sonucudur. Lorentz dönüşümleriyle birlikte, eylemsizlik çerçeveleri sınıfının mutlaklı-

ğı, bizi uzay-zaman yapısına ilişkin düşüncelerimizde temel bir değişim yapmaya zorlamaktadır.

Böyle bir değişikliğin en çarpıcı sonucu, uzay ve zamanın artık ontolojik olarak, birbirlerinden bağımsız olamadıkları, birbirlerinden ayrı varlıklar olarak anlaşılamayacağı ve geometrisi Öklidsel olamayan, yani farklı olayların uzay-zaman ayırımına ilişkin Pisagor teoremiyle verilemeyeceği, tek bir uzay-zaman varlığı olarak ele alınması gerektiğidir (s. 83-94). Dahası, bu uzay-zaman ayrılığı, Lorentz dönüşümlerinin bir sonucudur, değişmeyen, çerçeve-bağımsız bir niceliktir ve ilk bakışta tuhaf görünse de, zaman açılması ve uzunluk büzüşmesi ve eşzamanlığın çerçeve bağımlılığı görüngülerinin nedeni de, bu dönüşümlerdir. Uzunluk ve zamansal ayrılmaya denk düşen uzay-zaman bileşenleri, eylemsizlik çerçeve sınıfının üyeleri arasında değişebilir olsa da, uzay-zaman ayırımına ilişkin tam ifade, değişmeyebilir.

Bu mutlaklık kuramda esastır, çünkü ikizler paradoksunda olduğu gibi, öylesine anlam çelişkilerini önleyen budur. "Hareket eden saat yavaşlar", Lorentz dönüşümlerinin doğrudan bir sonucudur. Ardından gelen de, eğer ikizler kümesinden biri, yeryüzünde kalırken ötekisi, diyelim Pluton'a yolculuğa çıksa, Pluton'a giden, yerde bulunan ikizinden daha az yaşlanacaktır. Ama roketteki ikizi açısından, bütün düzgün hareketin rölativite ilkesi ve zaman esnekliğinin karşılıklı niteliği bilindiğine göre, Dünya'daki ikizin, yolculuk yapıp "durağan" rokete geri döndüğü şeklinde bir değerlendirme yapamaz mıyız? Bu durumda, Dünya'daki saatler hareket ediyor ve "yavaş çalışıyor" olur ve bundan Dünya'dakinin kardeşinden daha genç olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Zaman esnekliğinin karşılıklı özelliğine göre, ikizlerin her birinin ötekinden daha genç olduğu sonucuna ulaşacağız ki, bu olanaksızdır. Demek oluyor ki, elimizdeki kurama göre, bu çıkarsama sakattır.

İkizlerden biri yolculuğun başlangıç noktasına *dönmek* zorundadır, böylece ikizlerden biri (hareket edeni), dönüş yolculuğuna başladığında, bunu hemen yapmış olsa da, eylemsizlik çerçeve sınıfını terk etmesi gerekir. İkizlerden yalnızca biri bunu yapabilir. Eylemsizlik çerçeve sınıfının mutlaklığı nedeniyle, ikizlerin yolculuğu arasındaki herhangi bir simetri kırılmıştır (ikizlerden biri, yalnızca biri, aslında Dünya'nın sabit çerçevesi içerisinde evde oturanı, yolculuğunu tümüyle eylemsizlik çerçevesi sınıfı içerisinde tamamlayabilir); böylece simetri kırılır ve ne karşılıklılık, ne paradoks olur. Bu sadece, Özel Rölativite'nin belitlediği eylemsizlik çerçevesi sınıfı mutlaklığının bir yansımasıdır.

Özel Rölativite'de eylemsizlik çerçevesinin oynadığı temel rol, şu soruyu akla getiriyor: eylemsizlik çerçevesi nedir (eylemsizlik çerçeveleri sınıfının mensubu olmayı belirleyen nedir) ve niçin bunlar bu özel rolü üstlenmek durumundadır (doğa niçin bunları ayrıcalıklı kılmaktadır)? Einstein'ı düşündüren bu sorulardır ve bu sorular, kütle ve enerji eşitliğinin Özel Rölativite'nin temel sonucuyla birlikte (s. 113-126), sonunda onu, 1916'da Genel Rölativite Kuramı'na taşımıştır. Belki de burada, Russell'ın Genel Rölativite'ye geçiş açımlamasına, Genel Rölativite'ye ve evrenbilime dair biraz güncelleyici ve tamamlayıcı bilgiler vermek gerek.

Çağının en büyük rölativitecisi, İngiliz Sir Arthur Eddington ve özellikle de onun klasik yapıtı, *Matematiksel Görelilik Kuramı* (*The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge: Cambridge University Press, 1923), Russell'ın rölativite değerlendirmesini büyük ölçüde etkilemiştir. Bu yapıt, Genel Kuram'ın geometrik yönlerine özel bir vurgu yaparken, fiziksel kuramı neredeyse, önsel bir bilgi düzeyine indiriyor. Zaman zaman Russell'ın açımlamasında da görülen bu yaklaşım, kuramı belirleyen temel fizik sorularını bulanıklaştırma eğilimindedir.

Eylemsizlik çerçevesi kavramının nasıl nitelenmesi gerektiği ve eylemsizlik yasasının nasıl formüle edileceğine ilişkin ilk genel sorun, Enerjinin Korunumu Yasası konusundaki 1872 tarihli ufuk açan monografisinde, Ernst Mach tarafından ortaya atılmıştı (*Enerjinin Korunumu İlkesinin Tarihi ve Kökeni* [*The History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, Open Court, 1909]). Maddenin özelliklerini belirleyenin mutlak uzaya göre hareket değil, evrendeki kalan maddenin dağılımına göre hareket olduğu biçimindeki ünlü görüşü öne sürmüştü. Şöyle diyordu:

> Açıktır ki, Dünya'nın kendi ekseni etrafında dönmesiyle, gök cisimlerinin Dünya'nın etrafında dönmesinin bir önemi yok. ... Eylemsizlik yasasının, ikinci varsayımın sonuçlarıyla, birinci varsayımın sonuçlarının tamı tamına aynı olduğu şeklinde algılanması gerekir. Böylelikle, yasayı ifade derken, evrenin kütlesinin göz önünde tutulması gerektiği açık seçik ortaya çıkacaktır (s. 76-7, not 2).

Aslında Mach, fiziksel açıdan, referans çerçeve seçiminde hiçbir tercihin önceliği olmadığı görüşünü öne sürüyor. Ama bu görüşü ileri sürerken, bunun fizik kuramının içerisine nasıl katılacağı konusunda fazla bir şey vermiyor.

Şimdi Russell, gravitasyonu Özel Rölativite'ye katarken, büyük zorluk içerisindedir, çünkü Newton'un gravitasyon yasasının formülasyonu uzaklık kavramını içerir, uzaklık ise çerçeve-bağımlı bir kavramdır, buradan da yasanın kendisinin de sanki çerçeve bağımlı olduğu görüntüsü ortaya çıkar (s. 87-88). Ne var ki bu, kendi içerisinde temel bir güçlük değildir –gravitasyonu bir başka kuvvet gibi, Özel Rölativite içine taşımak da öyledir (ne Özel ne de Genel Rölativite Kuramı, Russell'ın da tartışmak istediği gibi, kuvvet kavramının ortadan kaldırılmasına gerek duyar, s. 98-99). Asıl sorun, küt-

le ve enerjinin eşitliğinden –Özel Rölativite'nin en devrimci sonucundan– kaynaklanmaktadır ($E=mc^2$). Eğer hareket eden bir cismin enerjisi –diyelim ki ısınarak– artıyorsa, kütlesi de artar. Öte yandan, eğer kütlesi artarsa, Newton yasasına göre gravitasyonel alana tepkisi (gravitasyonel kütlesi) de artar. Ama ısıtılan bir cismin ne kadar enerji kazanacağı o cismin bileşimine bağlıdır, buradan çıkaracağımız sonuç ise, bir cismin gravitasyonel alana tepkisi, cismin bileşimine bağlıdır. Ne var ki, bu da Galileo'nun bir belit olarak dillendirdiği, bütün cisimler gravitasyonel alana, bileşenlerinden bağımsız olarak eşit biçimde tepki verirler sözüyle anlatılabilecek önemli gravite ilkesiyle çelişmektedir. Einstein'ın Genel Kuram'ı, eylemsizlik çerçevelerinin ayrıcalıklı konumlarını yitirdikleri, gravitasyonel ile eylemsizlik kütlesi arasındaki denklik ilkesinin belitsel konumunu kaybettiği ve kuramın doğrudan bir çıkarsama sonucuna dönüştüğü açıklamalarını getirmeyi başarmaktadır.

Umulur ki, Russell'ın matematiksel olmayan o harikulade rölativite açımlaması, okuru kurama ve onun gökbilime uygulanmasına ilişkin bilgisini geliştirmeye özendirecektir. Kuşkusuz bu kitap, Einstein'ın kendi tezlerinin açımlaması olan *Rölativitenin Anlamı* (*The Meaning of Relativity*, Princeton: Princeton University Press, 1922) adlı eserini kavramaya okuru hazırlayacaktır. Rölativitenin teknik olmayan çok güzel bir açımlaması, Wesley C. Salmon'un *Uzay, Zaman ve Hareket* (*Space, Time and Motion: A Philosophical Introduction* Encino: Dickenson Publishing Co., 1975) adlı yapıtında bulunabileceği gibi, Wolfgang Rindler'in *Özel, Genel ve Evrensel Görelilik* (*Relativity: Special, General and Cosmological*, Londra: Oxford University Press, 2006) başlıklı kitabı kurama her yönüyle, matematiksel olmayan çok güzel bir giriş yapıyor. Felsefi eğilimliler için, Lawrence Sklar'ın *Uzay, Zaman ve Uzay-Zaman* (*Space, Time and Space-Time*, Berkeley: California University Press, 1974) ve Roberto Torretti'nin *Rölativite ve Geometri* (*Re-*

lativity and Geometry, Oxford: Pergamon Press, 1983) adlı çalışmaları rölativite kuramının kavramsal konularına ulaşılabilecek yollar açmaktadır.

Russell, belki de, İngiltere'nin yirminci yüzyıldaki en büyük filozofuydu; onun bu büyük açımlama gayretine ve onun olağanüstü entelektüel ve toplumsal düşüncelerine, "geçimini sağlamak" için yazdığı bu yapıtın yeni bir basımının yapılmasından daha güzel bir katkı konamaz. Onun bakış açısının büyük kısmı, bilgisinin gücü ve bilgi sevdasının büyük bölümü bu kitapta en iyi şekilde duyumsanıyor.

Peter Clark, *St Andrews Üniversitesi*

1

Dokunma ve Görme: Yeryüzü ve Gökyüzü

Herkes Einstein'ın şaşırtıcı bir şeyler yaptığını bilir, ama ne yaptığını gerçekten bilen çok azdır. Onun, fiziksel dünyayı kavrayışımızda devrim yaptığı genellikle bilinir, ama bu yeni kavramlar matematiksel ayrıntılar içine sarmalanmıştır. Rölativite kuramının kolayca anlaşılabilir nitelikte pek çok açıklamaları olduğu bir gerçektir, ama genellikle, tam önemli bir şeyler söylemeye başlanacağı noktada anlaşılabilirlik bir yana bırakılır. Yazarları bundan ötürü kınamak zordur. Birçok yeni fikir, matematiksel olmayan bir dille açıklanabilir, ama yine bu haliyle de pek kolay değildir. Bizden istenilen, dünyamızın imgesel görüntüsünde bir değişikliktir; çok ötelerden gelen, belki de insan-öncesi atalardan kalan, her birimizce ilk çocukluğumuzda öğretilen imgesel bir görüntüdür. İmgemizdeki bir değişiklik her zaman zordur, hele artık genç de sayılmıyorsak. Copernicus, dünyanın durağan olmadığını ve evrenin onun etrafında günde bir defa dönmediğini öğrettiği zaman da, aynı türden bir değişiklik gerekmişti. Şimdi bu düşünce bize zor gelmiyor, çünkü biz, bunu zihinsel alışkanlıklarımız katılaşmadan önce öğrendik. Aynı şekilde, Einstein'ın düşünceleri, onlarla birlikte gelişen kuşaklar için daha kolay olacaktır; ama bizim için imgelerimizin yeniden kurulmasında, belirli bir çaba harcamamız kaçınılmazdır.

Yeryüzeyinin keşfedilmesinde bütün duyularımızı kullanırız, özellikle dokunma ve görme duyularını. Uzunlukların ölçülmesinde, bilim-öncesi çağlarda, insan vücudunun organları kullanılmaktadır: bir "ayak", bir "kübit"[1] bir "karış" bunu ifade eder. Daha fazla uzaklıklar için, bir yerden bir başka yere yürürken harcanan zamanı düşünürüz. Giderek, uzaklığı, kabaca, gözle değerlendirmeyi öğreniriz, tam bir doğruluğa ulaşmak için, dokunma duyusuna güveniriz. Üstelik bize "gerçeklik" duygusunu veren dokunmadır. Bazı şeylere dokunulamaz: ebemkuşağı, aynadaki yansıma vb. Aynadaki şeyin "gerçek" olmadığı bilgisiyle metafizik kurgulamaları içinde sınırlandırılan çocuklar, bu gibi şeylere şaşırırlar; Macbeth'in kaması gerçek değildi, çünkü görülebiliyor, ama hissedilmiyordu. Sadece geometrimiz ve fiziğimiz değil, dışımızda var olan tüm şeylerin bütünüyle kavranması dokunma duyusuna dayanır. Bunu benzetmelerimize de sokarız; iyi bir konuşma "katı"dır (sağlam), kötü bir konuşma "gaz"dır (boş laf), çünkü gazı pek "gerçek" olarak kabul etmeyiz.

Gökyüzünü incelerken, görme duyumuzun dışında, öteki bütün duyularımızdan yoksunuz. Güneşe dokunamayız ya da oraya yolculuk yapamayız, ayın etrafında yürüyemeyiz ya da Ülker'e ölçü cetveli uygulayamayız.[2] Böyle olmakla birlikte, yeryüzünde uygulanan dokunma ve görmeye dayanan fizik ve geometriyi astronomlar, sakınmadan uygulamışlardır. Bunu yaparken, aydınlığa kavuşturulması Einstein'a bırakılan güçlükleri de kafalarında taşımışlardır. Eğer dünyanın gerçek bir görünümüne sahip olmak istiyorsak, bilimsel olmayan önyargılardan oluşan, dokunma duyusu ile elde ettiğimiz bilgilerin çoğunu reddetmek zorunda olduğumuz ortaya çıkar.

---

1 Kübit dirsekten ortaparmağın ucuna kadar ölçülen, eski bir ölçü birimi. (Çev. n.)

2 Eser, 1925 yılında yazılmıştır. (Çev. n.)

Bir astronomun, yeryüzündeki şeylerle uğraşan bir insana göre ne denli olanaksızlıklar içinde olduğunu anlayabilmemize, bir örnekleme yardım edebilir. Tutalım ki, size, geçici olarak sizi bayıltan, uyandığınızda belleğinizi kaybettiren, ama muhakeme gücünüzü yerinde tutan bir ilaç verilmiş olsun. Ve yine, tutalım ki, sizi, baygın iken, bir balona taşımış olsunlar; kendinize geldiğinizde, karanlık bir gecede –İngiltere'de kasımın beşinci gecesinde, ya da Amerika'da haziranın dördüncü gecesinde– rüzgârla seyreden bir balona. Yeryüzünden, trenlerden, çeşitli yönlere giden uçaklardan gönderilen donanma fişeklerini andıran ışıkları görebilirsiniz, ama karanlık nedeniyle, yeryüzünü, trenleri ya da uçakları göremezsiniz. Nasıl bir dünya görüntüsü oluşturacaksınız? Hiçbir şeyin kalıcı olmadığını düşüneceksiniz; sadece var oldukları kısa dönemde, çok garip ve değişik eğriler halinde boşlukta gezinen kısa ışık parıltıları vardır. Bu ışık parıltılarına dokunamazsınız, ancak onları görebilirsiniz. Açıktır ki, sizin geometriniz, fiziğiniz ve metafiziğiniz, herhangi bir ölümlününkinden oldukça farklı olacaktır. Eğer herhangi bir ölümlü sizinle birlikte balonda olsa idi, onun konuşmalarını akıl dışı bulacaktınız. Ama Einstein sizinle birlikte olsa idi, onu normal bir ölümlüden daha kolay anlayacaktınız, çünkü çok insanı onu anlamaktan alıkoyan bir yığın önyargılardan arınmış olacaktınız.

Rölativite kuramı, geniş ölçüde, bizim ilaç yutmuş baloncumuza değil, günlük yaşamda kullanılan kavramlardan arınmış olmaya dayanır. Yeryüzündeki koşullar, az çok rastlantısal çeşitli nedenlerle, düşüncenin zorunluluklarıymış gibi görünseler de, doğru olmayan kavramlar ortaya çıkarır. Bu koşulların en önemlisi, yeryüzündeki nesnelerin birçoğunun yeryüzü açısından oldukça kalıcı ve hemen hemen durağan olmalarıdır. Eğer öyle olmasaydı, bir yolculuğa çıkma düşüncesi şimdiki kadar belirgin olmayacaktı. King's Cross'tan Edinburgh'a gitmek istiyorsanız, King's Cross'un her zamanki

yerinde bulunacağını biliyorsunuz, demiryolu hattının son yolculuğunuzdaki doğrultuda olacağını ve Edinburgh'taki Waverly İstasyonu'nun Castle'a doğru gelmemiş olacağını biliyorsunuz demektir. Onun için siz, Edinburgh'un size doğru değil, sizin Edinburgh'a doğru, birincisi aynı ölçüde doğru olmasına karşın, yol aldığınızı düşünecek ve öyle söyleyeceksiniz. Bu sağduyuya dayanan bakış açısının başarısı, gerçekte şans niteliğinde birçok şeye dayanmaktadır. Londra'daki bütün evlerin arı oğul verir gibi sürekli olarak hareket ettiklerini, tren yollarının çığ gibi hareket halinde olduklarını ve biçimlerini değiştirdiklerini ve nihayet, maddi nesnelerin bulutlar gibi sürekli bir biçimlenme ve dağılma içinde olduklarını varsayalım. Bu varsayımlarda olanak dışı olan bir şey yoktur. Ama açıkça görüleceği gibi, Edinburgh'a yolculuk dediğimiz şeyin, böylesine bir dünyada anlamı yoktur. Kuşkusuz, taksi şoförüne ilk sorunuz: "King's Cross bu sabah nerededir?" olacaktır. İstasyonda, Edinburgh hakkında da benzer bir soru soracaksınız ve gişe memuru, "Edinburgh'un hangi bölgesini soruyorsunuz bayım? Prince's Street, Glasgow'a gitti; Castle, Highlands'e gitti ve Waverley İstasyonu, Firht of Forth'daki suların altındadır" diye yanıt verecekti. Yolculuk sırasında, istasyonlar, bulundukları yerlerde sessizce durmuyor olacaklar, kimi kuzeye, kimi güneye, kimi doğuya, kimi batıya doğru, belki trenden de daha süratli olarak, gideceklerdi. Bu koşullar altında, herhangi bir anda, nerede olduğunuzu söyleyemeyecektiniz. Gerçekten de, bir şeyin hep belirli bir yerde olması kavramı yeryüzündeki büyük nesnelerin çoğunun bereket ki hareketsiz oluşlarından gelmektedir. "Yer" fikri, sadece kaba bir pratik yaklaşıklıktır: mantıksal bir gereklilik değildir ve kesinleştirilemez.

Ancak bir elektron kadar büyük olsaydık, yalnızca duyularımızın kabalığından gelen bu durağanlık izlenimine sahip olamazdık. Bize katı gözüken King's Cross, bazı eksantrik matematikçiler dışında, kavrayamayacağımız kadar büyük

olacaktı. Görebildiğimiz parçaları, hiçbir zaman birbirleriyle temasa gelmeyen, birbirleri etrafında sürekli olarak vızıldayan ve inanılmaz bir hızla bale dansı yapan küçücük madde noktalarından oluşmuş olacaktı. Deneyimizin dünyası, Edinburgh'un değişik parçalarının değişik yönlere gittiği dünya kadar değişik, deli bir dünya olacaktır. Eğer –tam karşıtını alırsak– güneş kadar büyük olsaydınız, onun kadar yaşamış olsaydınız, buna uygun olan bir algı yavaşlığı ile yine karmaşık, kararsız bir evren bulacaktınız; yıldızlar ve gezegenler, sabah sisleri gibi gelip gidecekler ve hiçbir şey, bir öteki şeye göre sabit bir durumda kalmayacaktı. Basit bakış açımızın bir parçası olan göreli durağanlık kavramı, bulunduğumuz büyüklük ve yüzeyi çok sıcak olmayan bir gezegende yaşamamız gerçeğinden gelmektedir. Eğer durum böyle olmasaydı, rölativite-öncesi fiziği zihni açıdan doyurucu bulamayacaktık. Aslında bu tür kuramları keşfetmiş bile olmayacaktık. Ya doğrudan doğruya rölativite fiziğine ulaşacak, ya da bilimsel yasalardan habersiz kalacaktık. Tek bir adamın, Öklid, Galileo, Newton ve Einstein'ın işini yapması hemen hemen düşünülemeyeceğine göre, bu seçenek ile karşı karşıya gelmediğimiz için şanslı sayılırız. Yine de, böylesine inanılmaz bir deha olmasa idi, evrensel akışın bilimsel olmayan gözleme açık olduğu bir dünyada fizik, zor keşfedilebilirdi.

Astronomide, güneş, ay ve yıldızlar, yıldan yıla varlıklarını sürdürmelerine karşın, uğraşmak zorunda olduğumuz dünya, öteki yönleriyle günlük yaşantımızdakinden çok farklıdır. Yukarda da belirtildiği gibi, sadece görme duyusuna dayanmaktayız: gök cisimlerine dokunulamaz, işitilemezler, koklanamazlar ya da tadılamazlar. Gökyüzündeki her şey, başka şeylere göre hareket halindedir. Dünya, güneşin etrafında dolanıyor, güneş, bir ekspres treninden çok daha süratli olarak Hercules yıldız kümesindeki bir noktaya doğru yol alıyor, "sabit" yıldızlar, ürkütülmüş tavuk sürüsü gibi, şura-

ya buraya telaşla kaçışıyorlar. Gökyüzünde, King's Cross ve Edinburgh gibi iyice işaretlenmiş yerler yoktur. Yeryüzünde, bir yerden bir yere gittiğiniz zaman, istasyonların değil, trenin hareket ettiğini söylersiniz, çünkü istasyonlar birbirlerine ve onları çevreleyen bölgelere göre topografik konumlarını korumaktadırlar. Ama astronomide hangisinin tren, hangisinin istasyon olduğunda bir karara varmak keyfidir: sorunun yanıtını verirken, sadece kullanışlılık ve alışkanlık esas alınır.

Bu anlamda, Einstein ve Copernicus'u karşılaştırmak son derece ilginçtir. Copernicus'tan önce insanlar, yeryüzünün hareketsiz olarak kaldığını ve evrenin onun etrafında günde bir defa döndüğünü sanıyorlardı. Copernicus, dünyanın "gerçekten" günde bir defa kendi etrafında döndüğünü, güneş ve yıldızların günlük dönüşlerinin sadece "görünüşte" olduğunu öğretti. Galileo ve Newton, bu görüşü onayladılar ve bunu tanıtlamak için birçok şey düşünüldü; örneğin, dünyanın kutuplarda basıklaşması ve cisimlerin orada, ekvatorda olduklarından daha ağır geldiği gerçeği. Ama modern kuramda, Copernicus ve öncelleri arasındaki sorun, yalnızca bir kullanışlılık sorunudur, hareketin tümü rölatiftir ve her iki öneri arasında bir farklılık yoktur: "dünya günde bir defa kendi etrafında dönüyor" ve "evren günde bir defa dünyanın etrafında dönüyor", ikisi de tamamen aynı anlama gelmektedir. Tıpkı belirli bir uzunluk altı ayak ya da iki yardadır dediğimizde, ikisinin de aynı şeyi ifade etmesi gibi. Astronomi, güneşi sabit olarak aldığımızda, yeri sabit olarak aldığımızda olduğundan daha kolaydır, tıpkı paranın ondalık olarak hesabının daha kolay olması gibi. Ama Copernicus için söz konusu olan mutlak hareketi kabul etmesidir ki bu bir kurgudur. Hareketin tümü rölatiftir ve bir cismi duruyor olarak kabul etmek sadece bir alışkanlıktır. Bütün bu tür alışkanlıklar, hepsi aynı ölçüde kullanışlı olmamakla birlikte, aynı derecede geçerlidir.

Büyük önem taşıyan bir başka sorun da, yer fiziğinden farklı olarak, astronominin yalnızca görme duyusuna dayanmış olmasıdır. Alışılmış duyumlarla ilintili olması nedeniyle akla yakın gelen "kuvvet" kavramı hem halk kafasında hem de eski moda fizikte kullanılmıştır. Yürürken, sakin olarak oturduğumuz zaman duymadığımız, kaslarımızla ilişkili hisler duyarız. Taşıma işinin mekanik olmadığı dönemlerde, insanlar arabalarına binip yolculuk etmelerine karşın, atların kendilerini çektiklerini, insan gibi "kuvvet" ortaya koyduklarını açıkça görebiliyorlardı. Herkes deneysel olarak, itme ya da çekmenin veya itilme ya da çekilmenin ne demek olduğunu biliyordu. Bu çok iyi bilinen olgular, "kuvvet"i dinamiğin doğal temeli yaptı. Ama Newton'un çekim yasası bir güçlüğü de beraberinde getirmişti. İki bilardo topu arasındaki kuvvet akla yakın geliyordu, çünkü bunun, bir kimsenin bir başkasına çarpmasına benzer bir duygu olduğunu biliyoruz, birbirlerinden doksan üç milyon mil uzaklıkta bulunan güneş ile dünya arasındaki kuvvet esrarlı bir şeydi. Newton'un kendisi, bu "uzaktaki etki"yi olanaksız olarak görmüş ve güneşin gezegenlere ulaşan etkisinin henüz keşfedilmemiş bir mekanizma yoluyla, gerçekleştiğine inanmıştı. Oysa, böyle bir mekanizma keşfedilemedi ve yerçekimi bir bilmece olarak kaldı. Gerçek ise, tüm olarak "kuvvet" kavramının yanlış olmasıydı. Einstein'ın çekim yasasında, güneş, gezegenler üzerine herhangi bir kuvvet uygulamıyor, sadece gezegen kendi yakınında bulunan şeyle ilgileniyor. Bunun nasıl olduğu, sonraki bölümlerde anlatılacaktır; şimdilik biz, sadece, dokunma duyusundan çıkarılan yanlış kavramların yol açtığı "kuvvet" kavramının terk edilmesinin gerekliliği üzerinde duracağız.

Fizik ilerledikçe, maddenin temel kavramlarının kaynağı olarak görme duygusunun dokunmadan daha az yanılgılara yol açtığı, giderek daha da açıklık kazandı. Bilardo toplarının çarpışmalarında görülen yalınlık, oldukça aldatıcıdır. Gerçekte, iki top, hiçbir şekilde birbirlerine dokunmazlar;

gerçekte olan şey, düşünülemeyecek kadar karmaşıktır, ama sağduyunun varsaydığından daha çok, bir kuyruklu yıldızın güneş sistemine girmesi ve tekrar uzaklaşması olayına benzemektedir.

Şimdiye dek söylediklerimizin çoğu, Einstein rölativite kuramını ortaya koymadan önce de, fizikçilerce biliniyordu. "Kuvvet", sadece matematiksel bir kurgu olarak anlaşılıyordu ve hareket, genellikle sadece rölatif bir görüngü olarak kabul ediliyordu, şöyle ki, iki cisim, bağıntılı konumlarını değiştirdikleri zaman, olanın yalnızca birbirleri arasındaki bağıntının değişmesi olduğundan, birisi dururken ötekinin hareket ettiğini söyleyemeyiz. Fiziğin günümüzdeki sürecini bu yeni inançlarla uyumlu kılmak için, büyük bir çaba gerekti. Newton, kuvvete, mutlak uzay ve zamana inanıyordu; bu inançlarını teknik yöntemlerinde somutlaştırdı ve bu yöntemleri, sonra gelen fizikçilere kaldı. Einstein, Newton'un varsayımlarından bağımsız olarak, yeni bir teknik buldu. Ama bunu başarabilmek için, çok eskilerden beri tartışmasız kabul edilmiş bulunan, uzay ve zaman düşüncelerini temelden değiştirmek zorunda kaldı. Kuramı hem zorlaştıran, hem de ilginç kılan budur. Ama bunu anlatmadan önce, zorunlu bazı ön bilgiler gerekiyor. Bunu izleyen ilk iki bölüm, bu konuları kapsayacaktır.

2

Olan Nedir, Ne Gözlenir?

Bazı üstün kişi tipleri vardır ki, "her şey rölatiftir (ilişkindir)" önerisini yapmaktan hoşlanırlar. Bu saçmadır elbet, çünkü eğer her şey rölatif (ilişkin) olsaydı, her şeyin ona göre rölatif olacağı hiçbir şey olmaması gerekirdi. Bununla birlikte, metafiziksel saçmalıklar içine düşmeden, fiziksel dünyadaki her şeyin, bir gözlemciye göre rölatif olduğu söylenebilir. Bu görüş, doğru olsun ya da olmasın, "rölativite kuramı" tarafından benimsenen görüş değildir. Belki de isim şanssızdır; kuşkusuz bu, filozofların ve eğitilmiş insanların kafalarını karıştırmıştır. Bunlar yeni kuramın fiziksel dünyadaki her şeyin rölatif olduğunu kanıtladığını sanırlar, oysa tersine, bu kuram, rölatif olan şeyi ayırıp, gözlemcinin içinde bulunduğu koşullara hiçbir şekilde bağımlı olmayan, fiziksel yasalar ortaya çıkarmakla ilgilenir. Bu koşulların, gözlemciye görüneni, daha önce sanıldığından da çok, gözlemciyi etkilediği ortaya konmuş bir gerçektir. Ama Einstein, aynı zamanda, bu etkinin tümüyle nasıl ayıklanıp bir yana itileceğini de göstermiştir. Kuramdaki şaşırtıcılığın hemen hemen bütün kaynağı da bu olmuştur.

İki gözlemci, oluş sayılan bir şeyi algıladıklarında, algılarında bazı benzerlikler olduğu kadar, bazı farklılıklar da vardır. Bu farklılıklar, günlük yaşamın gereksinmeleriyle belirsizleşirler, çünkü günlük iş yaşamı açısından, bunlar, kural

olarak önemsizdir. Ama gerek psikoloji, gerekse fizik, kendi farklı açılarından, verilen bir olayda, bir kimsenin algılarının bir ötekininkinden farklı olan yönlerini vurgulamak zorundadır. Bu farklılıklardan bazıları, gözlemcilerin beyin ve akıllarının farklı oluşundan, bazıları duyu organlarının farklılığından, bazıları fiziksel durumun farklılığından gelebilir; bu üç farklılık, sırasıyla, psikolojik, fizyolojik ve fiziksel farklılıklar olarak tanımlanır. Bildiğimiz bir dilde yapılacak olan bir sesleniş işitilecektir, bilmediğimiz bir dilde aynı yükseklikteki bir sesleniş, hiç de dikkatimizi çekmeden geçip gidebilir. Alplerde bulunan iki kişiden biri çağlayanlara, onlardan elde edilebilecek güç açısından bakarken, öteki görünümün güzelliğini algılayacaktır. Böylesine farklılıklar psikolojiktir. Biri uzağı görebilen, biri yakını görebilen iki kimse arasındaki fark ile sağır bir kimse ile işiten bir kimse arasındaki fark, fizyolojiktir. Bunların hiçbiri bizi ilgilendirmez, bu tür şeyleri konu dışında tutmak için bunları belirtiyorum. Bizi ilgilendiren salt fiziksel olanıdır, iki gözlemci arasındaki fiziksel ayrılıklar, gözlemcilerin yerine fotoğraf makinesi ya da bir başka tespit edici makine yerleştirildiğinde de aynı olacaktır ve bu ayrılıklar filme ya da bir gramofon plağına alarak tekrarlanabilir. Eğer iki adam, bir üçüncü adamın konuşmalarını dinliyorsa ve bunlardan biri, konuşmacıya ötekilerden daha yakın ise, konuşmacının yakınında bulunan, ötekine göre, konuşmaları daha yüksek sesle ve biraz daha erkence duyacaktır. Eğer iki kişi, bir ağacın devrilmesini birlikte seyrediyorlarsa, olayı değişik açılardan görürler. Bu her iki farklılık da, aynı şekilde, kaydedici araçlarla saptanabilir; bu farklılıklar herhangi bir şekilde gözlemcilerin özelliklerine bağımlı olmayan, deneyin yapıldığı sırada, fiziksel doğanın olağan akışının bir parçasıdırlar.

Fizikçi, sade bir insan gibi, algılarının sadece özel deneyleri konusunda değil, fiziksel dünyadaki gerçek oluş hakkında da bilgi verdiğine inanır. Mesleği gereği, fiziksel dünyaya

"gerçek" olarak bakar, insanoğlunun düşlediği bir şey olarak değil. Örneğin, güneşteki bir tutulma, konumu uygun olan herhangi bir kişi tarafından gözlenebilir ve aynı amaçla yerleştirilmiş bir fotoğraf levhası ile de saptanabilir. Fizikçi, güneşe ya da onun fotoğraflarına bakmış olanların deneyimlerinden daha başka ve daha fazla bir şeyler olduğuna inanır. Önemsiz, açık gözüken bu nokta üzerinde durmamın nedeni, kimilerinin Einstein'ın bu anlamda bir ayırım yapmış olduğunu sanmalarıdır. Gerçekte, böyle bir şey söz konusu değildir.

Ama eğer fizikçi, bir grup insanın "aynı" fiziksel oluşu gözleyebilecekleri kanısında haklı ise, o zaman açıktır ki, fizikçi, oluşun bütün gözlemciler için ortak olan bu nitelikleri ile ilgilenmek zorundadır. Öteki yanlarına ise, oluşun bizzat kendisine ait olduğu gözü ile bakılamaz. Fizikçinin, en azından, bütün "eşit derecede iyi" gözlemcilere ortak olan özellikler üzerine eğilmesi zorunludur. Mikroskop ya da teleskop kullanan gözlemci, kullanmayandan daha üstündür, çünkü o, kullanmayanın görebildiklerinin hepsini gördükten başka, daha fazlasını da görür. Duyarlı bir fotoğraf levhası, daha da iyi "görebilir" ve bu durumda gözden daha üstündür. Ama böyle şeyler, perspektif farklılığı ya da uzaklık farklılığından gelen görüntü büyüklüğündeki farklılıklar gibi şeylerin, nesnelerin kendilerinden gelmediği açıktır, bunlar sadece bakan kimsenin bakış açısına bağlıdır. Sağduyu, nesnelerin değerlendirilmesinde bunları ayıklar, fizik bu süreci daha da ileri götürmek zorundadır, ama ikisinde de ilkeler aynıdır.

Kusur sayılabilecek herhangi bir şeyin beni ilgilendirmediğini aydınlığa kavuşturmak istiyorum. Beni ilgilendiren, oluşlar arasındaki gerçek fiziki farklılıklardır ki, bunların her biri durumu açısından, belli bir olayın doğru bir tespitidir. Bir kimse, bir silahı ateşlediğinde, ona yeterince yakın olmayanlar, sesini duymadan önce, alevini görürler. Bu durum, onların duyularındaki bir eksiklikten değil, sesin ışıktan

daha yavaş yol aldığı gerçeğinden gelmektedir. Işık öylesine süratlidir ki, yeryüzündeki görüngüler açısından eşzamanlı olarak kabul edilir. Yeryüzünde gördüğümüz herhangi bir olay, hemen hemen, gördüğümüz bir anda olmaktadır. Işık, saniyede 186.000 mil (300.000 km) yol alır. Güneşten yeryüzüne ışık sekiz dakika dolaylarında ulaşır ve yıldızlardan bize, dört yıldan, bir milyon yıla kadar varan bir sürede gelir. Ama, elbette ki, güneşe bir saat yerleştiremeyiz ve Greenwich saatine göre, öğlenin 12'sinde bir ışık parıltısı göndererek, 12,8'de Greenwich'e ulaştığını saptayamayız. Işığın hızını tahmin etme yöntemimiz, az ya da çok dolaylı olmak zorundadır. En dolaysız yöntem, bir yansıtıcı kullanarak oradan yansımasını sağlamaktır. Bir aynaya bir ışık parıltısı gönderebilir ve yansıyarak ne kadar sürede bize geri ulaştığını saptayabiliriz; bu süre aynaya gidip geri dönmesindeki çift yolculuğun zamanı olacaktır. Bununla birlikte bu süre yeryüzünde pek işe yaramayacak kadar kısadır, onun için, fizikçiler, pratikte daha karmaşık bir yol kullanmak zorundadırlar, ama bu yolların da temel ilkeleri yansıma denilen şeye dayanır.

Zamanı ölçme yöntemleri şu günlerde öylesine kusursuzdur ki, bu işlem ışık hızını hesaplamak için değil, uzaklığı belirlemek için kullanılır. 1983 yılında yapılan uluslararası sözleşme gereği, "metre, ışığın boşlukta, bir saniyenin 1/299 792 458 süresinde aldığı yolun uzunluğudur". Fizikçi açısından, ışığın hızı, uzaklığı zamana dönüştüren bir faktör haline gelmiştir, tıpkı metre cinsi uzaklığı, yarda cinsinden uzaklığa çeviren 0,9144 faktörü gibi. Güneşin sekiz dakika uzaklıkta olduğunu ya da en yakın otobüs durağına saniyenin milyonda biri uzaklıkta olduğunu söylemenin eksiksiz bir anlam taşıdığı şimdi söylenebilir.

Bize denilebilir ki, gözleyicinin görüş açısını hesaba katma sorunu, fiziğin öteden beri tümüyle farkında olduğu bir sorundur; gerçekten de Copernicus zamanından beri astronomiye bu egemen olmuştur. Doğrudur bu. Ama ilkeler, ço-

ğu zaman, bütün sonuçları ortaya çıkarılmadan çok daha önce bilinir. Bütün fizikçilerce kuramsal olarak doğruluklarının kabul edilmiş olması gerçeğine karşın, geleneksel fiziğin çok yanı bu ilkeye ters düşer.

Felsefi düşünenleri rahatsız eden, ama pratik olarak çalıştıkları için, fizikçiler tarafından benimsenen bir kurallar yığını var olmuştur. Locke, "ikincil" nitelikleri –renkler, sesler, tatlar, kokular, vb.– öznel olarak ayırırken, "birincil" nitelikleri –biçim, konum ve hacim–, fiziksel nesnelerin gerçek özellikleri olarak kabul etmiştir. Fizikçilerin kuralları, bu öğretiyi izleyebilecek nitelikteydi. Renkler ve sesler, –ışık ya da ses dalgaları olabilir– kaynağından alıcının göz ya da kulağına belirli bir hızla ulaşan dalgalardan dolayı, öznel olarak kabul ediliyordu. Görünürdeki biçimler, perspektif yasalarına uygun olarak değişir, ama bu yasalar yalındır ve çeşitli görüntülerdeki biçimlerden "gerçek" biçimleri çıkarmayı kolaylaştırırlar; ayrıca "gerçek" biçimler, eğer cisim bizim yakınımızda ise, dokunularak doğrulanabilir. Fiziksel bir oluşun nesnel zamanı, –olanaklara göre, ışığın, ya da sesin, ya da sinir akımlarının– geçiş hızı hesaba katılarak, algıladığımız süreden çıkarılabilir. Meslek dışı zamanlardaki kuşkuları ne olursa olsun, fizikçiler tarafından pratikte benimsenen görüş budur.

Bu görüş, fizikçilerin yeryüzünde alışılmış hızlardan çok daha büyük hızlarla ilgilenmeye başlamalarına kadar iyi işledi. Bir ekspres treni dakikada bir mil kadar yol alabilir, gezegenler saniyede birkaç mil yol alırlar. Kuyruklu yıldızlar, güneşe yaklaştıkları zaman, çok daha hızlı yol alırlar, ama sürekli olarak biçimlerini değiştirdiklerinden, konumlarını tam bir doğrulukla saptamak mümkün değildir. Gezegenler, hemen hemen dinamiğin yeterli bir biçimde uygulanabileceği, en çabuk hareket eden cisimlerdir. Radyoaktivite ve kozmik ışınların bulunmasından sonra ve hele son zamanlarda, yüksek enerjili ivmelendirme makinelerinin yapılmasıyla, yeni gözlem olanakları doğdu. Işık hızından çok az farkla

hareket edebilen tek bir atom-altı taneciği gözlemlenebiliyor. Böylesine büyük hızlarla hareket eden cisimlerin davranışları, eski kuramlar yoluyla tahmin edeceğimiz cinsten değildir. Bir kere kütlenin çok belirgin bir biçimde, hıza bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bir elektron çok hızlı hareket ettiğinde, daha yavaş hareket ettiği zamankine göre, ona herhangi bir etki yapabilmek için, daha büyük bir kuvvete gereksinim vardır. Ayrıca, cismin boyutlarının, cismin hareketinden etkilendiğini düşünmek için nedenler bulunmaktadır; örneğin, eğer bir küpü alıp çok süratli olarak hareket ettiriyorsanız, onunla birlikte hareket etmeyen bir kimse açısından, küp, hareketi doğrultusunda kısalır, ama bizzat kendisine göre, yani onunla birlikte yol alan bir gözlemci açısından tıpkı eskisi gibi kalır. Bundan da şaşırtıcı olanı, zaman aralığının harekete bağlı olduğunun bulunması olmuştur, yani kusursuz doğrulukta olan iki saatin biri ötekine göre uzayda çok daha hızlı hareket ediyorsa, her ikisi yolculuktan sonra bir araya getirildiklerinde, artık aynı zamanı gösteremeyeceklerdir. Bu, bugüne kadar yapılan dolaysız deneylerde, çok küçük bir etki olarak kalmıştır, ama eğer uzay yolculuğunu geliştirmeyi başarırsak, deneyi gerçekleştirmemiz olanaklı olacaktır, çünkü o zaman, bu "zaman açılması" denen şeyin, oldukça göze çarpar bir hale gelmesi için, gereken uzunlukta yolculuklar yapmamız mümkün olacaktır.

Zaman açılması için bazı dolaysız kanıtlar vardır, ama farklı bir yolla bulunur. Bu kanıt, uzayın derinliklerinden gelen ve dünya atmosferi içinde çok hızlı hareket eden bir çeşit atom taneciklerinden oluşan kozmik ışınların gözlemlenmesinden ortaya çıkar. Mezon adı verilen bu taneciklerin bazıları seyrederken çözülürler ve bu çözülme gözlemle saptanabilir. Yeryüzünde bulunan bir bilginin bakış açısından, mezon hareketi çabuklaştıkça, çözülmenin uzadığı görülmüştür. Bu tür sonuçlardan, kişisel olmayan bilimin bir doruğu olarak kabul edilen saat ve ölçüm cetvelleriyle bulduğumuz şeyin, gerçek-

te bir yanıyla bizim kişisel ortamımıza, yani ölçülen cisimlerle bağıntılı olarak bizim hareket ediş biçimimize bağımlı olduğu ortaya çıkar.

Gözlemciye ait olan ile, gözlenen oluşa ait olanlar arasında ayırımı yaparken, alışılmış çizgiden farklı bir çizgi çekmemiz gerektiğini gösteriyor bu. Eğer bir kimse mavi gözlük takıyorsa, baktığı şeylerin mavi görünümlerinin gözlükten ileri geldiğini ve bu maviliğin baktığı şeye ait olmadığını bilir. Ama eğer ışığın iki parıltısını gözlüyor ve gözlemleri arasındaki zaman aralığını kaydediyorsa, eğer parıltıların olduğu yeri biliyorsa ve her durumda ışığın kendisine ulaşması için geçen süreyi hesaplıyorsa, bu durumda, eğer kronometresi doğru ise, doğal olarak, iki parıltı arasındaki gerçek zaman aralığını bulduğunu ve bunun sadece kendisine has olmadığını düşünür. Bu görüşünü, öteki bütün dikkatli gözlemcilerin bulgularının, kendi bulgusuyla bağdaşması, gerçeği kanıtlamaktadır. Ama bu yalnızca, bütün gözlemcilerin yeryüzünde bulunmaları ve yeryüzünün hareketini paylaşmaları gerçeğine dayanır. Ters yönde hareket eden uçaklarda bulunan iki gözlemci bile, saatte en fazla üç bin millik göreli bir hıza sahip olacaklardır ki bu, saniyede 186.000 mile (ışığın hızı) göre, çok küçük bir hızdır. Eğer saniyede 170.000 mil hız yapan bir elektron, iki parıltı arasında geçen zamanı gözlüyorsa, ışık hızını tümüyle hesaba aldıktan sonra, oldukça değişik bir tahmine ulaşacaktır. Okur bunu nasıl biliyorsunuz diye sorabilir. Siz bir elektron değilsiniz, bu müthiş süratle hareket edemezsiniz, bugüne kadar hiçbir bilim adamı, sizin önermenizin doğruluğunu kanıtlayacak gözlemler yapmamıştır. Yine de, sonra da göreceğimiz gibi, bu önerme için iyi bir taban vardır –her şeyden önce deneye dayanan bir taban– ve daha da ilginç olanı –her zaman yapılabilecek olan ama eski usavurmaların yanlış olması gerektiğinin– deneyle gösterilmesinden önce yapılmamış olan usavurma tabanı.

Rölativite kuramının başvurduğu ve sanıldığından da daha güçlü olan bir genel ilke var. Eğer iki kimseden birinin ötekinin iki katı zenginlikte olduğunu biliyorsanız, bu gerçeği aynı ölçüde, ya pound, ya dolar, ya frank, ya da herhangi bir para birimi ile ifade ediyorsunuz demektir. Zenginliklerini gösteren miktar değişecektir, ama bir miktar, ötekinin hep iki katı olacaktır. Benzer şey, fizikte çok daha karmaşık bir biçimde ortaya çıkar. Her hareket rölatif olduğuna göre, istediğiniz cismi referansınızın ölçüt cismi olarak alabilirsiniz ve bütün öteki hareketleri bu referansınıza göre değerlendirebilirsiniz. Eğer bir trendeyseniz ve yemek salonuna doğru yürüyorsanız, doğal olarak siz, o anda, treni sabit olarak kabul eder, hareketinizi buna bağlı olarak değerlendirirsiniz. Ama yapmakta olduğunuz yolculuk söz konusu olduğu zaman, dünyayı sabit olarak düşünür, saatte altmış mil hızla hareket ettiğinizi söylersiniz. Güneş sistemi ile ilgilenen bir astronom, güneşi sabit olarak alır, sizi dönüyor ve dolanıyor olarak görür; bu hareketle karşılaştırdığımızda, trenin hareketi o denli yavaştır ki, hesaba katılması bile zordur. Yıldızlar evreni ile ilgilenen bir astronom, güneşin hareketini, yıldızların ortalamasına rölatif olarak ekleyebilir. Bu hesaplama yollarından birinin ötekinden daha doğru olduğunu söyleyemezsiniz; her biri de, seçilen referans cismine göre, kusursuz ölçüde doğrudur. Şimdi, bir kimsenin servetiyle, bir başka kimsenin serveti arasındaki bağıntıyı değiştirmeksizin, aynı para birimiyle hesaplayabileceğimize göre, aynı şekilde bir cismin hareketinin başka hareketlerle bağıntılarını değiştirmeksizin, farklı referans cisimlerine göre hesaplayabilirsiniz. Ve fizik, tümüyle bağıntılarla ilgilendiğine göre, verilen bir cisim ölçüt alınarak ona göre bütün hareketler izah edilmek suretiyle, fiziğin bütün yasaları ifade edilebilir.

Sorunu bir başka şekilde de ele alabiliriz. Fizik, sadece değişik gözlemcilerin özel algılarından çıkan bilgileri değil, fiziksel dünyadaki gerçek oluşlar hakkında bilgi vermeyi

amaçlar. Bu nedenle fizik, fiziksel sürecin bütün gözlemcilerce ortak olan özellikleriyle ilgilenmek durumundadır, çünkü ancak bu tür özelliklerin fiziksel oluşun bizzat kendisine ait olduğu kabul edilebilir. Bu, ister görüngüler bir gözlemciye gözüktüğü gibi, ister bir ötekine gözüktüğü gibi açıklansın, görüngülerin *yasalarının* aynı olması gerektiği anlamına gelir. Bu tek ilke, bütün rölativite kuramının itici gücüdür.

Şimdiye dek, fiziksel oluşların uzamsal ve zamansal özellikleri diye baktığımız şeylerin, geniş ölçüde gözlemciye bağımlı oldukları görülmüştür, ancak çok az bir kalıntı olayın kendisine atfedilebilir ve yalnızca bu kalıntı, önsel olarak doğru olma şansına sahip herhangi bir fiziksel yasanın formülleştirilmesinde yer alabilir. Einstein, önünde, tensör kuramı adıyla bilinen, hazır, arı bir matematiksel araç buldu; bu araç, onun nesnel kalıntı diliyle ifade edilen ve eski yasalarla yaklaşık olarak bağdaşan yasaları ortaya çıkarmasını olanaklı kıldı. Einstein yasaları, eski yasalardan ayrılan yerlerde, deneyle bağdaşan pek çok şeyi kanıtlamıştır.

Eğer fiziksel dünyada gerçeklik olmasaydı da, çeşitli kimseler tarafından hayal edilen sadece birtakım düşler olsaydı, bir kimsenin düşünü, bir ötekinin düşüyle birbirine bağlayan herhangi bir yasayı bulmayı bekleyemezdik. Bir kimsenin algılarıyla, (kabaca) ona zamandaş olan, bir başkasının algıları arasında bulunan yakın ilişki, farklı ilişkili algıların ortak bir dış kaynağının varlığına bizi inandırmaktadır. Fizik, "aynı" olay dediğimiz değişik kimselerin algılamaları arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları hesaba katar. Ama bunu yapmak için fizikçi, önce benzerliklerin neler olduklarını ortaya çıkarmak zorundadır. Bunlar pek geleneksel olarak düşünüldüğü gibi değildir, çünkü ne uzay, ne de zaman birbirlerinden ayrı, kesinkes nesnel olarak alınamazlar. Nesnel olan, her ikisinin bir çeşit karışımı, "uzay-zaman" diye adlandırılanıdır. Bunu açıklamak kolay değildir, ama bunu açıklamaya girişilmelidir, bir sonraki bölümde buna girişilecektir.

3

Işığın Hızı

Rölativite kuramında en ilgi çekici şeyler, ışığın hızı ile ilişkilidir. Eğer okur böylesine önemli bir kuramsal kurgulamanın nedenlerini kavramak istiyorsa, eski sistemi parçalayıp dağıtan gerçekler konusunda biraz fikir sahibi olmak zorundadır.

Işığın belirli bir hızda geçtiği gerçeği, ilk önce astronomik gözlemlerle saptanmıştır. Jüpiter'in çevresindeki aylar, bazen Jüpiter tarafından tutulur, bu tutulmanın ne zaman olabileceğinin hesabı kolaydır. Jüpiter'in dünyaya yakın bulunduğu zaman, aylarından birinin tutulması halinde, tutulmanın beklenildiğinden birkaç dakika önce gözlemlendiği görülmüştür ve Jüpiter'in dünyadan uzak olduğu hallerde de, tutulmanın beklenilenden birkaç dakika sonra gözlemlendiği saptanmıştır. Bu sapmaların, ışığın belirli bir hıza sahip olduğunun varsayılmasıyla hesaplanabileceği görülmüştür, öyle ki, Jüpiter'de gözlemlediğimiz andaki olay, gerçekte kısa bir süre önce –Jüpiter uzakta ise, daha uzun bir süre önce– meydana gelmektedir. Güneş sisteminin öteki bölgelerinde de aynı olgular nedeniyle, ışık hızının aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle, ışığın *boşlukta*, her zaman belirli, sabit, saniyede 186.000 mil kadar bir hızla yol aldığı kabul edilmiştir (bir kilometre, bir milin sekizde beşi kadardır). Işığın dalgalardan oluştuğu kabul edildiğinde, bu hız esir içinde yayılan dalgaların hızıydı; en azından bu olayın esir içinde olduğu kabul ediliyordu.

Ama şimdi, dalga sözcüğü kalmakta devam etmesine karşın, esir bulanık bir şey haline geldi. Radyo dalgaları (ışık dalgalarına benzer ama biraz daha uzundur) ve x-ışınları (ışık dalgalarına benzer ama biraz daha kısadır) da aynı hızdadırlar. Yer çekimi yayılmasının da, bugün aynı hızla olduğu genel olarak kabul edilmektedir (rölativite kuramının bulunmasından önce, yerçekiminin ani olarak yayıldığı düşünülüyordu, ama şimdi bu görüş geçerliliğini yitirmiştir).

Şimdiye kadar her şey iyi gidiyordu. Ama daha sağlıklı ölçülerin yapılması olanağı ortaya çıkınca, zorluklar birikmeye başladı. Dalgaların esir içinde olduğu kabul ediliyordu ve bu nedenle dalgaların hızları esire göre rölatif olması gerekiyordu. Şimdi, esirin (eğer varsa) uzay cisimlerinin hareketlerine karşı herhangi bir direnç göstermediği açık olduğuna göre, esirin uzay cisimlerinin hareketini paylaşmadığını düşünmek doğal görünmektedir. Eğer dünya, geminin suyu önünde itmesi gibi, önündeki esiri itmek zorunda olsaydı, tıpkı suyun gemiye yaptığı gibi, esirin bir direnç göstereceği düşünülebilirdi. Onun için genel görüş, esirin herhangi bir zorluk çekmeden cisimlerin içlerinden geçebileceği şeklindeydi, tıpkı havanın kalburdan geçmesi, hatta daha da fazlası gibi. Eğer durum böyle ise, o zaman dünyanın kendi yörüngesinde esire göre bir hızı olmalıdır. Eğer, yörüngesinin herhangi bir noktasında, esirle tamamen birlikte hareket edecek olursa, öteki noktalarda esirin içinde daha çabuk hareket edecektir. Eğer rüzgârlı bir günde, dairesel bir yolculuğa çıktıysanız, hangi rüzgâr eserse essin, yolunuzun bir bölümünde rüzgâra karşı yürümek zorundasınız; bu durumda da aynı ilke vardır. Bundan ortaya çıkan şudur, altı aylık bir aralıkla seçilen iki günde, dünya, yörüngesinde hareket ederken, en az bu günlerin birinde, tam ters yönde bir esir-rüzgârına karşı hareket etmek zorunda kalacaktır.

Şimdi, eğer bir esir-rüzgârı var ise, açıktır ki, yeryüzünde bulunan bir gözlemciye rölatif olarak, ışık sinyalleri rüzgârla

birlikte giderlerken, çaprazlamasına gittiklerinden daha çabuk, çaprazlamasına gittiklerinde ise, ona karşı gideceklerinden daha çabuk yol alacaklardır. Michelson ve Morley'in ünlü denemelerinde ortaya çıkarmak istedikleri şey, işte budur. Bunlar, aralarında dik açı olacak şekilde iki yöne ışık sinyalleri gönderdiler, gönderilen sinyallerin her biri, iki aynada yansıtılarak ilk gönderilen yere tekrar dönmeleri sağlandı. Şimdi bir kimse, ister deneyle, ister birazcık aritmetikle kanıtlayabilir ki, bir nehirde, verilen bir uzaklığı akıntıya karşı kürek çekerek gidip gelmek için gereken zaman, aynı uzaklığı kıyıya dik olarak gidip gelmek için gereken zamandan daha uzundur. Bu nedenle, eğer bir esir-rüzgârı varsa, esir içindeki dalgalardan oluşan bu iki ışık sinyallerinden biri, ötekinden daha az ortalama süratle aynaya gidip geri dönecektir. Michelson ve Morley bu deneyi gerçekleştirdiler, deneyi değişik konumlarda tekrarladılar, daha sonra bir daha tekrarladılar. Kullandıkları aygıtlar, eğer böyle bir fark var idiyse, umdukları sürat farkını, hatta daha da ufak bir farkı saptayabilecek kadar sağlıklı idi, ama en ufak bir ayrıntı bile gözlenememişti. Sonuç, herkes için olduğu kadar, kendileri için de şaşırtıcıydı; ama çok dikkatli tekrarlar, herhangi bir kuşkuya olanak vermiyordu. Birinci deney, uzun süre önce, 1881 yılında yapılmıştı ve 1887'de, daha da geliştirilmiş olarak bir daha yinelendi. Ama sorunun doğru bir açıklamasının yapılabilmesi için aradan uzun yıllar geçti.

Bazı nedenlerle, dünyanın, çevresindeki esiri, hareketi ile birlikte götürdüğü kanısı olanak dışı görülmüştür. Bunun sonucu olarak fizikçilerin ilk önce çok keyfi varsayımlarla kurtulma yolunu aradıkları bir mantık çıkmazının doğduğu görüldü. Bunların en önemlisi, Lorentz tarafından geliştirilen, şimdi Lorentz büzülmesi olarak bilinen Fitzgerald varsayımdır.

Bu varsayıma göre, bir cisim hareket halinde ise, hızına bağlı olarak, hareketi doğrultusunda belirli bir oranda kısa-

lır. Kısalma miktarı, tam da Michelson-Morley deneyindeki olumsuz sonucu izah edecek kadardı. Nehirdeki yukarı ve aşağı doğru yapılan yolculuğun, yine nehrin çaprazlamasına yapılan yolculuktan gerçekten daha kısa olması gerekliydi, tıpkı daha yavaş ışık dalgalarının orayı aynı zaman içinde geçmesini olanaklı kılacak kadar kısa olması gibi. Elbette, bu kısalma, ölçümle hiçbir zaman açığa çıkarılamazdı, çünkü ölçü çubuklarımız da aynı şekilde etkilenecekti. Dünyanın hareket çizgisine yerleştirilen bir ölçüm cetveli, dünyanın hareketine dik açı ile yerleştirilen aynı ölçüm cetvelinden daha kısa olacaktı. Bu görüş, Beyaz Şövalye'nin "birinin sakalını yeşile boyayıp, onların gözükmemesi için her zaman geniş bir yelpaze kullanılması planından çok farklı değildir". İşin garibi, plan oldukça iyi bir şekilde işledi. Daha sonraları, Einstein özel rölativite kuramını geliştirdi (1905) ve görüldü ki, varsayım, belli bir anlamda doğrudur, ama sadece belli bir anlamda. Yani varsayılan kısalma, fiziksel bir olgu değildir, ama bir kez doğru görüş açısı bulunduktan sonra, aşağı yukarı benimsemeye zorlandığımız belli ölçü alışkanlıklarının sonucudur. Ama daha Einstein'ın bu bilmeceyi çözüm tarzını açıklamayı düşünmüyorum. Şimdilik açıklığa kavuşturmak istediğim, bilmecenin kendi niteliğidir.

Bununla ilgili olarak, bu zamana kadar olan varsayımlar bir yana, Michelson-Morley deneyi (ötekilerle bağıntılı olarak) gösterdi ki, dünyaya rölatif olarak, ışığın hızı her doğrultuda aynıdır ve güneş etrafında dönüşüyle dünyanın hareket doğrultusu sürekli değişmesine karşın, yılın her anında bu gerçek değişmemektedir. Ayrıca, bu durum, sadece dünyanın bir özelliği olarak görünmekle kalmamakta, bütün cisimler için geçerli olmaktadır; eğer bir ışık sinyali, bir cisimden dışarıya gönderilirse, bu cisim nasıl hareket ediyor olursa olsun, dalgalar dışarıya yayılırken cisim hep merkezde bulunacaktır; en azından cisimle birlikte hareket eden gözlemciler böyle göreceklerdir. Yapılan deneylerin yalın ve doğal anlamı

buydu ve Einstein, buna uygun gelen bir kuram bulmayı başardı. Ama ilk başta, bu yalın ve doğal anlamı benimsemek, mantıksal olarak olanak dışı görülüyordu.

Birkaç örnekleme, gerçeklerin ne denli garip olduklarını açıklığa kavuşturmaya yetecektir. Bir silahtan atılan mermi, sesten daha çabuk hareket eder: kendisine ateş edilen kimse, önce parıltıyı görür, sonra, (eğer şanslıysa) merminin geçişini görür ve en sonunda da sesini duyar. Açıkça görüleceği gibi, eğer merminin üzerine bilimsel nitelikte bir gözlemci yerleştirebilseydiniz, merminin sesini bu gözlemci hiç duymayacak ve ses ona yetişmeden önce, parçalanıp ölecekti. Ama eğer, ses, ışığın aynısı olan ilkelerle hareket etmiş olsaydı, gözlemcimiz sanki yerinde duruyormuş gibi her şeyi duyacaktı. Bu durumda, eğer yankıları yansıtabilecek nitelikte bir perde, mermiye iliştirilmiş ve onunla birlikte gitmiş olsaydı, diyelim merminin yüz yarda önünde, gözlemcimiz, sanki kendisi ve mermi duruyormuş gibi, aynı zaman aralığından sonra, perdeden yansıyan yankıyı duyacaktı. Elbette bu, uygulanması olanak dışı bir deneydir, ama uygulanabilecek nitelikteki başka deneyler, bu farkı gösterecektir. Tren yolu boyunca, uzakta bir yerden gelen yankının alınabileceği bir yer, yol üzerinde bulunabilir; diyelim ki, tren yolunun tünele girdiği bir yer ve tren giderken, tren yolunun kenarında bulunan bir kimse, silahını ateşlemiş olsun. Eğer tren, yankıya doğru gidiyorsa, yolcular yankıyı, yol üstünde duran adamdan daha erken duyacaklardır; eğer tren ters yöne gidiyorsa, yolcular daha sonra duyacaklardır. Ama bunlar Michelson-Morley deneyinin tam olarak öngördüğü koşullar değildir. Deneydeki aynalar yansıtıcıya karşılıktır, aynalar dünya ile birlikte hareket etmektedir, o yüzden yansıtıcının da trenle birlikte hareket etmesi gerekir. Tutalım ki, ateş, trenin en arka vagonundaki bekçi kulübesinden edilmiş olsun ve yankı lokomotifte bulunan bir perdeden yansıyarak gelsin. Lokomotif ile son vagon arasındaki uzaklığın sesin saniyede alabileceği yol

kadar (bir milin beşte biri kadar) ve trenin hızının, sesin hızının on ikide biri (saatte altmış mil) kadar olduğunu varsayacağız. Bu durumda trende bulunan kimseler tarafından gerçekleştirilebilecek bir deney var. Eğer tren duruyorsa, bekçi, yankıyı iki saniyede duyacaktır. Eğer tren hareket halindeyse, bekçi, iki artı 2/143 saniyede duyacaktır. Aradaki bu farktan, bekçi, eğer sesin hızını biliyorsa, yolun kenarını göremeyecek kadar sisli bir gece bile olsa, trenin hızını hesaplayabilir. Ama eğer ses, ışığın özelliklerini taşımış olsaydı, tren nasıl bir süratle gidiyor olursa olsun, yankıyı iki saniyede duyacaktır.

Değişik başka örnekler –görenek ve sağduyu açısından– ışığın hızı konusundaki gerçeklerin ne denli olağan dışı olduğunu göstermeye yardımcı olacaktır. Herkes bilir ki, yürüyen bir merdivende basamakları tırmanarak, olduğu yerde durmaktan daha tez yukarı çıkılır. Ama eğer merdiven, ışık hızı ile hareket ediyorsa (New York'ta bile olamaz bu), ister yukarı doğru basamaklarda yürüyün, isterseniz olduğunuz yerde kalın, yukarıya hep aynı sürede ulaşırsınız. Yine, eğer saatte dört mil hızla bir yolda yürüyorsanız ve saatte kırk mil yapan bir araba aynı yönde sizi geçiyorsa, bir saat sonra sizinle araba arasındaki uzaklık otuz altı mil olacaktır. Ama eğer araba, ters yönden, size karşı gelmiş ise, bir saat sonra aranızdaki uzaklık kırk dört mil olur. Şimdi, arabayı ışık hızı ile gidiyor kabul edecek olursak, arabanın size karşı gelmesi, ya da sizi arkadan gelip geçmesinde bir fark olmayacaktır; her iki halde de, bir saniye sonra, sizden 186.000 mil uzaklıkta olacaktır. Geçen o bir saniye içinde, daha az süratle gelip sizi geçen, ya da sizi karşılayan herhangi bir başka arabadan da 186.000 mil ötede olacaktır. Bu olanaksız gibi gözükmektedir. Araba, yolun birçok farklı noktalarından nasıl aynı uzaklıkta olabilir?

Bir başka örnek alalım. Durgun bir gölün yüzeyine dokunan bir sinek, daireler halinde, dışa doğru genişleyen titreşimlere yol açar. Dairenin herhangi bir anındaki merkezi, gölün sinek tarafından dokunulan noktasıdır. Eğer sinek, gölün

yüzeyinde o yana, bu yana hareket etmiş olsa, bu durumda, titreşimlerin merkezinde kalmaz. Ama eğer bu titreşimler, ışık dalgaları ve sinek de, becerikli bir fizikçi olsa, nasıl hareket ederse etsin, hep titreşimlerin merkezinde kaldığını görecektir. Bu sırada gölün kıyısında oturan deneyimli bir fizikçi, basit titreşimde olduğu gibi, sineğin merkez olmadığına, ama sineğin göle dokunduğu noktanın merkez olduğuna inanacaktır. Ve eğer bir başka sinek, aynı yerde ve aynı anda suyun yüzeyine dokunmuş olsaydı, kendisini birinci sinekten ne ölçüde ayırmış olursa olsun, o da titreşimlerin merkezinde kaldığını görecekti. Bu, Michelson-Morley deneyinin tam benzeridir. Göl, esire karşılıktır; sinek dünyaya karşılıktır; sineğin dokunması ve göl, Michelson ve Morley beylerin göndermiş oldukları ışık sinyallerinin karşılığıdır; titreşimler de ışık dalgalarının karşılığıdır.

Böylesine bir durum, ilk bakışta, oldukça olanaksız gözükmektedir. 1881 yılında yapılmış olmasına karşın, Michelson-Morley deneyinin, 1905 yılına kadar doğru olarak yorumlanmamış olmasına şaşmamak gerek. Şimdiye dek tam olarak ne söylediğimize bir göz atalım. Yolda yürüyen ve araba tarafından geçilen adamı ele alalım. Tutalım ki, yolun aynı noktasında, kimi yürüyen, kimi arabada bulunan bir insan topluluğu var, yine tutalım ki, bu insanların bir kısmı bir yöne, bir kısmı öteki yöne, değişik süratle gidiyorlar. Ben diyordum ki, eğer bu anda, bu insanların bulundukları yerden bir ışık parıltısı gönderilmiş olsa, herkesin kendi saatine göre bir saniye sonra, yolcuların hepsi de aynı yerde olmasalar bile, ışık dalgaları, her birinden 186.000 mil uzaklıkta olacaktır. Sizin saatinizle bir saniye sonra, sizden 186.000 mil ötede olacaktır, ışığın gönderildiği zaman sizinle karşılaşmış olan ve ama sizinle ters doğrultuda hareket eden kimsenin saatiyle bir saniye sonra, ondan da 186.000 mil ötede olacaktır; her iki saatin de kusursuz saatler olduklarını kabul ediyoruz. Nasıl olabilir bu?

Bu tür olguların ancak bir tek açıklama yolu vardır, bu da, saatlerin hareketle etkilendiklerini kabul etmektir. Ben bunun çok daha duyarlı saatlerin yapımıyla önlenecek bir şey olduğunu kastetmiyorum, çok daha temel bazı şeyler söylemek istiyorum. Diyorum ki, eğer iki olay arasında bir saatlik bir sürenin geçtiğini söylerseniz, eğer bu öneriniz ideal doğruluktaki kronometrelere ve en ideal dikkat gösterilerek yapılan ölçümlere dayanıyorsa, size göre rölatif olarak hareket eden, aynı dakiklikteki bir başka kişi, bu sürenin bir saatten fazla ya da eksik olduğunu söyleyebilir. Birinin yanlış, ötekinin doğru olduğunu ileri süremezsiniz; nasıl ki, biri Greenwich zamanını gösteren, öteki New York zamanını gösteren saat kullandığında, birine doğru, ötekine yanlış diyemezsek. Bunun nasıl olduğunu gelecek bölümde anlatacağım.

Işık hızı ile ilgili daha başka ilginç şeyler vardır. Bunlardan biri şudur ki, uygulanan kuvvet ne denli büyük olursa olsun ve bu kuvvet ne kadar süreyle etkilerse etkilesin, hiçbir maddi cisim ışığın süratine erişemez. Bir örnekleme bunu aydınlatmaya yardımcı olabilir. Sergilerde, daire halinde sürekli dönen bir platform dizisi görülebilir. Dışta bulunan birinin hızı saatte dört mildir, ondan sonraki birinciden saatte dört mil daha hızlı döner ve bu böyle sürer. Çok büyük bir hıza erişinceye dek, bir platformdan ötekine atlayabilirsiniz. Şimdi, eğer birinci platform saatte dört mil yapıyor ve ikincisi birincisine göre saatte dört mil yapıyorsa, o zaman ikincisi yere göre saatte sekiz mil sürat yapıyor diye düşünebilirsiniz. Bu, bir hatadır; biraz daha az yapar, ama öylesine azdır ki, bu farkı en dikkatli ölçümler bile ortaya koyamaz. Ne demek istediğimi iyice açıklığa kavuşturmak istiyorum. Sabahleyin, aygıt çalışmaya başlayacağı sırada; ellerinde ideal doğrulukta kronometreleriyle birbiri ardında dizili duran üç kişi düşüneceğim, biri yerde, ikincisi birinci platform üzerinde, üçüncüsü ise ikinci platformda bulunsunlar. Birinci platform, yere göre saatte dört mil süratle hareket ediyor. Saatte dört mil, daki-

kada 352 ayak eder. Yerdeki adam, kendi saatiyle bir dakika sonra, hareket halindeki birinci platform üzerinde duran adamın bulunduğu yerin tam karşısını, yer üzerinde işaretliyor. Yerdeki adam, birinci platformdaki adamın karşısına düşen yerdeki işaret edilen nokta ile kendisi arasındaki uzaklığı ölçüyor ve 352 ayak olduğunu görüyor. Birinci platformdaki adam kendi saatiyle bir dakika sonra, ikinci platformdaki adamın bulunduğu noktayı, kendi platformu üzerinde işaretliyor. Birinci platformdaki adam, ikinci platformda bulunan adamın karşısındaki nokta ile, kendisi arasındaki uzaklığı ölçüyor ve yine 352 ayak olduğunu görüyor. Problem; yerdeki adama göre, ikinci platformda bulunan adam, bir dakikada ne kadar yol almış olacaktır? Yani, eğer yerdeki adam, kendi saatiyle bir dakika sonra, ikinci platformdaki adamın karşısına düşen noktayı kaydetmiş ise, yerdeki adam ile ikinci platformdaki adam arasındaki uzaklık ne kadardır? Siz 352 ayağın iki katı, yani 704 ayak olduğunu söyleyeceksiniz. Ama gerçekte fark edilemeyecek kadar az olmasına rağmen, biraz daha az olmasına rağmen, biraz daha az olacaktır. Farklılık, her iki saatin de sahipleri yönünden çok dakik olmaları gerçeğine karşın, saatlerin tam zamanı göstermemelerinden ileri gelmektedir. Eğer; böylesine her biri bir öncekine göre saatte dört mil sürat ile hareket eden platformlardan uzun bir dizi elimizde olsaydı, en sondakinin yere rölatif olarak ışık hızına erişen bir hıza, bunlardan milyonlarcası bile olsa, ulaşması olanağı olmayacaktı. Küçük hızlar için, çok küçük olan bu fark, hız arttıkça büyür ve ışık hızını, erişilmez bir limit haline getirir. Bundan sonraki konumuzda, bunların nedenleri üzerinde durmamız gerekiyor.

4

Saat ve Ölçüm Cetvelleri

Rölativitenin özel kuramının ortaya çıkışına dek, ayrı yerlerdeki iki ayrı olayın aynı zamanda olması görüşünde herhangi bir anlaşılmazlığın olabileceğini kimse aklına getirmiyordu. Kabul edilebilirdi ki, eğer bu iki yer birbirlerinden çok uzakta iseler, olayların zamandaş olup olmadıklarının saptanmasında güçlük çıkabilir, ama herkes bu sorunun anlamının tam bir açıklık içinde olduğunu sanmıştı. Oysa bunun bir hata olduğu anlaşıldı. Birbirlerinden uzak yerlerde olan iki olay, doğruluğundan hiç kuşkulanmamak için bütün ayrıntıları göz önünde tutmuş olan (ve özel olarak ışığın hızını da hesaba katmış olan), bir gözlemciye zamandaş gözükebilirken, ayrı duyarlığı gösteren bir başka gözlemci, birinci olayın ikincisinden sonra olduğu kanısına varabilir ve yine bir başkası da, ikincinin birinciden önce olduğu sonucuna varabilir. Eğer üç gözlemci birbirine göreli olarak hızla hareket ediyorlarsa, böyle olacaktır. Birinin doğru, öteki ikisinin yanlış olması durumu söz konusu olmayacak, hepsi de eşit ölçüde doğru olacaktır. Olayların zaman sıralaması, bir yanıyla gözlemciye bağımlıdır, bu sıralama, her zaman ve bütünüyle, olayların kendi aralarındaki gerçek bir ilişki değildir. Rölativite kuramı, bu görüşün, sadece görüngüler için geçerli değil, aynı zamanda eski verilere dayanan dikkatli nedenlemelerden çıkan sonuçlar için de geçerli olduğunu gösterdi. Bununla birlikte,

gerçekte insanların nedenleme gücüne, deneyin bu garip sonuçları bir dürtü verene dek, rölativite kuramının mantıksal tabanı kimsenin dikkatini çekmedi.

Ayrı yerlerde bulunan iki olayın zamandaş olup olmadığına, doğru olarak nasıl karar vereceğiz? Bir kimse doğal olarak diyecektir ki; eğer olaylar, ikisi arasındaki tam orta yerde bulunan biri tarafından zamandaş olarak görülüyorsa, bu olaylar zamandaştır. (Aynı yerde olan iki olayın zamandaşlığında herhangi bir güçlük yoktur; örneğin, bir ışığı görme, bir sesi duyma gibi.) Tutalım ki, iki ışık parıltısı ayrı iki yere, diyelim Greenwich Gözlemevi ve Kew Gözlemevi'ne düşüyor. St. Paul's, aralarındaki yarı yol olsun ve parıltılar, St. Paul's'un kubbesindeki bir gözlemciye zamandaş olarak görünsünler. Bu durumda, ışığın aradaki uzaklığı alması için geçen süre nedeniyle, Kew'deki adam, Kew'deki parıltıyı önce görecek ve Greenwich'teki adam da, Greenwich'teki parıltıyı önce görecektir. Ama her üçü de, eğer ideal anlamda kusursuz gözlemcilerse, ışığın geçiş zamanını hesaba katacaklarından, iki parıltının zamandaş oldukları sonucuna varacaklardır. (Ben burada insan gücünün ötesinde bir kusursuzluk derecesi varsayıyorum.) Böylece, yeryüzündeki olaylarla uğraştığımız sürece, yeryüzündeki gözlemcileri ilgilendirdiği kadarıyla, zamandaşlık tanımı, yeterince iyi işleyecektir. Bu tanım birbirleriyle tutarlılık içinde olan sonuçlar verir ve dünyanın hareket ettiği gerçeğini görmezlikten gelebileceğimiz yersel fiziğin bütün problemlerinde kullanılabilir.

Ama birbirlerine göreli olarak hızla hareket eden iki gözlemci söz konusu olduğunda, bu tanımımız artık yeterince doyurucu değildir. Diyelim ki, ışığın yerine sesi koyduğumuzda ne olacağına bakıyoruz ve ikisinin ortasında bulunan biri tarafından aynı anda işitildiğinde, iki olguyu zamandaş olarak tanımlıyoruz. Bu, ilkede herhangi bir değişiklik yapmaz, ama sesin çok yavaş olan hızı nedeniyle, durumu kolaylaştırır. Tutalım ki, bir haydut çetesinin iki adamı, sisli bir

gecede, trenin makinist ve bekçisine ateş etmiş olsunlar. Bekçi trenin en sonundadır; haydutlar kurbanlarıyla aynı hizadayken ve yakından ateş ediyorlar. Trenin tam orta yerinde bulunan bir yolcu, iki atışı da aynı zamanda duyuyor. Bu durumda iki atışın zamandaş olduğunu söyleyeceksiniz. Ama iki haydudun arasında tam orta yerde bulunan istasyon şefi, önce bekçiyi öldüren atışı duyuyor. Bekçinin de, makinistin de teyzesi olan (bunlar kuzendirler) Avustralyalı milyoner, bütün servetini bekçiye, ya da eğer önce öldüyse, makiniste bırakacaktır. Hangisinin önce öldüğü sorunu, büyük miktarda para demektir. Dava Lortlar Kamarası'na gidiyor ve tarafların Oxford diplomalı avukatları, ya yolcunun, ya da istasyon şefinin yanlış yapmış olabilecekleri kanısında görüş birliğine varıyorlar. Gerçekte, her ikisi de kusursuz denecek kadar doğru olabilirler. Tren, bekçiye yapılan atıştan uzaklaşmakta ve makiniste yapılan atışa doğru yaklaşmaktadır; o yüzden bekçiye yapılan atışın sesinin yolcuya ulaşabilmesi için, makiniste yapılan atışın sesinden daha çok yol alması gerekir. Bu yüzden, iki sesi aynı zamanda duyduğunu söyleyen yolcu haklı ise, istasyon şefi de önce bekçiye yapılan ateşi duyduğunu söylemekte haklı olmalıdır.

Biz, yeryüzünde yaşayanlar, böyle bir durumda, doğal olarak yerde duran bir kimsenin zamandaşlık konusundaki görüşünü trende giden bir kimsenin görüşüne tercih ederiz. Ama kuramsal fizikte, böylesine sınırlı önyargıların yeri yoktur. Bir kuyruklu yıldızda bulunan bir fizikçinin –eğer öyle biri bulunsaydı– dünya üzerinde duran bir fizikçi gibi, kendine göre bir zamandaşlık görüşüne sahip olma hakkı olacak, ama sonuçlar değişecektir; tıpkı bizim tren ve atış örneklerinde olduğu gibi. Tren, hareketinde, dünyadan daha "gerçek" değildir, onun için "gerçekten" olmak söz konusu değildir. Bir tavşan ile bir hipopotamın, insanın "gerçekten" büyük bir hayvan olup olmadığı konusunda tartıştıklarını düşününüz; her biri kendi görüş açısının doğal, ötekinin hayal olduğunu

sanır. Bu tartışma, trenin mi, yoksa dünyanın mı "gerçekten" hareket içinde olduğunu tartışmak kadar özden yoksundur. Ve bu yüzden biz, birbirlerinden uzakta bilinen olayların zamandaşlığını tanımlarken, aralarındaki yarı yol noktasını tanımlamak için, çeşitli cisimler içinden seçim yapmak hakkına sahip değiliz. Her cismin seçilmekte eşit hakkı vardır. Ama eğer, bir cisim için, tanıma göre iki olay, zamandaşsa, birincinin ikinciden önce geldiği başka cisimler olacaktır ve yine ikincinin birinciden önce geldiği öteki cisimler de olacaktır. Onun için birbirlerinden uzakta bulunan iki olayın zamandaş olduklarını tam bir açıklık içinde söyleyemeyiz. Böylesine bir önerme ancak belirli bir gözlemciye göre, belirli bir anlam kazanır. Bu, fiziksel olguyu gözlememizin öznel yanıyla ilgilidir, fizik yasaları içine giren nesnel bir yanı yoktur.

Farklı yerlerdeki zaman sorunu, imgeleme yönünden, belki de rölativite kuramının en zor yanıdır. Her şeyin tarihlendirilebileceği düşüncesine alışkınız. Tarihçiler, MÖ 776 yılının 29 Ağustos'unda, Çin'de görülebilen bir güneş tutulması olduğu gerçeğini saptamışlardır.[3] Kuşku yok ki, Kuzey Çin'in belirli bir bölgesinde tutulmanın başladığı saat ve dakikayı astronomlar tam bir doğrulukla söyleyebilirlerdi. Belirli bir anda, gezegenlerin yasalarından söz edebilmemiz açık gibi görünmektedir. Newtoncu kuram, dünya ile (diyelim) Jüpiter arasındaki uzaklığı, Greenwich saatiyle, belli bir zamanda hesaplamamızı olanaklı kılar; bu, ışığın Jüpiter'den dünyaya ne kadar zamanda geldiğini bilmemize yardımcı olur, diyelim yarım saat; bu da gördüğümüz andaki Jüpiter'in, yarım saat önce, nerede olduğunu belirlememize yardımcı olur. Bütün bunlar açık gibi gözükmektedir. Ama gerçekte sadece pratikte geçerlidir bunlar, çünkü ışık hızı ile karşılaştırıldıklarında gezegenlerin göreli hızları çok küçüktür. Biz, yeryüzündeki

3 O zamanın bir Çin şiiri, yılın gününü doğru olarak verdikten sonra, şöyle devam etmektedir: "Ayın tutulması / Artık olağandır / Şimdi de güneş tutuldu / Ne kötü!"

bir olayla, Jüpiter'deki bir olayın aynı zamanda oluştukları kanısına varırken –örneğin Greenwich saati gece yarısı on ikiyi gösterirken, aylarından biri Jüpiter tarafından tutuluyor– dünyaya göreli olarak hızla hareket eden bir kimsenin yargısı, onun ve bizim ışığın hızını hesaba kattığımızı da varsayarak, farklı olacaktır. Ve doğal olarak zamandaşlık konusundaki anlaşmazlık, zamanın periyotları konusundaki bir anlaşmazlığı içerir. Eğer biz, Jüpiter'deki iki olayın yirmi dört saat süreyle birbirlerinden ayrıldıkları yargısına varıyorsak, Jüpiter ve dünyaya göre daha hızla hareket eden bir başkası, iki olayın daha uzun bir zaman ile birbirlerinden ayrıldıkları yargısına varacaktı.

Şimdiye kadar kabul edilegelmiş olan evrensel kozmik zaman, böylece artık geçerli olmamaktadır. Her cismin, çevresinde bulunan olaylar için belirli bir zaman-sıralaması vardır; bu, bu cisim için "öz" zaman olarak adlandırılabilir. Bizim kendi deneyimimiz, kendi cismimize uygun zaman tarafından yönetilir. Hepimiz, yeryüzünde, hemen hemen durağan olarak kaldığımıza göre, farklı insanların öz zamanları birbirleriyle çakışır ve yersel zaman olarak bir araya toparlanabilir. Ama bu sadece yeryüzündeki *büyük* cisimlerle bağdaşan zamandır. Laboratuvarlardaki, beta tanecikleri (elektronlar) için, oldukça farklı zamanlara gerek vardır; kendi zamanımızı kullanmakta direndiğimizden, bu tanecikler hızlı hareketleriyle kütlelerini artırıyor görünürler. Onların kendi açılarından, kütleleri sabit kalır ve birdenbire incelmiş olan ya da şişmanlamış olan bizim kendimizdir. Bir beta taneciği tarafından gözlemlenen bir fizikçinin öyküsü, Gulliver'in yolculuğuna çok benzeyecektir.

Şimdi ortaya şu soru çıkmaktadır; gerçekte saatle ölçülen nedir? Rölativite kuramında, saatten söz ettiğimizde, yalnızca insan eliyle yapılan saatleri değil, bazı düzenli periyodik oluşlar geçiren her şeyi kastediyoruz. Dünya bir saattir, çünkü her yirmi üç saat elli altı dakikada bir, kendi etrafında dön-

mektedir. Atom bir saattir, çünkü çok belirli titreşimlerdeki ışık dalgalarını yayar; bunlar atom spektrumunda parlak çizgiler halinde görülür. Dünya periyodik olaylarla doludur ve temel yapıları, atomlarda görüldüğü gibi, evrenin çeşitli yerlerinde olağanüstü bir benzerlik gösterirler. Bu periyodik olaylardan herhangi biri, zaman ölçümünde kullanılabilir, insanoğlunun yapmış olduğu saatlerin tek üstünlüğü, özellikle kolay gözlenebilmesidir. Bununla birlikte, ötekilerinden bazıları daha sağlıklıdır. Bugünlerde, sezyum atomları ve amonyak moleküllerinin belirli koşullar altında yaydıkları kısa radyo dalgaları, dünyanın kendi etrafında dönmesine dayandırılandan daha düzgün zaman ölçümü standartlarının saptanmasında kullanılmaktadır. Ama soru olduğu gibi durmaktadır daha; eğer kozmik zaman terk edilirse, demin tanımladığımız geniş anlamıyla saatle ölçülen şey gerçekte nedir?

Her saat, şimdi göreceğimiz gibi, önemli bir fiziksel nicelik olan, kendi "öz" zamanının doğru bir ölçümünü verir. Ama ona göre daha çabuk hareket eden cisimlerdeki olaylarla ilişkili herhangi bir fiziksel niceliğin doğru bir ölçümünü vermez. Böyle olaylarla bağıntılı fiziksel bir niceliğin bulunmasına yönelik bir veri sağlar, ama bir başka veri gerekmektedir, bu veri uzaydaki uzaklıkların ölçümlerinden elde edilebilir ancak. Uzaydaki uzaklıklar, zaman periyotları gibi, genellikle nesnel fiziksel gerçekler değillerdir, bir yanları ile gözlemciye bağımlıdırlar. Şimdi açıklanması gereken, bunun nasıl olduğudur.

Her şeyden önce, iki cisim arasındaki değil, iki olay arasındaki uzaklığı düşünmek zorundayız. Zamanla ilgili bulgularımızdan hemen bu sonuç çıkar. Eğer iki cisim, birbirlerine göreli olarak hareket ediyorlarsa –ve gerçekte olan her zaman budur– aralarındaki uzaklık sürekli olarak değişecektir, bu yüzden biz, ancak verilen bir zamanda, aralarındaki uzaklıktan söz edebiliriz. Eğer Edinburgh'a doğru bir trenle yolculuk yapıyorsanız, Edinburgh'la aranızdaki uzaklık, verilen bir zamanda söz konusu olabilir. Ama önce de dediğimiz

gibi, trendeki bir olay ve Edinburgh'daki bir olayın "aynı" zamanda olması konusunda, farklı gözlemciler, farklı yargılara varacaklardır. Bu, uzaklıkların ölçümünü göreli yapmaktadır, tıpkı zaman ölçümlerinin göreli olduklarının bulunması gibi. Hepimiz, iki olay arasında, iki çeşit aralık, biri uzay aralığı, öteki zaman aralığı olduğunu düşünürüz. Londra'dan hareketimizle, Edinburgh'a varışımız arasında, dört yüz mil ve on saat vardır. Önceden de belirttiğimiz gibi, bir başka gözlemci, zamanı daha farklı değerlendirecektir, uzaklığı farklı değerlendireceği daha da açıktır. Güneşteki bir gözlemci, trenin hareketini son derece önemsiz sayacak, yolculuğumuzu, dünyanın yörüngesinde ve günlük dönüşüyle aldığı yolla değerlendirecektir. Öte yandan vagonda bulunan bir pire, sizin, uzayda hiç hareket etmediğiniz kanısına varacak, ama Greenwich Gözlemevi'nin değil de, kendi "öz" zamanıyla ölçeceği bir süre ona zevk verdiğiniz kanısını taşıyacaktır. Sizin, ya da güneşlinin, ya da pirenin yanıldığı söylenemez; her biri aynı ölçüde haklıdır ve ancak öznel ölçülerine, nesnel bir geçerlik yükümlüyorlarsa hatalıdır. Uzayda iki olay arasındaki uzaklık, bu yüzden, kendi içinde fiziksel bir gerçek değildir. Ama, göreceğimiz gibi, zamandaki uzaklıkla birlikte, uzaydaki uzaklıktan çıkarılabilecek fiziksel bir gerçek vardır. Bu, uzay-zaman içinde "aralık" adı verilen şeydir.

Evrende herhangi iki olay alındığında, aralarındaki ilişkiler açısından, farklı iki olasılık vardır. Bir cismin, her iki olayda da var olacak şekilde hareket etmesi, fiziksel olarak ya olanaklıdır ya da olanaklı değildir. Bu, hiçbir cismin ışık kadar hızlı yol alamayacağı gerçeğine dayanır. Örneğin, yerden bir ışık parıltısı göndererek ayda yansıyıp geri dönmesinin olanaklı olduğunu düşünelim. Parıltının gönderilip yansıtılarak geri dönmesi arasında geçen süre, iki buçuk saniye kadar olacaktır. Hiçbir cisim bu iki buçuk saniyenin hiçbir bölümünde, hem yerde hem de parıltının ulaştığı anda ayda hazır bulunacak kadar çabuklukta yol alamayacaktır; çünkü bunu

başarabilmek için cisim, ışıktan daha hızlı yol almak zorundadır. Ama kuramsal olarak, bir cisim, bu iki buçuk saniyeden önce, ya da sonraki bir anda yerde hazır bulunabilir ve yine parıltının ulaştığı anda da ayda hazır bulunabilir. Bir cismin her iki olayda da var olacak şekilde hareket etmesi fiziksel olarak olanaksız ise, iki olay arasındaki aralığa[4] "uzaysal" diyeceğiz; bir cismin her iki olayda da var olması fiziksel olarak olanaklı ise, iki olay arasındaki aralığa "zamansal" diyeceğiz. Aralık, "uzaysal" olduğu zaman, cisim öylesine bir yolda hareket edebilir ki, cismin üstünde bulunan bir gözlemci iki olayın zamandaş olduğu kanısına varır. Bu durumda iki olay arasındaki "aralık", böyle bir gözlemcinin saptadığı, uzaydaki iki olayın arasındaki uzaklıktır. Aralık "zamansal" olduğunda, bir cisim her iki olayda da var olabilir; bu durumda, iki olay arasındaki aralık, cismin üstünde bulunan gözlemcinin, aralarında saptadığı zamandır, yani iki olay arasındaki gözlemcinin "öz" zamanıdır. İki olay bir ışık parıltısının bölümleri olduğu zaman –ya da diyebiliriz ki, bir olay ötekinin bir sonucu ise– ikisi arasında bir limit durumu vardır. Bu durumda iki olay arasındaki aralık, sıfırdır.

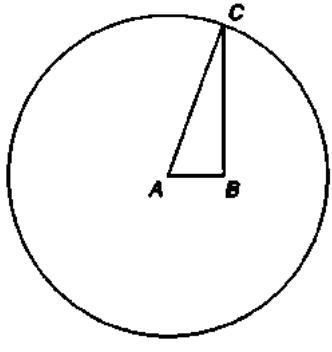
Böylece üç durum söz konusudur. (1) Bir ışık ışınının her iki olayda da var olması mümkün olabilir; bu, biri ötekinin sonucu olduğu zaman olur. Bu durumda ikisi arasındaki aralık sıfırdır. (2) Bir olaydan ötekine kimse gidemeyebilir, çünkü bunu başarabilmesi için, ışıktan daha hızlı gitmesi gerekir. Bu durumda, cisim üzerindeki gözlemcinin iki olayın zamandaş olduğunu kabul edebileceği bir biçimde, cismin hareketi fiziksel olarak her zaman olanaklıdır. Gözlemcinin değerlendireceği aralık, iki olay arasında, uzaydaki uzaklıktır. Böyle bir aralık "uzaysal" olarak adlandırılır. (3) Bir cismin, iki olayda da var olabileceği şekilde hareket etmesi fiziksel olarak mümkün olabilir, bu durumda, aralarındaki aralık,

4 Biraz sonra "aralık"ı açıklayacağım.

cismin üzerindeki gözlemcinin, iki olay arasında saptadığı zamandır. Böyle bir aralık, "zamansal" olarak adlandırılır.

İki olay arasındaki aralık, onların fiziksel bir gerçeğidir, gözlemcinin özel koşullarıyla bağımlı değildir.

Rölativite kuramının iki biçimi vardır, özel ve genel. İlki, genellikle sadece yaklaşıktır, ama çekici maddelerden çok uzaklarda kesinliğe çok yaklaşır. Çekim ihmal edilebildiği zaman, özel kuram uygulanabilir ve o zaman iki olay arasındaki aralık, herhangi bir gözlemci tarafından tahmin edilen uzay ve zaman uzaklığı bilindiğinde, hesaplanabilir. Eğer uzaydaki uzaklık ışığın bu zamanla alacağı uzaklıktan büyük ise, ayrılma uzaysaldır. Bu durumda yanda gösterilen şekil, iki olay arasındaki aralığı verir: Bu zaman içinde ışığın alabileceği uzaklık kadar bir AB doğrusu çizelim. A merkez olmak üzere, yarıçapı uzayda iki olay arasındaki uzaklık alınarak bir daire çizelim. B noktasından, AB'ye bir dik çıkararak, daireyi C noktasında kesecek şekilde, diki uzatalım. Bu durumda BC, iki olay arasındaki aralığın uzunluğu olur.



Uzaklık zamansal olunca, aynı şekil kullanılır; şimdi AC ışığın zaman içinde alacağı uzaklık olurken, AB iki olayın arasındaki uzay uzaklığıdır. Aralarındaki aralık, bu kez ışığın BC uzaklığını alması için gerekli olan zamandır.

AB ve AC, farklı gözlemcilere göre değişmesine karşın, genel kuram ile düzeltilmiş olması kaydıyla, BC, bütün gözlemciler için aynı uzunluktadır. Bu, eski fiziğin uzay ve zaman içindeki iki aralığın yerini alan, "uzay-zaman" içindeki bir aralığı temsil eder. Buraya kadar, aralık kavramı gizemli bir şeymiş gibi görünebilir, ama ilerledikçe bu görünüş zayıflayacak ve şeylerin yapısında bulunma nedeni giderek açıklık kazanacaktır.

5

Uzay-Zaman

Rölativiteyi duymuş olan herkes "uzay-zaman" cümleciğini bilir ve eskiden "uzay ve zaman" diyebileceğimiz cümlecik yerine, bunu kullanmanın daha doğru olduğunu da bilir. Ama matematikçi olmayan çok az insan, bu anlatım değişikliğinin ne anlama geldiği konusunda açık bir fikre sahiptir. Özel rölativite kuramı konusunda derinliğine inmeden önce, bu yeni "uzay-zaman" cümleciğinin kapsamıyla ilgili olarak okuru aydınlatmak istiyorum, çünkü bu, felsefi ve imgesel bakış açısından, Einstein'ın getirdiği bütün yeniliklerin, belki de en önemlisidir.

Tutalım ki siz, bir olayın nerede ve ne zaman olduğunu –diyelim bir hava aracındaki patlamayı– söylemek istiyorsunuz, burada dört niceliği, enlemi, boylamı, yerden yüksekliği ve zamanı belirtmek zorunda kalacaksınız. Geleneksel anlayışa göre, bunlardan ilk üçü, uzaydaki konumu verirken, dördüncüsü zaman içindeki konumunu verir. Uzay içindeki konumu veren üç nicelik, çok çeşitli yolda saptanabilir. Örneğin ekvatordan geçen düzlemi, Greenwich'ten geçen boylam düzlemini ve 90. boylamın düzlemini alabilir ve uçağın bu düzlemlerden ayrı ayrı uzaklıklarını söyleyebilirsiniz; bu üç uzaklık Descartes'a dayanılarak "kartezyen koordinatlar" adını verdikleri şey olacaktır. Birbirine dik açılı herhangi üç düzlemi alabilirsiniz, yine bu durumda kartezyen koordinat-

larınız vardır ya da uçaktan inen dikin ayağı ile Londra arasındaki uzaklığı, bu uzaklığın yönünü (kuzeydoğu, batı, güneybatı ya da ne ise) ve uçağın yerden yüksekliğini de alabilirdiniz. Uzaydaki konumu saptamak için böylesine sayısız yollar vardır, bunların hepsi de aynı ölçüde geçerlidir; birinden birinin seçimi sadece kullanışlılığına bağlıdır.

İnsanlar, uzayın üç boyutlu olduğunu söylediklerinde sadece şunu demek istiyorlardı: Uzayda bir noktanın konumunun belirlenmesi için üç nicelik gereklidir, ama bu niceliklerin seçim yöntemi bütünüyle isteğe bağlıdır.

Zamanla ilgili olarak, sorunun oldukça farklı olduğu düşünülüyordu. Zamanın saptanmasındaki keyfi olan öğeler, sadece birim ve saptamanın başladığı zaman noktası idi. Bir kimse, Greenwich zamanına ya da Paris zamanına, ya da New York zamanına göre düşünebilirdi; bu, hareket noktası konusunda bir farklılık getiriyordu. Zamanı bir kimse, saniyelerle, dakikalarla, saatlerle, günlerle, ya da yıllarla saptayabilirdi, bu, birimde olan bir farklılıktı. Bunların her ikisi de açık ve önemsiz şeylerdir. Uzayda konumun saptanması yöntemiyle ilgili olarak seçme özgürlüğünü verebilecek hiçbir şey yoktu. Ve özellikle uzayda konumun saptanma yöntemi ve zamanda konumun saptanma yönteminin, tümüyle birbirlerinden bağımsız olarak uygulanacağı düşünülürdü. Bu nedenlerle insanlar, zaman ve uzaya birbirlerinden iyice ayrı oldukları gözüyle bakıyorlardı.

Rölativite kuramı bunu değiştirdi. Şimdi, zaman içinde konumun saptanmasının farklı birçok yolları vardır, ki bu yollar, sadece birim ve başlangıç noktalarına göre farklılaşmakla kalmaz. Gerçekten de görmüş olduğumuz gibi, bir saptamada bir olay bir başkası ile zamandaş ise, başka birinde, ondan önce gelir, bir üçüncüsünde, onu izler. Öte yandan uzay ve zaman saptaması, artık birbirlerinden bağımsız değildir. Eğer siz uzayda konum saptaması yöntemini değiştiriyorsanız, aynı şekilde iki olay arasındaki zaman-aralığını da değiştire-

bilirsiniz. Eğer zaman saptanım yöntemini değiştiriyorsanız, uzayda iki olay arasındaki uzaklığı da değiştirebilirsiniz Böylece, uzay ve zaman, uzayın üç boyutunda olduğu gibi birbirlerinden bağımsız değildirler. Bizim, bir olayın konumunu saptamada, gene dört niceliğe gereksinimimiz vardır, ama dördün birini, önce olduğu gibi, öteki üçünden tümüyle bağımsız olarak ayıramayız.

Zaman ve uzay arasında artık herhangi bir ayırım yoktur demek, tam olarak doğru değildir. Önceden de görmüş olduğumuz gibi, zamansal ve uzaysal aralıklar vardır. Ama bu ayırım, eskiden benimsenen ayırımdan farklı bir ayırım çeşididir. Artık evrenin herhangi bir yerine, karmaşıklık yaratmadan uygulanabilecek olan evrensel bir zaman yoktur; evrende sadece çabuk hareket içinde olmayan iki cisim için yaklaşık olarak uyuşan, ama iki cismin birbirlerine göreli olarak durgun halde olmalarının dışında, hiçbir zaman tam bir uyuşum içinde olmayan, çeşitli cisimlerin, çeşitli "öz" zamanları vardır.

Bu yeni durumla, dünyanın görüntüsü şöyle olması gerekir: Tutalım ki bana bir E olayı olmaktadır ve aynı zamanda benden bir ışık parıltısı bütün yönlere doğru gitmektedir. Herhangi bir cisme, ışık parıltısının ulaşmasından sonra olan herhangi bir olay, zaman saptaması sistemi ne olursa olsun, kesinlikle E olayından sonradır. E olayının bana görünmesinden önce görebildiğim herhangi bir yerdeki herhangi bir olay, zaman saptaması hangi sistem içinde olursa olsun, kesin bir şekilde E olayından öncedir. Ama bu zaman içinde olan herhangi bir olayın E'den önce ya da sonra mı olduğu kesinlikle belirgin değildir. Sorunu açıklığa kavuşturmak için; düşünelim ki, ben, sirüste bulunan bir kimseyi gözlemleyebiliyordum, o da beni gözlemleyebiliyordu. Onun yaptığı herhangi bir şeyi, E olayı bana görünmeden önce görüyorsam, olay, kesin bir şekilde E'den öncedir. Onun, E olayını gördükten sonra yapmış olduğu herhangi bir şey, kesin bir şekilde E'den

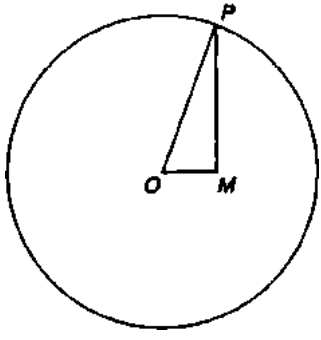
sonradır. Ama onun, E olayını görmeden önce yapmış olduğu herhangi bir şeyi, eğer ben E olayı olduktan sonra görüyorsam, E'den önce mi ya da sonra mı olduğu kesin değildir. Sirüsten ışık yere birçok yılda ulaşacağına göre, bu, sirüsteki yılların iki katı bir dönem verir; bu yıllar, kesinlikle, E'den önce veya sonra olmadığından, bu döneme, E ile "çağdaş" denebilir.

Dr. A. A. Robb, *Bir Zaman ve Uzay Kuramı* adlı yapıtında, felsefi olarak temel nitelikte olabilecek ya da olamayacak, bir görüş ileri sürmüştür, ama açıklamakta olduğumuz durumun anlaşılmasına belli ölçüde yardımcı olmaktadır. Ona göre, bir olay, ötekini şu ya da bu yolda etkileyebiliyor ise, o olayın ötekinden kesin olarak önce olduğu söylenebilir ancak. Bu etkiler, bir merkezden değişen çabuklukta yayılır. Gazeteler, saatte ortalama yirmi mil –daha uzak yerler için daha da fazla– dolayındaki bir hızla, Londra'dan, etkilerini yayarlar. Bir kimsenin gazeteyi okumasından ötürü yaptığı bir şeyin, gazetenin baskısının yapılmasından sonra olduğu açıktır. Ses daha çabuk yol alır; anayollar boyunca bir seri hoparlör yerleştirme ve birinden ötekine bağıran gazeteler yapma olanağı vardır. Ama telgraf daha çabuktur, telsiz telgraf, ondan daha hızlı gideceği düşünülemeyen ışık hızı ile yol alır. Bu durumda, bir kimse telsizden aldığı haber sonunda yapmış olduğu bir şeyi, haber gönderildikten sonra yapmıştır; buradaki anlam, zaman ölçümüyle ilgili alışkanlıklardan oldukça bağımsızdır. Ama haber daha yolda iken yaptığı herhangi bir şey, haberin gönderilmesiyle etkilenmez ve haberi gönderdikten kısa bir süre geçmeden, göndericiyi etkileyemez, yani eğer iki cisim, birbirlerinden epeyce ayrılmış iseler, belli bir zaman aralığı geçmeden, bir ötekini etkileyemez; bu zaman geçmeden önce olan hiçbir şey, uzaktaki cisme etki edemez. Örneğin, güneşte önemli bir olay olduğunu düşünelim. Yeryüzünde, güneşteki bu önemli olayın etkileyeceği, ya da etkileneceği bir olayın olmayacağı on altı dakikalık bir dönem vardır. Bu durum, yer-

yüzündeki bu on altı dakikalık döneme, güneşteki olaydan ne önce, ne de sonra olduğu gözü ile bakmamamız için önemli bir neden yaratmaktadır.

Özel rölativite kuramının paradoksları, sadece bu bakış açısına alışık olamayışımızdan gelen paradokslardır ve öyle davranmaya hakkımız olmadığı halde, şeyleri olduğu gibi kabullenme huyumuzdan gelmektedir. Bu, özellikle, uzunlukların ölçümünde doğrudur. Günlük yaşantımızda, uzunlukları ölçerken, ölçüm cetveline ya da öteki bazı ölçüm yollarına başvururuz. Ölçüm cetveli uygulandığı anda, ölçülecek olan cisme göre, cetvel durağan haldedir. Bunun sonucunda, ölçümle elde ettiğimiz uzunluk "öz" uzunluktur, yani cismin hareketini cisimle birlikte paylaşan gözlemci tarafından kararlaştırılan uzunluktur. Biz, günlük yaşantıda, sürekli hareket içinde olan bir cismin ölçülme sorunu ile hiç de uğraşmak zorunda değiliz. Ve eğer uğraşmak zorunda olsaydık bile, yeryüzünde görülebilir cisimlerin hızları, yeryüzüne göre öylesine küçüktür ki, rölativite kuramının konusu olan düzensizlikler görünmeyecekti. Ama astronomide, ya da atomlarla ilgili yapı araştırmalarında, bu yolla çözümleyemeyeceğimiz sorunlarla yüz yüzeyiz. Joshua olmadığımıza göre, güneşi ölçerken onu sabit tutamayız; eğer onun boyutlarını hesaplamak istiyorsak, bunu, bize göre göreli olarak hareket halinde iken yapmak zorundayız. Aynı şekilde, eğer bir elektronun boyutlarını hesaplamak istiyorsanız, bunu, onun hızlı hareketi içinde yapmak zorundasınız, çünkü bir an bile olsun durgun halde durmaz. Rölativite kuramının ilgilendiği sorunlar, bu çeşit sorunlardır. Cetvel ile ölçüm, mümkün olduğu zaman, hep aynı sonucu verir, çünkü cismin "öz" uzunluğunu verir. Ama bu yöntemin uygulanması olanaksız olduğu zaman, ilginç şeylerin olduğunu görürüz, özellikle, eğer ölçülecek olan cisim, gözlemciye göreli olarak çok çabuk hareket ediyorsa. Bir önceki bölümün sonunda kullandığımız şekle benzer bir şekil, durumu anlamamıza yardımcı olacaktır.

Tutalım ki, üstünde uzunlukları ölçmek istediğimiz cisim, bize göreli olarak hareket ediyor ve bir saniyede OM uzaklığını alıyor. Yarıçapı ışığın saniyede aldığı yol kadar olan, O merkez olacak şekilde, bir daire çizelim. M noktasından, OM'ye, MP dikini çıkalım ve bu dik, daireyi P noktasında kesmiş olsun. Böylece OP, ışığın saniyede aldığı yoldur. OP'nin OM'ye oranı, ışığın hızının, cismin hızına oranıdır. OP'nin, MP'ye oranı, hareketle değişen uzunluk görüntüsünün, hareketsiz haldeki görüntüye oranıdır. Yani gözlemci, hareket halindeki cismin üzerinde bulunan hareket çizgisinin iki noktası arasındaki uzaklığın MP ile gösterilen uzaklık olduğu kanısına varmış ise, cisimle birlikte hareket eden bir kimse, aralarındaki uzaklığın (aynı gösterge üzerinde) OP ile gösterileceği kanısına ulaşacaktır. Hareket halindeki cisim üzerinde, hareket çizgisine dik açıyla olan uzaklıklar hareketle etkilenmezler. Her şeyi tersine çevirdiğimizde; yani eğer, cisimle birlikte hareket eden bir gözlemci, bir önceki gözlemcinin cismi üzerindeki uzaklıkları ölçmek durumunda olsaydı, uzunluklar, tam aynı oranda değişecekti. İki cisim birbirlerine göreli olarak hareket ettikleri zaman, her biri üzerindeki uzunluklar, bir ötekine, kendilerine göründüklerinden daha kısa görünürler. Bu, ilkönce Michelson-Morley deneyinin sonucunu değerlendirmek için bulunan, Lorentz büzülmesidir. Ama şimdi bu, iki gözlemcinin, zamandaşlık konusunda aynı yargıya varamamaları gerçeğinden ortaya çıkmaktadır.



Zamandaşlığın işe karışması şöyledir: Diyoruz ki, bir cisim üzerindeki iki nokta, ölçüm cetvelinin bir ucunu birine ve öteki ucunu ötekine *aynı zamanda* uygulayabildiğimiz zaman, bu iki nokta birbirlerinden bir ayak ötededir. Eğer, şimdi iki kişi, zamandaşlık konusunda anlaşamıyorlarsa ve cisim hareket halinde ise, ölçümlerinden farklı sonuçlar elde edecekleri açıktır. Böylece, zaman konusundaki müşkül, uzaklık konusundaki müşküllerin tabanı olmaktadır.

OP'nin MP'ye oranı, bütün bu durumların temel unsurudur. Zaman, uzunluk ve kütle, söz konusu cisim, gözlemciye rölatif olarak hareket halinde ise, hepsi de bu orantı içinde değişir. Görüleceği gibi, eğer OM, OP'den çok küçük ise, yani cisim ışıktan çok daha yavaş olarak hareket ediyorsa, MP ve OP hemen hemen eşittirler, bu halde, hareketin getirdiği değişimler çok küçük olur. Ama eğer, OM, OP'ye çok yakın büyüklükte ise, yani cisim ışığa çok yakın bir hızla hareket ediyorsa, MP, OP ile karşılaştırıldığında, çok küçüktür ve etkileri çok büyük olur. Einstein özel rölativite kuramını bulmadan önce, hızla hareket eden taneciklerde açık kütle artışı gözlenmişti ve doğru formül bulunmuştu. Gerçekte Lorentz, rölativitenin özel kuramının bütün matematiksel esasını kapsayan "Lorentz dönüşümü" adıyla anılan formüle ulaşmıştı. Ama her şeyin umduğumuz gibi olması gerektiğini ve bunların, şaşırtıcı deneysel sonuçları hesaba katmak için idareten çıkartılan bir dizi eğreti düzenekler olmadığını ortaya koyan Einstein oldu. Yine de, unutulmamalıdır ki, kuramın tümüne ilk hareketi veren deneysel sonuçlar olmuştur ve bu sonuçlar, rölativite kuramının içerdiği olağanüstü mantıksal yeniden düzenlemelerin tabanı olarak kalmakta devam etmektedir.

Şimdi uzay ve zaman yerine "uzay-zaman"ı koyma zorunluğunun nedenlerini özetleyebiliriz. Uzay ve zamanın eski ayırımı, birbirlerinden uzak iki olayın, aynı, zamanda olduğunu söylemekle herhangi bir karışıklığın olamayacağı inancına dayanıyordu; bunun sonucu olarak, verilen bir anda, evrenin

topografyasını salt uzamsal terimlerle açıklayabileceğimiz düşünülüyordu. Ama şimdi zamandaşlık belirli bir gözlemciye göre rölatif olduğundan, bu, artık olanak dışıdır. Bir gözlemci için verilen bir anda, dünyanın durumunun belirlenmesi olan şey, bir başka gözlemci için, ilişkileri tümüyle uzaımsal olmayıp, aynı zamanda zamansal olan, değişik zamanlardaki, bir olaylar dizisidir. Aynı nedenle, bizi, cisimlerden çok, olaylar ilgilendirir. Eski kuramda, birçok cismin hepsini aynı anda dikkate almak mümkündü ve hepsi için zaman aynı olduğuna göre, zaman ihmal edilebilirdi. Ama şimdi, eğer fiziksel olayların nesnel bir değerlendirmesini yapmak istiyorsak, bunu yapamayız. Bir cismi ele aldığımızda, tarihini belirtmek zorundayız ve böylece bir "olay"a, yani, verilen bir zamanda olan bir şeye varırız. Bir olayın, bir gözlemcinin saptama sistemi içinde, zamanını ve yerini bildiğimizde, başka bir gözlemciye göre zaman ve yerini hesaplayabiliriz. Ama zamanını da yeri kadar bilmek zorundayız, çünkü biz artık yeni gözlemciye, bu olayın yerinin ne olduğunu, eski gözlemciye göre "aynı" zamanda soramayız. Birbirlerine rölatif olarak durağan olmadıkları sürece, ayrı gözlemciler için "aynı" zaman diye bir şey yoktur. Bir konumu saptamak için dört ölçüme ihtiyacımız vardır ve tek başına uzaydaki bir cismin değil, uzay-zaman içindeki bir olayın konumunu, dört ölçüm saptar. Bir konumu saptamak için üç ölçüm yetmez. Uzay ve zaman yerine, uzay-zaman koymanın anlamının özü budur.

6

Özel Rölativite Kuramı

Özel rölativite kuramı, elektromanyetizmin içerdiği olguların hesaplanması yolu olarak ortaya çıkmaktadır. Konunun ilginç bir tarihi vardır. 18. yüzyılda ve 19. yüzyılın başlarında, elektrik kuramı, tümüyle Newton analojisinin etkinliği altındaydı. İki elektrik yükü, eğer ayrı türden iseler, biri artı, öteki eksi olmak üzere, birbirlerini çekerler, ama eğer aynı türden iseler, birbirlerini iterler, her iki halde de kuvvet, gravitasyonda olduğu gibi, aralarındaki uzaklığın karelerinin tersi ile değişir. Faraday, bazı önemli deneylerle, deneyin yapıldığı ortamın etkisini gösterene dek, bu kuvvet, uzaktan etki olarak kabul etmekteydi. Faraday matematikçi değildi; ilk kez Clerk Maxwell, Faraday deneylerinden elde edilen sonuçlara matematiksel biçimini verdi. Ayrıca, Clerk Maxwell, ışığın elektromanyetik dalgalardan oluşan elektromanyetik bir olgu olduğu düşüncesinin temelini de attı. Bu yüzden elektromanyetik etkilerin iletim ortamı, uzun süreden beri kabul edilen ışığın iletim ortamı gibi, esir olarak kabul edilebilirdi. Maxwell'in ışık kuramının doğruluğunu, Hertz, elektromanyetik dalgalar üreterek yaptığı deneyleriyle kanıtladı; bu deneyler telsiz telgrafın temelini oluşturur. Buraya kadar, kuram ve deneyin sırasıyla başı çektiği başarılı gelişimin bir saptamasını görüyoruz. Hertz, deneylerini yaptığı zaman, esir güvenle yerine oturmuş görünüyordu ve geçerliğinin doğrulanması

doğrudan doğruya yapılamayan, öteki herhangi bir bilimsel varsayım kadar sağlam bir durumu vardı. Ama birtakım yeni gerçekler ortaya çıkarılmaya başlanınca, tüm görünüm giderek değişti.

Hertz ile birlikte en yüksek noktasına ulaşan akım, her şeyi sürekli hale getirme akımıydı. Esir sürekliydi, onun içindeki dalgalar sürekliydi ve maddenin esir içinde bazı sürekli yapılardan oluştuğunun bulunacağı umuluyordu. Ama bu sırada maddenin atom yapısı ve atomların kesikli olan yapıları ortaya çıkarıldı. Atomların elektron, proton ve nötronlardan oluştuğuna inanılıyordu. Elektron, belirli bir eksi elektrik yükü taşıyan küçük bir taneciktir. Proton ise belirli bir artı elektrik yükü taşırken, nötronun yükü yoktur. (Elektron üzerindeki yükün eski, proton üzerindeki yükün artı olarak deyimlendirilip, tersinin söylenmemesi, sadece bir alışkanlıktır.) Elektriğin, elektron ve proton üzerindeki yük biçimi dışında bulunma olasılığı yok gibi görünüyordu; bütün elektronlar tamamen aynı eksi yüke sahiptir ve bütün protonlar eşit ve zıt artı yüke sahiptir. Daha sonraları öteki atom-altı tanecikler bulundu. Bunların çoğu mezon ya da hiperon diye adlandırılır. Bütün protonlar eşit ağırlıktadır ve yaklaşık olarak elektronlardan bin sekiz yüz kat daha ağırdırlar. Bütün nötronlar da eşit ağırlıktadır, protonlardan biraz daha ağırdırlar. Birçok çeşidi olan mezonlar, elektrondan ağır, ama protondan hafiftirler ve hiperonlar protonlardan da nötronlardan da ağırdırlar.

Bazı tanecikler elektrik yükü taşırlarken, bazıları taşımaz. Öteki nitelikleri oldukça farklı olmasına karşın, bütün artı yüklülerin proton ile, eksi yüklülerin ise elektron ile tam aynı yükü taşıdıkları görülmüştür.[5] Durumu karıştıran, eksi yük yerine

5 1964 yılında iki yüksek enerji fizikçisi Murray Gell-Mann ve George Zweig, proton, nötron, mezon ve hiperonlar gibi kuvvetli etkileşen parçacıkların, elektrik yüklerinin elektronun yükünün üçte biri ve üçte ikisi olan üç değişik taneciğin çeşitli kombinezonlarından oluştuğunu ileri sürdüler. Maddenin temel taşları olduğu sanılan ve kuark adı verilen bu ./..

artı yük taşıması dışında, elektrona eşdeğer olan bir taneciğin varlığıdır, bu tanecik pozitron diye adlandırılır. Çok yakın zamanlarda da, eksi yüke sahip, ama protona eşdeğer olan bir tanecik daha bulundu, buna anti-proton adı verilmektedir.

Maddenin kesikli yapısına ait bu bulgular, atom spektrumundaki parlak çizgiler gibi, kuantum olguları adı verilen öteki bulgulardan ayrı tutulamazlar. Öyle görünüyor ki, tüm doğal süreçler yeterli duyarlıkla ölçülebildiklerinde, temel bir süreksizlik göstermektedirler.

Böylece fizik, yeni gerçekleri sindirmek, yeni problemlerle yüzyüze gelmek zorunda kaldı. Her ne kadar, kuantum kuramı, aşağı yukarı bugünkü haline yakın bir biçimde, otuz yıldan beri, özel rölativite kuramı elli yıldan beri var ise de, ikisini bir araya getiren bağların kurulmasında, köklü ilerlemeler ancak son zamanlarda yapılabilmiştir. Kuantum kuramındaki son gelişmeler, onu rölativite ile daha bağdaşır hale getirmiştir. Bu gelişmeler, bizim, atom-altı taneciklerini kavramamıza önemli ölçüde yardımcı olmuştur, ama geride önemli bazı güçlükler daha durmaktadır.

Özel rölativite kuramının, kuantum kuramından oldukça uzak olarak, kendi içinde çözdüğü problemler, Michelson-Morley deneyi ile örneklenmiştir. Maxwell'in elektromanyetizm kuramının doğruluğu benimsenince, hareketin esir içerisinde keşfedilebilecek bazı etkilerinin olması gerekliydi, gerçekte ise, hiç yoktur. Ayrıca, çok çabuk hareket eden bir cismin kütlesinde artış görülmesi gözlenen bir gerçekti. Bu artış, bir önceki bölümün sonuna alınan şekildeki OP'nin MP'ye oranı kadardır. Bu çeşit gerçekler, tümünü kucaklayabilecek bir kuramın bulunmasını zorlayana dek birikti.

../. parçacıkların bugüne dek laboratuvarlarda ve kozmik ışınlarda, izlerine rastlanmamıştır. Ama pek çok fizikçi, kuvvetli etkileşen parçacıkların daha yüksek enerjilerde çarpıştırılması sonucu, madde içinde birbirine sıkıca kenetlenmiş kuarkların serbest hale geçerek, laboratuvarda görüleceği umudunu taşımaktadır. Halen bu konu üzerinde hem deneysel, hem de kuramsal çalışmalar sürdürülmektedir. (Çev. n.)

Maxwell kuramı, kendini, "Maxwell denklemleri" olarak bilinen belirli denklemlere indirgedi. Son yüzyılda fiziğin geçirdiği bütün devrimler boyunca, bu denklemler ayakta kaldı; sürekli olarak kesinlik kazanırken, önemleri de büyüdü. Maxwell'in argümanları kendi yönlerinden öylesine zayıftı ki, ulaştığı sonuçların doğrulukları hemen hemen sezgiye dayandırılmak zorundaydı. Bu denklemler, elbette, yer laboratuvarlarında yapılan deneylerden elde edilmişlerdi, ama yerin esir içindeki hareketinin ihmal edilebileceği varsayımı sezgisel olarak kabul edilmişti, Michelson-Morley deneyinde olduğu gibi, bazı durumlarda, ölçülebilir hata olmaksızın, bu mümkün olmamalıydı; ne var ki her zaman da mümkün oldu. Fizikçiler, Maxwell denklemlerinin, olabileceklerinden de daha kusursuz oldukları gibi garip bir zorlukla karşı karşıya kaldılar. Çok benzer bir zorluk da, modern fiziğin hemen başlangıcında, Galileo tarafından açıklığa kavuşturuldu. Çoğu insan, bir ağırlık düşmeye bırakıldığında, yere dik olarak düşeceğini sanır. Ama eğer siz, deneyi, hareket eden bir geminin kabininde uygulamaya kalkarsanız, ağırlık sanki gemi duruyormuş gibi kabinle ilişkili olarak düşer; örneğin, eğer hareket tavanın orta yerinden başlamış ise, döşemenin orta yerine düşecektir. Yani, denizin kıyısında bulunan bir gözlemci açısından, cisim gemi ile birlikte ortak hareket içinde olduğuna göre, yere dik düşmez. Geminin hareketi bir karar olduğu sürece, gemi içinde bulunan her şey, sanki gemi hiç hareket etmiyormuş gibi kalır. Bunun nasıl olduğunu, Galileo, Aristo müritlerinin bütün öfkelerine rağmen, izah etmiştir. Galileo'dan elde edilen geleneksel (ortodoks) fizikte, doğru bir çizgi üzerindeki düzgün bir harekette, fark edilebilecek hiçbir etki yoktur. Bu, zamanında, Einstein'ın bugün bize yaptığı kadar şaşırtıcı olan, bir çeşit rölativite idi. Einstein, özel rölativite kuramında, elektromanyetik olguların esir içinde –eğer esir denen bir şey varsa– düzgün hareketlerinin nasıl olup da etkilenemediklerini gösterme işine girişti: Ga-

lileo ilkelerine bağlı kalınarak tümüyle çözülemeyecek olan daha zor bir problemdi bu.

Bu problemin çözümünde, gerçekten zor bir çaba gerektiren, işin zamanla ilgili yanıydı. Burada incelediğimiz "öz" zaman kavramını getirmek ve eski evrensel zamanla ilgili inançları bırakmak gerekiyordu. Elektromanyetik görüngülerin nicel yasaları, Maxwell'in denklemlerinde anlatılmaktadır ve bu denklemler, gözlemci hareket ediyor olsa bile, her gözlemci için doğrudur. Eğer rölatif hareketlerine karşın aynı denklemin doğrulandığını göreceklerse, bir gözlemcinin uyguladığı ölçüler ile bir öteki gözlemcinin uyguladığı ölçüler arasında hangi farklılıkların olması gerektiğinin ortaya çıkarılması, doğrudan doğruya matematiksel bir problemdir, Lorentz tarafından bir formül olarak bulunan, "Lorentz dönüşümü" içinde bunun cevabı vardır, ama bu formül Einstein tarafından yorumlanmış ve akla uygun hale getirilmiştir.

Lorentz dönüşümü, bir gözlemcinin uzaklık ve zaman periyotları konularındaki değerlendirilmeleri biliniyorsa, rölatif hareketi bilinen başka bir gözlemcinin değerlendirmelerini bize söyler. Düşünelim ki, doğuya doğru giden bir trende yolculuk yapıyorsunuz. Başlangıç istasyonundaki bir saatle t zamanı kadar gittiniz. Yol üzerinde bulunan kimseler tarafından yapılan ölçümle, başlangıç noktasından x uzaklığındaki bir anda bir olay oluyor; diyelim yola yıldırım düşüyor. Hep düzgün bir v hızı ile yol alıyorsunuz. Soru şu: trende bulunan bir gözlemci açısından saatinizin doğru olduğunu kabul ederek, bu olayın sizden uzaklığı ne kadardır ve sizin saatinizle, hareketinizden ne kadar süre sonra olmuştur?

Bu probleme getirdiğimiz çözümün belirli koşulları sağlaması gerek. Hareket halinde olsalar bile, her gözlemci için ışık hızının aynı olacağı sonucunu vermesi gerekir. Fiziksel görüngülerin –özellikle elektromanyetizm görüngülerinin– değişik gözlemciler için, hareketleriyle uzaklık ve zaman ölçülerinin etkilendiklerini görmüş olsalar bile, aynı yasalara uymaları

gerekir. Ve ölçüm üzerindeki bütün bu çeşit etkileri karşılıklı hale sokması gerekir. Yani, eğer bir trende bulunuyorsanız ve hareket halinde oluşunuz, trenin dışındaki uzaklıkları hesaplamanızı etkiliyorsa, trenin dışında bulunanlar için de, trenin içindeki uzaklıkları hesaplamalarında tıpkı benzer değişiklikler olması gerekir. Bu koşullar, problemin çözümünü belirlemek için yeterlidir, ama çözümü sağlama yöntemini şimdi elde bulunandan daha fazla matematik olmadan açıklayabilmenin olanağı yoktur.

Genel anlamda sorun ile uğraşmadan önce, bir örnek alalım. Tutalım ki, uzun, düz bir demiryolu üzerinde bulunan bir trendesiniz ve ışık hızının beşte üçü bir hızla doğuya doğru yol alıyorsunuz. Treninizin boyunu ölçtüğünüzü ve yüz yarda geldiğini, düşünelim; düşünelim ki, geçerken görüntünüzü yakalayan kimseler, ustalıklı bilimsel yöntemlerle, treninizin uzunluğunu hesaplamanızı olanaklı kılacak gözlemler yapmayı başarsınlar. Eğer bu kimseler, işlerini doğru yapıyorlarsa, uzunluğun seksen yarda olduğunu bulacaklardır. Trenin içinde bulunan her şey, tren doğrultusunda, size göründüklerinden daha kısa görüneceklerdir. Sizin yuvarlak olarak gördüğünüz basit yemek tabakları, dışardakilere sanki ovalmiş gibi görüneceklerdir; trenin hareket ettiği doğrultuda trenin genişliği doğrultusuna göre beşte dört genişlikte gözükeceklerdir. Bütün bunlar karşılıklıdır. Diyelim ki, siz, trenin penceresinden, kendi ölçümüyle on beş ayak uzunluğundaki bir olta çubuğu taşıyan birini görüyorsunuz. Eğer çubuğu yukarı doğru tutuyorsa, çubuğu onun gördüğü gibi göreceksiniz, eğer çubuğu tren yoluna dik açı yapacak şekilde, yatay olarak elinde tutuyorsa, gene onun gördüğü gibi göreceksiniz. Ama eğer, çubuğunu demiryolu doğrultusunda yönlendirmiş ise, size sadece on iki ayak uzunluğunda görünecektir. Hareket doğrultusundaki bütün uzunluklar, hem trenin içinden dışarı bakanlar ve hem de trenin dışından içine bakanlar açısından yüzde yirmi kısalmaktadır.

Ama zamanla ilgili olarak, bu etkiler daha da gariptir.

Bu durum Eddington tarafından, hemen hemen ideal denecek bir açıklıkla anlatılmaktadır. Verdiğim örnek, onun verdiği örnek üzerine temellendirilmiştir:

> Yeryüzünden saniyede 156.000 mil hızla uzaklaşan bir uzay aracı düşünün. Eğer siz bu uzay aracı içerisinde bulunan kişileri dikkatle gözleseydiniz, hareketlerinde alışılmadık bir yavaşlama olduğu sonucunu çıkarırdınız. Uzay aracı içerisinde cereyan eden olaylarda da aynı gecikme olurdu. Orada olup biten her şey, olağan olan zamanın iki katı zamanda gerçekleşiyor görünecektir. "Sonucunu çıkarma" sözünü özellikle kullandım; zamanın yavaşlamasını daha abartmalı olarak *görecektik;* ama bu kolayca açıklanır, çünkü uzay aracı bizden, hızla uzaklaşmaktadır ve ondan gelen ışık etkilenimleri bize ulaşmak için giderek daha uzun süre ister. Işığın ulaşması için geçen zaman hesaba alındıktan sonra, daha ufak bir gecikme söz konusudur. Karşılıklı olma durumu yine burada ortaya çıkmaktadır, çünkü uçucunun gözünde, saniyede 156.000 mil ile kendisinden uzaklaşan biziz ve uçucu bütün hesaplamaları yaptıktan sonra, tembelleşenin bizler olduğumuzu görür.

Zaman sorunu, bir kimseye göre zamandaş olarak değerlendirilen olayların, bir başkasına göre bir zaman kesiti kadar birbirlerinden ayrı oldukları yargısı gerçeğinden ötürü, oldukça karışıktır. Zamanın nasıl etkilendiğini aydınlığa kavuşturabilmek için, ışık hızının beşte üçü bir çabuklukla doğuya doğru ilerlemekte olan trenimize döneceğim. Bu örneklememiz uğruna ben, yeryüzünü, küçük ve yuvarlak olması yerine, geniş ve düz sayacağım.

Eğer olayları, yeryüzündeki sabit bir noktada oluyor diye alacak olursak ve kendimize, yolculuğun başlangıcından ne

kadar sonra yolcunun olayları gördüğü sorusunu sorarsak, sorunun yanıtı Eddington'un sözünü ettiği gecikme olacaktır ki, bu durumda, durağan haldeki bir kimsenin yaşamında gözüken bir saat, trenden, onu gözleyen salt gözlemci için bir saat on beş dakika olarak hesaplanır. Buna karşılık, trende bulunan bir kimsenin yaşamındaki bir saat olarak gözüken süre, onu dışardan gözlemleyen bir kimse için bir saat on beş dakika olarak hesaplanır. Her biri, ötekinin yaşamında gözlemlediği zaman dilimini, onu yaşayan kişiye göre on beş dakika uzatmaktadır. Zaman konusundaki oranlar uzunluklardakinin aynıdır.

Ama yeryüzünde aynı yerdeki olayları karşılaştırmak yerine, birbirinden epeyce uzaktaki olayları karşılaştırdığımız zaman, sonuçlar daha da gariptir, şimdi yerde durağan haldeki bir kimse açısından, verilen bir anda, diyelim trenin, yerdeki belirli bir sinyali geçtiği anda, demiryolu boyunca olan bütün olayları ele alalım. Bu olaylardan, trenin gidiş yönünde olanları, trendeki yolculara olup bitmiş olaylar olarak gözükürlerken, trenin ardında olan olaylar, aynı yolcular için gelecekte, daha olacak olan olaylar gibi geleceklerdir. Trenin gidiş yönünde olan olayların, olmuş olaylar olarak gözükeceklerini söylediğimde, aslında ben, kesinkes doğru olan bir şey söylemiş olmuyorum, çünkü o yolcu onları henüz görmemiş olacaktır; ama onları gördüğü zaman, ışığın hızını hesaba kattıktan sonra, onların söz konusu olan andan önce olmaları gerektiği sonucuna ulaşacaktır. Demiryolu boyunca, gidiş yönündeki bir olay, ki bunu yerde duran gözlemci şimdi oluyor diye değerlendirir (ya da daha çok, onu kavradığı anda, şimdi olduğu kanısına varacaktır) eğer ışığın saniyede aldığı yol uzaklığındaki bir yerde oluyorsa, yolcu, olayın, saniyenin dörtte üçü kadarlık bir süre önce olduğu yargısına varacaktır. Eğer iki gözlemciden, yerde bulunanı, ışığın bir yılda alacağı bir uzaklıkta olayın olduğu yargısına varırsa, yolcu (onun olduğunu kavradığı zaman) olayın, yerde bulunanı geçtiği

andan dokuz ay önce olduğu yargısına varacaktır. Ve genel olarak, demiryolunun ön tarafındaki olaylar, yolcuların yerde bulunan adamları tam geçtiği anda, olayları şimdi oluyor olarak kavrayan, ya da daha doğrusu, onlardan gelen ışığın ona ulaştığı anda olduğunu kavrayan, yerdeki adama ışığın ulaşması için geçen sürenin dörtte üçü öncesiyle görüneceklerdir. Tren yolunun arka yönünde olan olaylar ise, tamı tamına aynı süre daha sonra görüneceklerdir.

Böylece, yersel gözlemciden yolcuya geçtiğimizde, bir olayın tarihini saptarken, iki katlı bir düzeltme yapmak zorunda oluyoruz. Önce, yerde bulununca kabul edilen zamanın beşte dördünü almak zorundayız ve ondan sonra söz konusu olan olaydan, ışığın yerde bulunan kimseye ulaşması için geçen zamanın dörtte üçünü bundan çıkarmak zorundayız.

Yerde bulunan ve yolculuk eden iki kişinin birbirlerini tam geçerlerken görülen, evrenin uzak bir yerindeki olayı alalım. Yerde bulunan kimse, olayın ne kadar uzaklıkta olduğunu biliyorsa, ışığın hızını da bildiğine göre, olayın ne kadar süre önce olduğunu söyleyebilir. Eğer olay, yolcunun hareket ettiği yönde oluyorsa, yolcu yerde bulunan kimsenin düşündüğünden iki kat önce olduğu sonucuna ulaşacaktır. Ama eğer, yolcunun geliş yönünde olmuş ise, olay, yolcuya, yerde bulunanın düşündüğü sürenin yarısı süre önce olduğu kanısını verecektir. Eğer yolcu, farklı bir çabuklukta hareket ediyorsa, orantı farklı olacaktır.

Şimdi düşünelim ki (bazen olduğu gibi), iki yeni yıldız birdenbire parladı, bu parıltı, yolcu ve yerdeki kimsenin birbirlerini tam geçtikleri anda, her ikisine de göründü. Tutalım ki, bunlardan biri, trenin geldiği yönde, öteki trenin gittiği yönde bulunsunlar. Yerde bulunan kimsenin herhangi bir şekilde, iki yıldızın uzaklığını hesaplamak olanağına sahip olduğunu düşünelim ve böylece yolcunun hareket yönünde olan yıldızın ışığı elli yılda, öteki yönde olan yıldızın ışığı yüz yılda kendisine ulaşmış olsun. O zaman, ön yönde yeni yıldı-

zı yaratan patlamanın elli yıl önce, arka yöndeki yeni yıldızı yaratan patlamanın yüz yıl önce olduğunu ileri sürecektir. Yolcu ise bu rakamları tamı tamına tersine çevirecektir, o, ön yöndeki patlamanın yüz yıl önce, arka yöndeki patlamanın elli yıl önce olduğunu ileri sürecektir. Ben her ikisinin de, doğru fiziksel verilere dayanarak, doğru kararlar verdiklerini kabul ediyorum. Gerçekte, ikisi de doğrudur. Sadece, her biri, bir ötekinin yanlış olması gerektiğini sanıyor. Her ikisinin de ışık hızı yargılarının aynı olacağı gözden uzak tutulmamalıdır, çünkü iki yeni yıldızın uzaklıkları konusundaki yargıları, patlamaların olmasından sonra geçen zaman konusundaki yargılarına göre ayrı oranda değişecektir. Gerçekten bütün kuramın başlıca unsurlarından biri, bütün gözlemciler için, hareket halinde olsalar bile, ışık hızının hep aynı olacağının sağlanmış olmasıdır. Deneyle yerleştirilen bu gerçek, eski kuramlarla bağdaşmıyordu ve bazı ürkütücü şeylerin kabul edilmesi gerekliliğini, kesin olarak zorunlu kıldı. Rölativite kuramı, gerçeklerle bağdaştığı ölçüde az şaşırtıcıdır. Gerçekten, bir süre sonra, şaşırtıcılığı tümüyle ortadan kalkmaktadır.

Sözünü ettiğimiz kuramın çok büyük önem taşıyan bir başka özelliği daha vardır, şöyle ki, uzaklıklar ve zamanlar, farklı gözlemcilere göre değişmesine karşın, bütün gözlemciler için aynı olan "aralık" diye adlandırdığımız niceliği, bunlardan çıkarabiliriz. Özel rölativite kuramında, "aralık" şöyle elde edilir. İki olay arasındaki uzaklığın karesini ve iki olay arasındaki zaman içinde ışığın aldığı yolun karesini alalım; bunlardan küçük olanını büyük olandan çıkaralım, elde edilen sonuç, iki olay arasındaki aralığın karesi olarak tanımlanır. Bütün gözlemciler için aralık aynıdır ve bu, iki olay arasındaki zaman ve uzaklığın göstermediği gerçek fiziksel ilişkiyi temsil eder. Dördüncü Bölümün sonunda, aralığın geometrik bir yapısını vermiş bulunuyoruz, bu, yukarıdaki kuralla, aynı sonucu verir. Olaylar arasındaki zaman, ışığın, birinin yerinden

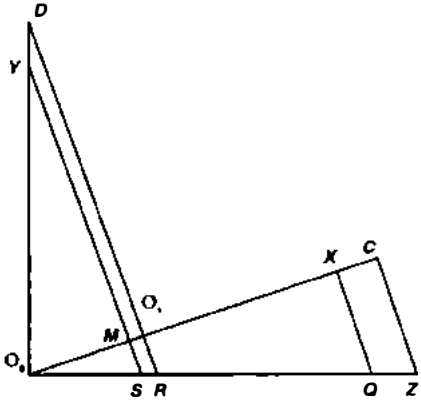
ötekinin yerine gitmesiyle geçecek zamandan uzun ise, aralık "zamansal"dır; tersi durumunda ise "uzaysal"dır. İki olay arasındaki zaman, eğer ışığın birinin yerinden, ötekinin yerine gitmesiyle geçecek olan zamana tam olarak eşit ise, aralık sıfırdır; o zaman, bu yolla ışık geçişi olmadığı sürece, iki olay, bir ışık ışınının bölümleri üzerinde yerleşmiştir.

Genel rölativite kuramına geldiğimizde, aralık kavramını genelleştirmek zorunda kalacağız. Evrenin yapısına, daha derinliğine indikçe, bu kavram daha da çok önem kazanır. Biz, uzaklıklar ve zaman periyotunun realitenin karmaşık bir temsili olduğunu anlatmaya çalışıyoruz. Rölativite kuramı, dünyanın temel yapısıyla ilgili görüşümüzü değiştirdi; hem onun zorluğunun, hem de öneminin kaynağı budur.

Bu bölümün bundan sonrası, geometri ve cebir ile ön tanışıklığı olmayan okuyucularca atlanabilir. Ama eğitimini *tümüyle* ihmal etmemiş olanların yararına olarak, şimdiye dek sadece özel örneklerle verdiğim genel formüllere, biraz açıklama ekleyeceğim. Söz konusu olan genel formüller, bir cisim, bir ötekine rölatif olarak verilen bir tarzda hareket ettiğinde, bir cisme uyan uzunluk ve zaman ölçümlerinin, bir başkasına uyan ölçümlerden nasıl çıkarıldığını anlatan "Lorentz dönüşümü"dür. Cebirsel formüllerini vermeden önce, geometrik bir yapı vereceğim. Daha önce olduğu gibi, O_0 ve O_1 diye adlandıracağımız ve biri yerde durağan olan, öteki doğrusal bir demiryolunda düzgün bir süratle yol alan, iki gözlemci düşüneceğiz. Söz konusu zamanın başlangıcında, demiryolunun aynı noktasındaydılar, ama şimdi belirli bir uzaklıkla birbirlerinden ayrılıyorlar. Bir şimşek parıltısı demiryolunun X noktasına çarpıyor ve O_0, parıltının olduğu anda trende bulunan gözlemcinin O_1 noktasına ulaştığı yargısına varıyor. Problem şudur: O_1'in parıltıdan uzaklığı konusundaki yargısı ne olacaktır ve parıltının yolculuğa başladığından (O_0'da bulunduğu zaman) ne kadar sonra olduğu konusundaki yargısı ne olacaktır? Burada, O_0'ın değerlendir-

melerini bildiğimizi kabul ediyor ve O_1'in değerlendirmelerini hesaplamak istiyoruz.

O_0'a göre, yolculuğun başlangıcından beri geçen süre içinde, O_0C, ışığın tren yolu boyunca alacağı yolun uzunluğu olsun, O_0C yarıçap olacak şekilde, O_0 etrafında bir daire çizelim ve O_1'den demiryoluna indiğimiz dikme, daireyi D noktasında kesmiş olsun, O_0D üzerinde O_0Y, O_0X'e (X şimşeğin demiryoluna düştüğü noktadır) eşit olmak üzere, bir Y noktası alalım. Demiryoluna dik olan YM ve O_0D'ye dik olan O_0S'yi çizelim. YM ve O_0S, S noktasında kesişsinler. Aynı zamanda, DO_1 ve O_0S uzatılarak R'de kesişsinler. X ve C'den, demiryoluna inilen dikler, O_0S'nin uzantısıyla sırasıyla, Q ve Z'de kesişmiş olsunlar. O zaman RQ (O_0 tarafından ölçüldüğü üzere) O_1'in parıltısıyla kendisi arasında olduğuna inandığı uzaklıktır, eski görüşe göre olması gereken O_1X değildir bu uzaklık. O_0, yolculuğun başlangıcından parıltıya kadar geçen süre içinde, ışığın O_0C uzaklığınca yol alacağını düşünürken, O_1, bunu, SZ uzaklığını (O_0 tarafından ölçüldüğü üzere) ışığın alabilmesi için geçen süre olarak düşünür. O_0 tarafından ölçülen aralık, O_0X'in karesinin, O_0C'nin karesinden çıkarılmasıyla elde edilir. O_1 tarafından ölçülen aralık ise, RQ'nun karesinin SZ'nin karesinden çıkarılmasıyla elde edilir. Birazcık basit geometri, bunların eşit olduklarını gösterir.



Yukardaki şekilde kurgulanan cebirsel formüller şöyledir: O_0 açısından, demiryolu boyunca bir x uzaklıkta ve yolculuğun başlangıcından (O_1, O_0'da olduğu zaman) bir t süresi sonra, bir olay olmaktadır. O_1 açısından ise aynı olay demiryolu boyunca x'' uzaklıkta ve yolculuğun başlangıcından bir t'' süresi sonra olmaktadır. Işığın hızı c, O_1'in O_0'a göre rölatif hızı v olsun.

$$\beta = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

O zaman

$$x' = \beta (x - v t)$$

$$t' = \beta \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

Bu, bu bölümde bulunan her şeyi çıkaracağımız Lorentz dönüşümüdür.

7

Uzay-Zaman İçinde Aralıklar

Buraya kadar incelediğimiz özel rölativite kuramı, bilinen belirli bir problemi eksiksiz çözmüştür: Deneysel gerçekle ilgili olarak, iki cisim düzgün rölatif hareket içinde iken, fiziğin bütün yasaları, hem basit dinamik, hem elektrik ve manyetizm yasaları, her iki cisim için de tümüyle aynıdır. "Düzgün" hareket, burada, doğru bir çizgi üzerinde, sabit bir hızla hareket anlamına gelmektedir. Ama özel kuram ile bir problem çözülmüş ise de, hemen ardından bir başka problem ortaya çıktı: eğer iki cismin hareketi düzgün değilse, o zaman ne olmaktadır? Örneğin, düşünelim ki, biri yeryüzü, öteki de yere düşmekte olan bir taş olsun. Taşın ivmeli bir hareketi vardır; düşerken hızı sürekli olarak artıyor. Özel kuramın içinde hiçbir şey, fiziksel olgunun yasalarının, taşın üstünde bulunan gözlemci için neyse, yerde bulunan gözlemci için de aynı olacağını söyleyebilmek yeteneğini bize vermez. Bu, yerin kendisinin de, geniş anlamıyla, düşen bir cisim olması nedeniyle, ters bir durumdur; yerin güneşe yönelik her an bir ivmesi[6] vardır ve bu ivme onun doğru bir çizgi boyunca hareket etmek yerine, güneşin

6 Sadece hızın artmasına değil, ama yön ve hızdaki herhangi bir değişime "ivme" denir. "İvmesiz" diye adlandırılacak tek hareket çeşidi doğru bir çizgi üzerinde düzgün hızla olan harekettir.

etrafında dönmesini sağlar.[7] Bizim fizik bilgimiz, yeryüzündeki deneylerden çıkarıldığı için, içinde ivmesi olmayan bir gözlemcinin düşünüldüğü bir kuramla yetinemeyiz. Genel rölativite kuramı, bu sınırlamayı bir yana iter ve gözlemcinin doğru, çarpık, düzgün ya da ivmeli olsun, istediği gibi hareket etmesine elverir. Bu sınırlamayı bir yana itme süreci içinde, Einstein, şimdi inceleyeceğimiz, kendi yeni gravitasyon yasasına ulaştı. İşin olağanüstü zorluğu vardı ve onu, on yıl uğraştırdı. Özel kuramın tarihi 1905, genel kuramın tarihi 1915'tir.

Bize yabancı olmayan bütün deneylerden de açıkça görüldüğü gibi, ivmeli bir hareket ile uğraşmak, düzgün hareketle uğraşmaktan çok daha zordur. Biteviye yol alan bir trende bulunduğumuz zaman, pencereden dışarı bakmadığımız sürece, hareket fark edilemez, ama eğer ani bir fren yapılmış olursa, öne fırlatılırsınız ve trenin dışında bulunan herhangi bir şeye bakmaksızın, bir şeyler olduğunu anlarsınız. Aynı şekilde, bir asansörde, biteviye hareket içinde iken, her şey olağan gözükür, ama başlarken ve dururken, hareket ivmeli olduğu zaman, mide boşluğumuzda garip bir duygu belirir. (Giderek yavaşlayan ya da giderek çabuklaşan harekete "ivmeli" hareket diyoruz; giderek yavaşladığı zaman, ivme eksidir.) Aynı şey, bir gemi kabininde yere düşen bir ağırlığa da uygulanır. Gemi düzgün hareket ettiği sürece, ağırlık, kabine rölatif olarak, sanki gemi duruyormuşçasına, davranacaktır; eğer tavanın ortasında harekete başlamışsa, döşemenin ortasına düşecektir. Ama eğer bir ivme varsa, her şey değişir. Eğer

---

7 İvmeli hareket denilince, hızın hem yönünün hem de değerinin değiştiği anlaşılır. Bazı hareketlerde bu iki özelliklerden biri, bazılarında her ikisi de görülür. Örneğin, bir merkez etrafında düzgün dairesel harekette, hızın değeri sabit kalırken, hızın yönü sürekli olarak değişir. Düzgün doğru bir ray üzerinde, trenin giderek hızlanması, ivmeli hareketin ikinci özelliğini kanıtlar. Dünyanın güneş etrafında dönmesi ise, yörünge daireden çok elipse benzediğinden, dünyanın bu yörünge üzerindeki hızının sürekli olarak hem değeri, hem de yönü değişmektedir. (Çev. n.)

gemi hızını çok çabuk artırıyorsa, kabin içinde bulunan bir gözlemciye, ağırlık geminin kıç tarafına yönelik bir eğri çizerek yere düşüyor gözükecektir; eğer hız çok çabuklukla azalıyorsa, eğri baş tarafa yönelik olacaktır. Bütün bunlar yabancısı olmadığımız gerçeklerdir ve bunlar Galileo ve Newton'u, ivmeli bir hareketin, düzgün bir hareketten, kendi öz yapısında, köklü bazı farklılıklar olduğu inancına götürmüştür. Ama bu ayrılık, sadece hareket mutlak olarak alındığı zaman söz konusu olabilirdi; rölatif olarak değil. Eğer bütün hareketler rölatif ise, asansörün yere doğru giderek hızlandığı ne kadar doğru ise, dünyanın da asansöre doğru gittikçe hızlanan bir hareket yaptığı o derece doğrudur. Gene de, asansör yükselmeye başladığı zaman, yerde bulunan insanlar, mide boşluklarında herhangi bir duyguya kapılmazlar. Bu, meselemizin güçlüğünü sergilemektedir. Gerçekte, modern çağların fizikçilerinin pek azının, mutlak harekete inanmalarına karşın, matematiksel fiziğin tekniği, içinde hâlâ Newton inancını taşıyordu ve bu varsayımdan bağımsız bir teknik elde etmek için, yöntemde bir devrim gerekiyordu. Bu devrim, Einstein'ın genel rölativite kuramı içinde başarıya ulaştı.

Einstein'ın getirdiği yeni fikirlerin açıklamasına, istenildiği yerde başlanabilir, ama işe "aralık" kavramıyla başlamakla, belki de en iyisini yapmış olacağız. Bu kavram, özel rölativite kuramında göründüğü gibi, uzay ve zaman içindeki uzaklığın geleneksel kavramının şimdiden bir genellemesidir, ama bunu daha da genelleştirmek zorunluğu vardır. Bununla birlikte, öncelikle biraz tarihten söz etmemiz ve bu amaçla Pisagor'a kadar uzanmamız gerekiyor.

Pisagor, tarihte öteki benzer büyük kişiler gibi, belki de hiçbir zaman var olmadı; o, matematikle, din adamlığını belirsiz bir oranda birleştiren, yarı-mitolojik bir kişidir. Böyle olmakla birlikte, ben onun yaşamış olduğunu, ona atfedilen teoremi, onun bulmuş olduğunu kabul edeceğim. Hemen hemen, Konfüçyüs ve Buda'nın çağdaşıdır; bezelye yemeyi günah sayan dinsel bir mezhebin ve dik açılı üçgenlere özel bir ilgi gösteren

matematik okulunun kurucusudur. Pisagor teoremi (Öklid'in 47. önermesi), bir dik üçgenin kısa iki kenarı üzerindeki karelerin toplamının, dik açı karşısında bulunan uzun kenar üzerinde kurulan karenin toplamına eşit olduğunu söyler. Tüm matematikte hiçbir önerme, böylesine ilginç bir tarihe sahip değildir. Hepimiz bunun "ispatını" gençliğimizde öğrendik. "İspat"ın hiçbir şeyi ispatlamadığı gerçektir ve tek ispatlama yolu, deneyle ispatlamadır. Aynı zamanda bu önerme *tümüyle* doğru değildir; sadece yaklaşık olarak doğrudur. Ama geometrideki her şey, bunun sonucu olarak, fizikteki her şey, ardışık genellemelerden çıkarılmışlardır. Bu genellemelerin en sonuncusu, genel rölativite kuramıdır.

Pisagor teoreminin kendisi de, büyük bir olasılıkla, bir Mısır başparmak kuralının genellemesiydi. Mısır'da, çok eskiden beri, kenarları 3, 4 ve 5 birim uzunluğunda olan bir üçgenin, dik üçgen olduğu bilinirdi; Mısırlılar bu bilgiyi, pratik olarak tarlalarının ölçümünde kullanırlardı. Bu durumda, eğer bir üçgenin kenarları, 3, 4 ve 5 inç ise, bu kenarları üzerindeki kareler, sırasıyla, 9, 16 ve 25 inç kare olacaktır ve 9 ile 16'yı topladığımızda 25 eder. Üç kere üç "3^2" olarak, dört kere dört "4^2" olarak, beş kere beş "5^2" olarak yazılır. Böylece,

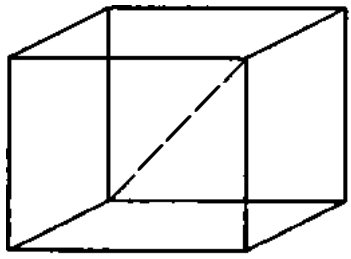
$$3^2 + 4^2 = 5^2$$

denklemini elde ederiz.

Pisagor'un bu olguya, Mısırlılardan, kenarları, 3, 4 ve 5 olan bir üçgenin dik üçgen olduğunu öğrendikten sonra, dikkat etmiş olduğu sanılmaktadır. O, bunun genelleştirilebileceğini gördü ve böylece meşhur teoremine ulaştı: Bir dik açılı üçgende, dik açı karşısındaki kenarın karesi, öteki kenarların karelerinin toplamına eşittir.

Aynı şekilde üç boyutluda: Eğer dik açılı katı bir cisim alacak olursanız, köşegen üzerindeki kare (şekilde nokta ile gösterilen), üç kenarı üzerindeki karelerin toplamına eşittir.

İşte eskiler bu konuda buraya kadar gidebilmişlerdir.

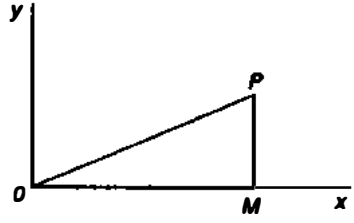


Bunun ardından gelen önemli adım, Pisagor teoremini, kendi analitik geometri yöntemine temel alan, Descartes tarafından atılmıştır. Düşünelim ki, siz, bir düzlem üzerine bütün yerleri düzenli bir biçimde geçirmek istiyorsunuz, bu düzlemin yerin yuvarlaklığını ihmal edebilecek kadar küçük olduğunu varsayacağız. Sizin, düzlemin ortasında yaşadığınızı düşünüyoruz. Bir yerin konumunu anlatabilmenin en kolay yollarından biri şöyle anlatılır: benim evimden başlayarak önce şu kadar doğuya, sonra şu kadar da kuzeye (ya da birinci halde batı ve ikinci halde güney de olabilir) gidin. Bu, size, yerin nerde olduğunu eksiksiz olarak söyler. Amerika'nın dikdörtgen şehirlerinde, uygulanacak doğal yöntem şöyledir: New York'ta şu kadar blok doğuya (ya da batıya) ve sonra şu kadar blok kuzeye (ya da güneye) gitmeniz gerektiği size söylenir. Doğuya gitmek zorunda olduğunuz uzaklığa X ve kuzeye gitmek zorunda olduğunuz uzaklığa da Y denir. (Eğer batıya gitmek zorundaysanız X, eğer güneye gitmek zorundaysanız Y eksidir.) O başlangıç noktası ("orijin") olsun; OM doğuya gittiğiniz uzaklık, MP de kuzeye gitmiş olduğunuz uzaklık olsun. P'ye ulaştığınızda evle olan, doğru bir çizgi üzerindeki uzaklığınız ne kadardır? Pisagor teoremi size yanıtını verir. OP'nin karesi, OM'nin ve MP'nin karelerinin toplamıdır. Eğer OM 4 mil, MP 3 mil ise, OP 5 mildir. Eğer OM 12 mil ve MP 5 mil ise, OP 13 mildir, çünkü $12^2 + 5^2 = 13^2$'dir. Böylece eğer, Descartes'ın belirtme yöntemini

benimsiyorsanız, bir yerden, bir yere uzaklığı size vermekte Pisagor teoremi esastır. Üç boyutluda da durum, tümüyle aynıdır. Tutalım ki, düzlem üzerindeki konumları saptamak yerine, onun yukarısında bulunan yere iple bağlı balonların durak yerlerini saptamak istiyorsunuz, o zaman üçüncü bir niceliği, balonun bulunması gereken yüksekliği katmak zorunda kalacaksınız. Eğer yüksekliğe z derseniz ve *r* de O'dan balona olan doğrudan uzaklık ise, o zaman

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

olacaktır ve bundan, *x*, *y* ve *z*'yi biliyorsanız, *r*'yi hesaplayabilirsiniz. Örneğin, eğer balona, 12 mil doğuya, 14 mil kuzeye ve daha sonra da 3 mil yukarıya giderek varabiliyorsanız, balona bir doğru çizgi olarak uzaklığınız, 13 mildir, çünkü 12 x 12 = 144, 4 x 4 = 16, 3 x 3 = 9, 144 + 16 + 9 = 169 = 13 x 13'tür.



Ama şimdi tutalım ki, düzlem olarak kabul edilebilecek küçük bir yer parçası yerine, dünyanın haritasını yapmayı göz önünde tutuyorsunuz. Bir kâğıt düzlem üzerinde kusursuz bir dünya haritasının olanağı yoktur. Bir küre, her şey bir ölçü içinde yapıldığında kusursuz olabilir, ama düzlem bir harita olamaz. Pratik güçlüklerden söz ettiğim yok, kuramsal bir olanaksızlıktan söz ediyorum. Örneğin, Greenwich meridyeninin kuzey yarısı ve batı boylamının 90. meridyeni, aralarındaki ekvator parçası ile birlikte, kenarları eşit ve

bütün açıları dik olan bir üçgen oluşturulur. Düz bir yüzeyde böylesine bir üçgen türü olanak dışıdır. Öte yandan, düzgün bir yüzeyde bir kare yapma olanağı vardır, ama bir küre üzerinde bu olanak yoktur. Diyelim ki yeryüzünde, 100 mil batıya, daha sonra 100 mil kuzeye, ondan sonra 100 mil doğuya ve daha sonra da 100 mil güneye gidiyorsunuz. Bir kare yapmış olduğunuzu düşünebilirsiniz, oysa değil, çünkü sonunda başlangıç noktasına gelmiş olmayacaksınız. Eğer zamanınız varsa, deneyerek, buna kendinizi inandırabilirsiniz. Eğer zamanınız yoksa, bunun böyle olması gerektiğini kolayca görebilirsiniz. Kutba yakın olduğunuz zaman 100 mil sizi ekvatora yakın olduğunuz zamankinden de çok, boylamdan geçmek zorunda bırakır, böylece doğuya yaptığınız 100 mil (eğer kuzey yarıküresinde iseniz), sizi başladığınız noktanın daha da doğusuna götürür. Bundan sonra güneye yürüdükçe, başlangıç noktanızın çok daha fazla doğusunda kalırsınız ve yürüyüşünüz başladığınız yerden farklı bir yerde sonuçlanır. Bir başka örnek aldığımızı düşünelim, ekvator üzerinde Greenwich meridyeninin 4.000 mil doğusunda harekete başlıyorsunuz; meridyene ulaşana dek yürüyorsunuz, sonra meridyen boyunca 4.000 mil kuzeye Greenwich'ten geçerek, Shetland Adaları yakınlarına kadar gidiyorsunuz. Daha sonra 4.000 mil doğuya sonra da 4.000 mil güneye gidiyorsunuz. Bu yolculuk, sizi, ekvatorda başladığınız yerin 4.000 mil daha doğusundaki bir noktaya götürecektir.

Bir anlamda, şimdiye kadar söylediklerimiz pek doğru değil, çünkü ekvator dışında, bir yerden onun doğusunda bulunan bir yere gitmek için, en kısa yol, doğuya doğru gitmek değildir. New York'tan hemen hemen doğusunda bulunan (diyelim) Lizbon'a giden bir gemi, yolculuğuna, belirli bir uzaklıkta kuzeye doğru gitmekle başlayacaktır. Bir "büyük daire" üzerinde, yani merkezi dünyanın merkezi olan bir daire üzerinde, yoluna devam edecektir. Bu, yer yüzeyinde çizilebilecek doğru çizgiye en yakın yaklaşımdır. Boylamın

meridyenleri büyük dairelerdir, ekvator da büyük dairedir, ama öteki enlem paralelleri değildirler. Onun için, Shetland Adalarına ulaştığınızda, 4.000 mil doğuya doğru değil, sizi Shetland Adaları'nın doğusundaki bir noktaya götürecek olan bir büyük daire boyunca yolculuk yapmanız gerektiğini düşünmeliydik. Böyle olmakla birlikte, bu, bizim vardığımız sonucu, sadece güçlendirmektedir: Bu durumda, başlangıç noktanızın, öncekinde olduğundan daha da doğusunda bir noktaya ulaşacaksınız.

Bir küre üzerindeki geometri ile bir düzlem üzerindeki geometri arasında fark nedir? Eğer yerin yüzeyine kenarları bir büyük daire olan bir üçgen çizecek olsanız, üçgenin iç açılarının toplamının iki dik açıya eşit olduğunu göremeyeceksiniz: Toplam daha fazla olacaktır. İki dik açıyı aşan miktar, üçgenin büyüklüğü ile orantılıdır. Evin meydanlığına iple çizeceğiniz, ya da birbirlerini görebilen üç geminin oluşturduğu üçgende bile, iç açılarının toplamı iki dik açıyı o kadar az geçer ki, bu farkı bulup çıkaramazsınız. Ama eğer, ekvator, Greenwich meridyeni ve 90. meridyenin oluşturduğu üçgeni alacak olursanız, açılar üç dik açının toplamı kadar olur. Açıların toplamı altı dik açıya ulaşacak kadar büyük üçgenler elde edebilirsiniz. Bütün bunları, uzayın öteki bölümlerindeki herhangi bir şeyi hesaba katmaksızın, yer yüzeyindeki ölçümlerle ortaya çıkarabilirsiniz.

Pisagor teoremi, bir küre üzerindeki uzaklıklar için de işe yaramayacaktır. Yere bağıntılı bir yolcu açısından, iki yer arasındaki uzaklık, onların büyük daire uzaklığıdır, yani yolcunun dünya yüzeyinden ayrılmadan, yapabileceği en kısa yolculuktur. Şimdi, büyük dairelerin üç parçasını, bir üçgen yapacak biçimde aldığınızı düşünelim ve tutalım ki, bir kenar ötekine dik açılıdır; daha anlaşılır olması için, biri ekvator, öteki ekvatordan kuzeye giden Greenwich meridyeni olsun. Ekvator boyunca 3.000 mil ve daha sonra da kuzeye 4.000 mil gittiğinizi düşünelim; uzaklığı bir büyük daire boyunca

hesaplarsak, başlangıç noktasından ne kadar uzaklaşmış olacaksınız? Eğer bir düzlemde olsaydınız, daha önce de gördüğümüz gibi, uzaklığınız 5.000 mil olacaktı. Bununla birlikte, gerçekte sizin büyük daire uzaklığınız bundan önemli ölçüde daha az olacaktır. Bir küre üzerindeki dik açılı bir üçgende, dik açının karşısında bulunan kenarın karesi, öteki kenarlar üzerindeki karelerin toplamından daha azdır.

Bir küre üzerindeki geometri ile bir düzlem üzerindeki geometri arasındaki bu farklılıklar, esaslı ayrılıklardır; yani bu ayrılıklar, üzerinde yaşadığımız yüzeyin, bu yüzeyin dışındaki herhangi bir şeye gereksinim duymaksızın, bir düzleme mi, yoksa bir küreye mi benzediklerini bulma olanağını sağlarlar. Gauss tarafından yüz elli yıl önce ele alınıp geliştirilen bu öğeler, konumuzla ilgili olarak bir önemli adım daha atmamızı sağlar. Gauss, yüzey kuramı üzerine çalıştı ve yüzeylerin dışına çıkmaksızın, üzerlerinde yapılan ölçümlerle, kuramın nasıl geliştirileceğini gösterdi. Uzayda bir noktanın konumunu saptamak için, üç ölçüme gerek duyarız; ama bir yüzey üzerinde bir noktanın konumunu saptayabilmek için yalnızca iki ölçüme gerek duyarız; örneğin, yer yüzeyindeki bir nokta, enlem ve boylamını biliyorsak, saptanır.

Gauss, ne tür ölçüm sistemi seçerseniz seçin ve yüzeyin niteliği ne olursa olsun, yüzey üzerindeki, birbirlerinden çok uzak olmayan iki nokta arasındaki uzaklığın, onların konumlarını saptayan nicelikleri bildiğinizde, her zaman hesaplanabilecek bir yolun var olduğunu bulmuştur. Uzaklık için formül, Pisagor formülünün bir genellemesidir; bu genelleme, size, noktaları saptayan ölçü nicelikleri arasındaki farkların kareleri ve aynı zamanda bu iki niceliğin çarpımları terimleri içinde, uzaklığın karesini gösterir. Bu formülü bildiğiniz zaman, yüzeyin bütün esas özelliklerini, yani yüzeyin dışındaki noktalarla olan ilişkilere bağımlı olmayan, bütün özellikleri bulabilirsiniz. Örneğin, bir üçgenin iç açılarının toplamlarının

iki dik açı mı olduğunu, ya da daha mı fazla olduğunu, ya da daha mı az olduğunu, yoksa bazı durumlarda fazla, bazı durumlarda az mı olduğunu bulabilirsiniz.

Ama bir "üçgen"den söz ettiğimizde, ne demek istediğimizi de açıklamak zorundayız, çünkü çoğu yüzeyler üzerinde doğru çizgiler yoktur. Bir küre üzerinde, doğru çizgiler yerine, doğru çizgilere, olabilecek en yakın yaklaşım olan büyük daireler koyacağız. Genel olarak, doğru çizgiler yerine, yüzey üzerindeki bir yerden bir başka yere en kısa yolu veren çizgileri alacağız. Böyle çizgilere "geodiziler" adı verilir. Dünya üzerindeki geodiziler, büyük dairelerdir. Genellikle, eğer yüzeyi terk etmiyorsanız, bir noktadan bir noktaya gidilen en kısa yol bunlardır. Bir yüzeyin gerçek geometrisinde, doğru çizgilerin yerlerini bunlar alırlar. Bir üçgenin açılarının iki dik açıyı bulup bulmadıklarından söz ettiğimizde, kenarları geodizik olan üçgendir söz konusu olan. Ve iki nokta arasındaki uzaklıktan söz ettiğimizde, bir geodizi boyunca olan uzaklık demek istiyoruz.

Bu genelleştirme sürecimizde atacağımız yeni adım, oldukça zordur; bu Öklidsel olmayan geometriye geçiştir. Uzayı üç boyutlu olan bir dünyada yaşıyoruz ve bizim uzay konusundaki deneysel bilgimiz, küçük uzaklık ve açıların ölçümleri temeline dayanmaktadır. (Küçük uzaklıklar dediğim zaman, astronomideki uzaklıklarla karşılaştırdığımızda, küçük olan uzaklıkları kastediyorum; bu anlamda yer üzerindeki bütün uzaklıklar küçüktür.) Eskiden, uzayın Öklidsel olduğundan önsel olarak kuşku duymamamız gerektiği sanılırdı; örneğin, bir üçgenin açılarının iki dik açıyı tamamlamaları. Ama bunu usavurma ile kanıtlayamayacağımız anlaşıldı; eğer bu bilinecekse, ölçümlerin sonucu olarak bilinmeliydi. Einstein'dan önce ölçümlerin Öklid geometrisini erişilebilecek en son sınırlar içinde doğruladıkları sanılıyordu, şimdi artık böyle düşünülmemektedir. Küçük bir bölge içinde, örneğin dünya gibi, doğal bir ustalık diye adlandı-

racağımız bir yolla, Öklid geometrisinin doğru gözükmesine yol açabileceğimiz bugün de bir gerçektir, ama çekimin izahında, Einstein, maddenin bulunduğu geniş bölgelerde, uzaya Öklidsel olarak bakamayacağımız görüşüne ulaştı. Bunun nedenleri bizi daha sonra ilgilendirecektir. Bizi şimdi ilgilendiren, Gauss'un çalışmasının bir genellemesinden, Öklidsel olmayan geometrinin nasıl çıktığıdır.

Üç boyutlu uzayda, bizim, örneğin bir kürenin yüzeyi üzerinde sahip olduğumuz koşulların benzerine sahip olmamamız için hiçbir neden yoktur. Bir üçgenin açılarının toplamının her zaman iki dik açıdan fazla olacağı ve bu fazlalığın üçgenin büyüklüğüyle orantılı olacağı durumlar olabilir. İki nokta arasındaki uzaklık, bir küre düzeyindeki uzaklığa benzeyen, ama iki nicelik yerine üç nicelik içeren bir formülle verilebilir. Böyle bir durumun olduğu ya da olmadığı ancak gerçek ölçümlerle ortaya çıkarılabilir. Sonsuz sayıda böyle olanaklar vardır.

Bu yoldaki iddia, Reimann tarafından, Gauss'un yüzeyler üzerinde yapmış olduğu çalışmayı farklı türde üç boyutlu uzaylara uyguladığı, "Geometriyi oluşturan hipotezler üzerine" (1854) adlı tezinde, geliştirildi. Bir tür uzayın bütün temel özelliklerinin, küçük uzaklıklar için geçerli olan formülden çıkarılabileceğini gösterdi. Verilen üç yöndeki küçük uzaklıklardan –bunlar, sizi, birbirinden uzak olmayan bir noktadan bir ötekine götürür– iki nokta arasındaki uzaklığın hesaplanabileceğini kabul etmişti. Örneğin, eğer siz, bir noktadan bir başka noktaya, önce belirli bir uzaklıkta doğuya, sonra belirli bir uzaklıkta kuzeye ve daha sonra da belirli bir uzaklıkta dimdik yukarı havaya doğru hareket ederek ulaşabileceğinizi biliyorsanız, bu durumda, bir noktadan bir başka noktaya olan uzaklığı hesaplayabiliyorsunuz demektir.

Bu hesap için kural, Pisagor teoreminin bir uzantısıdır, şu anlamda ki, istenilen uzaklığın karesine, uzaklık parçalarının karelerinin çarpımlarının toplanması ile, belki de sonuçların

çarpılması ile, ulaşılır. Formüldeki belirli özelliklerden, ne tür bir uzayla uğraşmak zorunda olduğunuzu söyleyebilirsiniz. Bu özellikler, noktaların konumlarının belirlenmesinde uyarladığımız özel yöntemle bağımlı değildir.

Rölativite kuramı ile ilgili isteğimize kavuşabilmek için, şimdi yapmamız gereken bir genelleme daha vardır: Olaylar arasındaki "aralığı", noktalar arasındaki uzaklığın yerine koymamız gerekiyor. Bu, bizi, uzay-zamana götürür. Daha önce de gördüğümüz gibi, özel rölativite kuramında, aralığın karesi, olaylar arasındaki uzaklığın karesinin, aralarındaki zaman içinde ışığın yol alacağı uzaklığın karesinden çıkarılarak bulunur. Genel kuramda, aralığın bu özel biçimini düşünmüyoruz. Riemann'ın uzaklıklar için kullandığının benzeri bir genel biçimle başlamayı düşünüyoruz. Öte yandan, Riemann gibi, Einstein da, formülünü sadece *komşu* olaylar için, yani aralarında sadece küçük bir aralık olan olaylar için düşünmüştür. Bu başlangıç varsayımlarının ötesine uzanan şey, sonraki bölümlerde açıklayacağımız yollarla, cisimlerin gerçek hareketlerinin gözlemine bağımlıdır.

Şimdi, anlatmakta olduğumuz süreci toparlayıp, yeniden koyabiliriz. Üç boyut içinde, sabit bir noktaya ("orijin"e) bağıntılı olarak bir noktanın konumu, üç niceliğin ("koordinat"ın) seçilmesiyle belirlenebilir. Örneğin, bir balonun, sizin eve ilişkin olarak konumu eğer önce verilen bir uzaklıkta doğuya, sonra verilen bir başka uzaklıkta kuzeye ve daha sonra da verilen üçüncü bir uzaklıkta yukarı doğru gidilerek ona ulaşacağınızı biliyorsanız, saptanmıştır. Üç koordinat, bu durumda olduğu gibi, birbirine dik üç uzaklıktır, ardışık olarak alınınca, sizi orijinden söz konusu olan noktaya getirirler, bu noktaya doğrudan doğruya olan uzaklığın karesi, üç koordinatın karelerinin toplamı ile elde edilir. Her durumda, bu uzaklık, ister Öklidsel uzayda olsun, ister Öklidsel olmayan uzayda olsun, seçilen bir kurala uygun olan koordinatların çarpımları ve karelerinin katlarının toplanmasıyla elde edi-

lir. Bir noktanın konumunu saptayan koordinatlar herhangi bir nicelikte olabilirler, yeter ki, komşu noktalar da, koordinat olarak komşu niceliklere sahip olsunlar. Genel rölativite kuramında, zamanı verecek bir dördüncü koordinat ekleriz ve formülümüz, uzaysal uzaklık yerine, "aralık"ı verir; ayrıca formülümüzün kusursuzluğunu sadece küçük uzaklıklar için düşünürüz.

Şimdi, artık, Einstein'ın gravitasyon yasası ile ilgilenmeye sıra geldi.

8

Einstein'ın Gravitasyon[8] Yasası

Einstein'ın gravitasyon yasasına girmeden önce, Newton'un gravitasyon yasasının tümüyle doğru olamayacağına, mantık temeline dayanarak kendimizi inandırmamız iyi olur.

---

8 Aşağıdaki kısa açıklamadan da anlaşılacağı gibi, doğada "çekici" ya da "itici" olarak bilinen kuvvetler, yalnızca gravitasyonal etkileşmeler değildir. Bu nedenle "gravitasyon"a "çekim" demek yanlıştır. Onun için biz, "çekim" yerine, İngilizcesine bağlı kalıp, "gravitasyon" demeyi daha uygun bulduk.
Doğada bilinen dört temel-etkileşme vardır; bunlar keşfediliş sırasına göre şöyledir:

1) Gravitasyonal etkileşmeler; Newton'a göre iki cisim, birbirlerini, kütlelerin çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak çekerler. Bu etkileşme nedeniyle, dünyamız, odaklarından birinde Güneş bulunan, bir elips çizerek hareket eder. Einstein ise, bu etkileşmeyi genelleştirmiş ve Newton yasası ile açıklanamayan olayları açıklamıştır.
2) Elektromanyetik etkileşmeler: Elektrik yüklü iki cismin, birbirlerini, elektrik yüklerinin çarpımıyla doğru, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak çekmesi ya da itmesi, buna örnektir. Elektrik yüklü iki cismin durağan haldeki bu etkileşmesine, elektriksel etkileşme denir. Öte yandan, manyetik etkileşmeler de buna bir örnektir. Ama gerçek kuram, ikisini de kapsar ve J. C. Maxwell denklemleri olarak bilinir. Elektromanyetik etkileşmeler, gravitasyonal etkileşmelerden daha büyüktür.
3) Zayıf etkileşmeler: Çekirdeklerde b-bozunumu olarak bilinen bu etkileşme, elektromanyetik etkileşmeden daha küçük, ama gravitasyonal etkileşmeden daha büyüktür.
4) Kuvvetli etkileşmeler: Çekirdek-altı tanecikler (proton, nötron gibi) arasındaki etkileşmelerdir. Öteki etkileşmelerden çok daha büyüktür. (Çev. n.)

Newton, herhangi iki madde taneciği arasında, kütlelerin çarpımı ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı bir kuvvet bulunduğunu söylemiştir. Yani, şimdilik kütle sorununu bir yana bırakarak, tanecikler birbirlerinden bir mil uzaklıkta iken belirli bir çekim var ise, tanecikler iki mil birbirlerinden uzaklaştıklarında, bunun çeyreği kadar bir çekim olacak, üç mil uzaklıkta oldukları zaman, ilkinin dokuzda biri kadar bir çekim olacak ve öylece sürecektir bu; çekim, uzaklığın artışından daha çabuk azalmaktadır. Şimdi kuşku yok ki, Newton, uzaklıktan söz ederken, verilen bir zamandaki uzaklığı kastediyordu: Zaman konusunda herhangi bir anlaşmazlığın olamayacağını düşünmüştü. Ama bunun bir hata olduğunu gördük. Bir gözlemcinin yeryüzünde ve güneşte aynı an olarak vardığı yargı, bir başkası tarafından farklı iki an olarak değerlendirilecektir. "Verilen bir andaki uzaklık" öznel bir kavramdır ve kozmik bir yasa içine alınması oldukça zordur. Kuşkusuz, zamanı Greenwich gözlemevinin değerlendirdiği gibi değerlendireceğimizi söyleyerek, yasamızı anlaşılır hale getirebilirdik. Ama dünyanın kendi raslansal koşullarının böylesine ciddiye alınması gerektiğine inanmak zordur. Ve uzaklık değerlendirmesi de farklı gözlemcilere göre değişir. Onun için, biz gravitasyon yasasının Newton biçimini çok doğru kabul edemeyiz, çünkü bu benimsediğiniz birçok eşit derecede geçerli yollara göre, farklı sonuçlar verecektir. Bu, adamın birinin bir başkasını öldürüp öldürmediğinin, onların öz adları ya da soyadları ile ifade edilip edilmediklerine dayandırılması kadar saçmadır. Açıktır ki, fizik yasaları, uzaklıklar ister mil ile ister kilometre ile ölçülsün, aynı olmak zorundadırlar ve bizim ilgili olduğumuz, aynı ilkenin temel olarak yalnızca bir uzantısıdır.

Ölçümlerimiz, özel rölativite kuramının elverdiğinden de daha büyük çapta, gelenekseldir. Ayrıca, her ölçüm, fiziksel gereçle yürütülen fiziksel bir süreçtir; sonuç, kuşku yok ki, deneysel bir veridir ama bu, ona çoğunlukla atfettiğimiz ba-

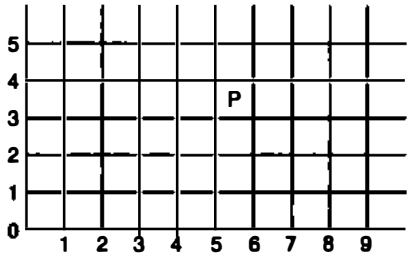
sit yoruma duyarlı olmayabilir. Bu yüzden biz, herhangi bir şeyi, nasıl ölçeceğimizi bildiğimizi kabul ederek işe başlamayacağız. Birbirlerinden geniş ölçüde ayrılmamış iki olay arasındaki bir bağıntı olan "aralık" adındaki belirli bir fiziksel niceliğin varlığını kabul ediyoruz, ama bir önceki bölümde sözünü ettiğimiz gibi, bunun, Pisagor teoreminin bir çeşit genellemesinden elde edileceğini kabul etmemizin ötesine geçemiyor ve nasıl ölçüleceğini bildiğimizi önceden varsaymıyoruz.

Böyle olmakla birlikte, biz, olayların bir *sırası* olduğunu ve bu sıranın dört boyutlu olduğunu varsayıyoruz. Yani biz, belirli bir olayın, bir ötekine, bir üçüncüsünden daha yakın olduğunu söylemekle, ne demek istediğimizi bildiğimizi kabul ediyoruz, öyle ki, doğru ölçümler yapmadan önce, bir olayın "komşuluğu"ndan söz edebiliyoruz; uzay-zaman içinde, bir olayın konumunu saptamada dört niceliğe (koordinatlara) gerek olduğunu kabul ediyoruz; örneğin, önceki bir hava gemisindeki patlama olayımızda, enlem, boylam, yükseklik ve zaman gereklidir. Ama komşu olaylar için komşu koordinatlar seçilmiş olmasının dışında, bu koordinatların hangi yolla seçileceği konusunda, herhangi bir varsayımımız yoktur.

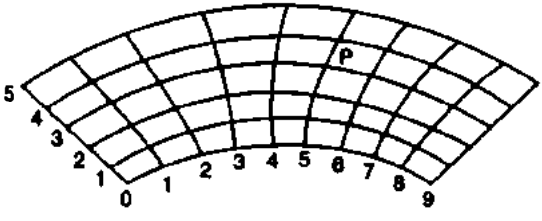
Koordinat adı verilen bu sayıların seçilme yolu, ne tümüyle keyfe bağlıdır, ne de dikkatli bir ölçüm sonucudur; ikisinin arasında bir yerdedir. Sürekli bir yolculuk yaparken, koordinatlarınız, birdenbire bir sıçrama ile hiç değişmemelidir. Amerika'da (diyelim) 14'üncü ve 15'inci sokak arasında kalan evlerin numaralarının 1400 ve 1500 olduğu görünürken, 15'inci ve 16'ncı sokak arasında kalan evlerin numaralarının, 1400'ler kullanılmamış olsa bile, 1500 ve 1600 numaraları olduğu görülür. Bu bizim amacımıza uymamaktadır, çünkü bir bloktan, bir sonraki bloka geçerken birdenbire bir sıçrama vardır. Ya da zaman koordinatını aşağıda gösterilen yolda seçebilirdik. Smith adındaki kimselerden, ikisinin ardışık doğumları arasında geçen zaman süresini alalım; 3000'inci ve

3001'inci Smith'in tarihte geçen doğumları arasında olan bir olay, 3000 ve 3001 arasında kalan bir koordinata sahip olacaktır; koordinatının kesirli parçası, 3000'inci Smith'in doğumundan bu yana geçen yılın kesiri olacaktır. (Smith ailesine ardışık iki katılma arasında geçen sürenin hiçbir şekilde bir yıla ulaşmayacağı ortadadır.) Zaman koordinatlarının bu yolla seçilmesi, kusursuz belirginliktedir, ama bizim amacımız için bu yeterli değildir, çünkü Smith'in hemen doğumundan önce ve hemen doğumundan sonraki olaylar arasında ani sıçramalar olacaktır, böylece sürekli yolculuğunuz içinde, zaman koordinatınız, sürekli olarak değişmeyecektir. Ölçümden bağımsız olarak, sürekli yolculuğun ne demek olduğunu bildiğimiz varsayılmaktadır. Ve uzay-zaman içinde konumunuz, süreklilik içinde değiştiğinde; her dört koordinatınız da, süreklilik içinde değişmek zorundadır. Bunlardan biri, ikisi, ya da üçü hiç değişmeyebilir; ama nasıl bir değişme olursa olsun, ansızın atlamalar olmadan, değişmeler yumuşak olmalıdır. Bu, koordinatların seçiminde neyin kabul *edilemeyeceğini* açıklamaktadır.

Koordinatlarınızdaki bütün geçerli değişimleri açıklayabilmek için, büyük bir parça, yumuşak Hint kauçuğu aldığınızı düşünelim. Kauçuk gerilmemiş halde iken, her biri bir inç'in onda biri uzunlukta olacak şekilde, kauçuğu karelere ayırın. Karelerin köşelerine, ince küçük iğneler saplayın. Verilen bir iğneden sağa doğru, koordinatını saptayacağınız iğnenin tam altına gelene kadar geçmiş olduğumuz iğne sayısı ile buradan yukarı doğru çıkarken iğneye ulaşana dek geçtiğimiz iğne sayısını, bu iğnelerden birinin iki koordinatı olarak alabiliriz. Şekilde, O başlangıç iğnemiz, P de koordinatını saptamak istediğimiz iğne olsun, P, beşinci sütun, üçüncü sıradadır, böylece P'nin Hint kauçuğu düzlemi üzerindeki koordinatı, 5 ve 3'tür.



Şimdi Hint kauçuğunu alarak, istediğiniz gibi, gerin ve bükün. Yine iğneler ikinci şekilde olduğu gibi bulunsunlar. Bölümler artık daha bizim alışageldiğimiz kavramlara uygun uzaklıkları temsil etmezler; temsil etmezler, ama yine de aynı geçerlikte koordinat görevi yapacaklardır. P'yi, yine Hint kauçuğu düzlemi üzerinde 5 ve 3 koordinatıyla gösterebiliriz ve Hint kauçuğuna, onu bildiğimiz düzlemden uzaklaştıracak şekilde bükmüş olsak bile, yine bir düzlem gözüyle bakabiliriz. Böylesine sürekli bir çarpıklığın bir önemi yoktur.



Bir başka örnekleme alalım: koordinatlarımızın saptanmasında çelik bir ölçü çubuğu yerine, her zaman kıvrılmakta olan canlı bir yılanbalığı kullanalım. Koordinatlar açısından, yılanbalığının kuyruğundan başına kadar olan uzaklık o anda hayvanın alacağı biçim ne olursa olsun, 1 olarak değerlendirilir. Yılanbalığı süreklidir ve kıvrımları da süreklidir, o yüzden koordinat seçiminde, uzaklık birimimiz olarak

alınabilir. Sürekliliğin gerekliliği ötesinde, koordinatların seçim yöntemi, tümüyle gelenekseldir ve bu nedenle canlı bir yılanbalığı tıpkı bir çelik çubuk kadar kullanışlıdır.

Gerçekten dikkatli ölçümler için, çelik bir çubuk kullanılmasının, canlı bir yılanbalığı kullanmaktan daha iyi olduğunu düşünme eğilimindeyiz. Bu yanlıştır: bu çelik çubuğun ifade ettiği düşünülen şeyi, yılanbalığının ifade etmesinden ötürü değil, çelik çubuğun, yılan balığının açıklıkla yaptığından daha fazlasını ifade etmeyişinden ötürüdür. Mesele, yılanbalığının gerçekten olmayışı değil, çelik çubukların gerçekte kıvrılmalarıdır. Bir gözlemci öylesine bir hareket olanağı içinde olur ki, çelik çubuk, tıpkı yılanbalığının bize göründüğü gibi kıvrılırken, yılanbalığı katı görünür. Hem bizden ve hem de bu gözlemciden farklı olarak hareket eden herkes için, hem çelik çubuk, hem de yılanbalığı, kıvrımlı görünebilecektir. Gözlemciden birinin doğru, ötekinin yanlış olduğu konusunda bir şey söylenemez. Böyle durumlarda, görülen şey tek başına gözlenen fiziksel sürece bağlı değildir, aynı zamanda gözlemcinin bakış açısına da bağlıdır. Uzaklık ve zaman ölçümleri, doğrudan doğruya ölçülen şeylerin özelliklerini değil, ölçenle şeyler arasındaki ilişkiyi ortaya koyar. Onun için, fiziksel dünya konusunda, gözlemin bize söyleyebileceği, şimdiye kadar inanmış olduğumuzdan da daha soyuttur.

Geometrinin, Yunan zamanlarından bu yana okullarda öğretildiği gibi, ayrı bir bilim olmaktan çıkıp, fizik içine karışmış olduğunu kabul etmek önemlidir. İlksel geometrideki iki temel kavram, doğru ve daire idi. Size, o anda bütün parçaları var olan bir doğru yol olarak gözüken şey, bir başka gözlemciye, parçaları ardışık olarak oluşmakta olan bir çeşit eğri, bir roket uçuşu gibi gözükebilir. Daire, bir merkeze, verilen bir uzaklıktaki noktalardan oluştuğuna göre, uzaklıkların ölçümüne bağımlıdır. Ve gördüğümüz gibi, uzaklık ölçümleri, gözlemcinin hareket etmekte olduğu yola bağımlı, öznel bir iştir. Dairenin nesnel geçerliliğe sahip olmayışı Michelson-

Morley deneyi ile sergilendi ve böylelikle, bir anlamda, tüm rölativite kuramının hareket noktası oldu. Ölçüm için gerek duyduğumuz katı cisimler, sadece belirli gözlemciler için katıdır; başka gözlemciler için, bunlar durmadan boyutlarını değiştiriyor olacaklardır. Fiziğin geometriden ayrı olma olanağının bulunduğunu bize varsaydıran, yalnızca bizim inatla yere bağlı imgelerimizdir.

Baştan beri, koordinatlarımıza fiziksel belirginlik vermek sıkıntısına girmeyişimizin nedeni budur. Eskiden, fizikte kullanılan koordinatlar, özenle ölçülen uzaklıklar olarak kabul edilirdi; şimdi başlangıçtaki bu özenin bir yana atıldığını görüyoruz. Bu özen, daha sonraki bir aşamada gereklidir. Şimdi koordinatlarımız, olayları sıralamanın düzenli bir biçiminden öte bir şey değildir. Ama matematik, tensör yöntemi ile öylesine sınırsız güçte bir teknik sağlar ki bize, bununla, böylesine açık bir özensizlikle seçilen koordinatları, tıpkı, bunlara varmakta en ince doğruluktaki ölçümlerin tüm aygıtını uygulamışçasına etkili olarak kullanabiliriz. Başta rasgele olmanın yararı, koordinatlarımızın başlangıçta bazı fiziksel belirginliklere sahip olduğunu düşündüğümüzde, pek zor kaçındığımız üstü örtülü fiziksel varsayımların yapılmasının önlenmiş olmasıdır.

Bütün gözlemlenen, fiziksel görüngülerden habersiz ilerlemeyi denemenin hiç de gereği yoktur. Belirli şeyler biliyoruz. Koordinatlarımız belirli bir şekilde seçildiğinde, eski Newton fiziğinin, doğruya çok yakın olduğunu biliyoruz. Biliyoruz ki, uygun koordinatlar için, özel rölativite kuramı, doğruya daha çok yakındır. Bu çeşit gerçeklerden, mantıksal bir tümdengelim ile yeni kuramın postülaları olarak ortaya çıkan, yeni koordinatlarımız konusunda belirli bir şeyler çıkarabiliriz.

Bu postülalar olarak şunları alıyoruz:

1. Komşu olaylar arasındaki aralık, Riemann'ın uzaklıklar için kullandığı gibi, genel bir biçim alırlar.
2. Her cisim, gravitasyonal olmayan güçler onu etkilemediği sürece, uzay-zaman içinde bir geodizi üzerinde yol alır.
3. Bir ışık ışını, herhangi iki bölümü arasındaki aralık sıfır olacak şekilde, bir geodizi üzerinde yol alır.

Bu postülaların her biri, bazı açıklamalar istiyor.

Birinci postülamız için gerek olan şu: eğer iki olay, birbirlerine yakın iseler (öteki türlü olmaları da mutlaka gerekli değildir), bir önceki bölümde incelediğimiz bir tür formül ile, koordinatları arasındaki farklardan hesaplayabileceğimiz bir aralık vardır. Yani koordinatların farklarının karelerini ve çarpımlarını alırız, onları uygun bir miktar (genel olarak yerden yere değişecek olan) ile çarpar ve sonuçları hep birlikte toplarız. Elde edilen toplam, aralığın karesidir. Karelerin ve çarpımların, hangi miktarlarla çarpılması gerektiğini bildiğimizi önceden varsaymıyoruz; bu, fiziksel görüngünün gözlenmesi ile bulunacaktır. Ama biz, Riemann matematiği öyle olduğunu gösterdiği için, özel rölativite kuramında bulmuş olduğumuz özel biçimin, hemen hemen aynısı olan aralığı elde edebilecek şekilde herhangi bir küçük uzay-zaman bölgesi içinde, koordinatları seçebileceğimizi biliyoruz. Özel kuramın sınırlı bir bölgeye uygulanabilmesi için, bu bölgede hiç gravitasyon olmaması gerekli değildir; hemen hemen bütün bölge boyunca, gravitasyon yoğunluğunun aynı olması yeterlidir. Bu, bizim, özel kuramı, herhangi bir küçüklükteki bölgelere uygulamamızı olanaklı kılar. Ne denli ufak olması gerektiği, yakın çevresine bağlıdır. Yerin yüzeyi üzerinde, yerin eğriliği ihmal edilebilecek kadar küçük olması yeterlidir. Gezegenler arasındaki uzayda, sadece, bölge içinde güneş ve gezegenlerin çekimlerinin hissedilir ölçüde sabit olmasına yetecek kadar küçük olması yeterlidir. Yıldızlar arasındaki uzayda, öl-

çülebilecek yanlışlıklar getirmeden, çok büyük –bir yıldızdan bir sonrakine olan uzaklığın yarısı diyelim– olabilir.

Böylece, çekici maddeden çok büyük bir uzaklıkta, hemen hemen Öklidsel bir uzay elde edebilecek şekilde koordinatlarımızı seçebiliriz, bu, gerçekte, özel rölativite kuramının uygulandığını söylemenin sadece bir başka yoludur. Maddenin yakın çevresinde, çok küçük bir bölge içinde, uzayımızı yine Öklid'inkine çok yakınlaştırdığımız halde, gravitasyonun duyulabilir şekilde değiştiği bir bölgede, böyle yapamayız; en azından, eğer yaparsak, sadece gravitasyonal kuvvetler altında hareket eden cisimler, geodiziler üzerinde hareket ederler şeklindeki ikinci postülada ifade edilen görünüşü bırakmak zorunda kalırız.

Gördük ki, bir yüzey üzerinde bulunan geodizi, yüzey üzerindeki bir noktadan, bir öteki noktaya çizilebilen en kısa çizgidir; örneğin, yeryüzeyi üzerinde geodiziler büyük dairelerdir. Uzay-zaman konusuna geldiğimizde, matematik aynıdır, ama sözlü açıklamaları, oldukça farklı olmak zorundadır. Genel rölativite kuramında, birinden ötekine giderken geçtiğimiz yoldan bağımsız olarak, belirli bir aralığa sahip olanlar, sadece komşu olaylardır. Birbirlerinden uzakta bulunan olaylar arasındaki aralık, izlenen yola bağlıdır ve yol bir sürü küçük parçalara ayrılarak, bu değişik parçaların aralıklarının toplanmasıyla hesaplanır. Eğer aralık uzaysal ise, bir cisim bir olaydan bir başka olaya gidemez, bu yüzden cisimlerin hareket yolu söz konusu olduğu zaman, zamansal aralıkların sınırları içerisinde kalırız. Komşu olaylar arasındaki aralık zamansal olduğunda, bu aralık, bir olaydan, öteki olaya giden bir gözlemci için, ikisi arasında geçen zaman olarak ortaya çıkacaktır. Ve böylece, iki olay arasındaki bütün aralık, bir olaydan bir ötekine giden bir kimsenin, yolculuğuyla aldığı zamanın kendi saatinde gösterdiği süre olacaktır. Kimi yollar için bu zaman uzun, kimi yollar için kısa olacaktır; adam ne kadar yavaş yol alırsa, yolculuğunun o kadar uzun olduğunu

düşünecektir. Bu yavan bir laf olarak alınmamalıdır. Demiyorum ki, Edinburg'tan Londra'ya yolculuk yaparken, daha yavaş gittiğinizde, yolculuğunuz daha uzun sürecektir. Daha garip bir şeyler söylüyorum. Ben diyorum ki, eğer Londra'yı Greenwich saatiyle öğleden önce saat onda terk ettiyseniz, öğleden sonra saat 6.30'da Edinburg'a vardıysanız, ne kadar yavaş giderseniz, o kadar uzun sürede varacaksınız, eğer zaman sizin saatinizle belirleniyorsa. Bu çok farklı bir önermedir. Yerde bulunan bir kimse açısından, yolculuğunuz sekiz buçuk saat alır. Ama eğer siz, güneş sistemi etrafında dolaşan bir ışık ışını olsaydınız. Öğleden önce saat 10'da Londra'dan hareket ederek, Jüpiter'den Satürn'e yansıyıp, ondan ötekilerine yansıyarak öğleden sonra 6.30'da Edinburgh'da dönecek şekilde yolculuk yapsaydınız, yolculuğunuzu hiç zaman almadan yaptığınız yargısına varacaktınız. Ve eğer, daha çabuk yol alarak, zamanında varmanızı sağlayan dolambaçlı bir yol izleseydiniz, yolunuz ne kadar uzunsa, o kadar daha az zaman harcadınız kanısına varacaktınız; hızınız ışık hızına yaklaştıkça, zaman kısalması da sürekli olacaktır. Şimdi ben diyorum ki, bir cisim yol alırken, eğer kendi haline bırakılmışsa, yolculuğun iki evresi arasındaki zamanı olabildiğince uzatabilecek yolu seçer; eğer bir olaydan, öteki bir olaya, bundan başka herhangi bir yolla gitmiş olsaydı, onun kendi saatiyle ölçülen zaman daha kısa olurdu. Bu, kendi hallerine bırakılan cisimlerin yolculuklarını yapabildikleri kadar yavaş yapacaklarını söylemek demektir; bir tür kozmik tembellik yasasıdır bu. Bunun matematiksel anlatımı şudur; cisimler yolculuk sırasındaki herhangi iki olay arasındaki toplam aralığı, herhangi bir farklı yolun aralığından daha büyük olduğu geodiziler üzerinde alırlar. (Az değil, daha büyük olması gerçeği, konumuz olan aralık türünün, uzaklıktan çok, zamanı andırması gerçeğine dayanır.) Örneğin, eğer bir kimse yeryüzünü terk edip, bir süre dolaştıktan sonra, geri dönebilse, hareketiyle dönüşü arasındaki zaman, kendi saatiyle, yerde bulunanların

saatiyle gösterilen zamandan daha az olacaktır: dünya, güneş çevresindeki yolculuğunda, yörüngesinin herhangi bir küçük bölümündeki zamanı, kendi saatiyle, farklı bir yolda hareket eden saatlerin gösterdikleri zamandan daha uzun yapacak yolu seçer. Uzay-zaman içinde, cisimlerin, kendi hallerine bırakıldıklarında, geodiziler üstünde hareket ettiklerini söylemekle anlatılmak istenilen budur.

Uzay-zamanın Öklidsel olmadığının düşünüldüğünü akılda tutmak önemlidir. Geodiziler açısından, bu uzay zamanın, dağlık bir arazi gibi olması etkisi vardır. Bir madde parçası çevresinde, önceden de olduğu gibi uzay-zaman içinde bir tepe vardır; bu tepe, doruğa yaklaştıkça, şampanya şişesinin boynu gibi dikleşir. Sarp bir uçurumla sona erer. Bu durumda, biraz önce sözünü ettiğimiz kozmik tembellik yasasıyla, tepenin yakınlarına gelen bir cisim, tepenin üstüne dikine çıkmaya yeltenmeyecektir, onun çevresini dolanacaktır. Einstein'ın çekim konusundaki görüşünün özüdür bu. Bir cisim ne yapıyorsa, uzakta bulunan bir cisimden gelen bazı gizli güçlerden ötürü değil, kendi yakınında bulunan uzay-zamanın niteliğinden ötürü yapıyor.

Bir benzetme, konuyu aydınlığa kavuşturmaya yardım edecektir. Karanlık bir gecede, engin bir ovada, ellerinde fenerleriyle, şu yana bu yana gidip gelen bazı insanlar düşünelim ve yine tutalım ki, bu ovanın bir yerinde doruğunda ateş yanan bir tepe var. Bizim tepe, yukarda anlattığımız gibi, yukarı yükseldikçe, giderek dikleşiyor ve bir uçurumla son buluyor. Ovanın orasına burasına dağılmış köylerin bulunduğunu, eli fenerli kimselerin bu köylerden gelip, köylere gitmekte olduklarını varsayacağım. Yollar, bir köyden bir başka köye en kolay olarak gidilebilecek biçimde yapılmıştır. Bu yolların hepsi, tepenin fazla yukarısına çıkmayı önlemek için, az çok kıvrımlıdır; tepenin doruğuna yaklaştıkça, yolların kıvrımları, doruktan uzak oldukları haldekinden daha keskin olacaklardır. Şimdi, sizin bütün bunları yüksekte bulunan bir

yerdeki balondan, elinizden geldiğince gözlediğinizi, öyle ki, yeri göremediğinizi, ama fenerleri ve tepede yanan ateşi gördüğünüzü düşünelim. Bir tepenin olduğunu, ya da ateşin tepenin doruğunda yandığını bilmeyeceksiniz. İnsanların ateşe yaklaştıkça, doğru yollarından saptıklarını ve ne kadar çok yaklaşırlarsa, o kadar çok döndüklerini göreceksiniz. Doğal olarak siz bunu ateşin bir etkisine yoracaksınız; belki de ateşin çok sıcak olduğunu, insanların yanmaktan korktuklarını sanacaksınız. Ama eğer gündüz olmasını beklerseniz, tepeyi görürsünüz ve ateşin sadece tepenin doruğunu belirlediğini, eli fenerli insanları hiçbir şekilde etkilemediğini anlarsınız.

Şimdi bu benzetmede, ateş güneşe karşılıktır, elleri fenerli insanlar, gezegen ve kuyruklu yıldızlara karşılıktır, yollar yörüngelere karşılıktır ve gün ışığının doğuşu ise, Einstein'ın gelişine karşılıktır. Einstein, güneşin, tepenin doruğunda bulunduğunu söylüyor, ancak tepe, uzay içinde değil, uzay-zaman içerisindedir. (Okura, bunu kafasında canlandırmayı denememesini öğütlerim, çünkü olanaksızdır bu.) Her cisim, her anda, kendine açık olan en kolay yörüngeyi seçer, ama tepe nedeniyle, en kolay yol, doğru bir çizgi değildir. Maddenin, her küçük parçası, kendi çöplüğündeki horoz gibi, kendi küçük tepeciğinin doruğunda bulunur. Maddenin büyük parçası dediğimiz şey, büyük bir tepe üzerinde bulunan bir parçadır. Tepe, bildiğimiz şeydir; dorukta bulunan madde parçası kolaylık yönünden düşünülmüştür. Belki de böyle düşünmenin hiç de gereği yoktur, tek başına tepe ile yetinebilirdik, çünkü hiçbir zaman başka birinin tepesinin doruğuna çıkamayız ve bu, dövüşken bir horozun, onu özel olarak kızdırmak için, aynaya yansıtılmış bir kuşu aynada görerek dövüşmeye uğraşmasından pek farklı değildir.

Ben ancak, Einstein'ın gravitasyon yasasının niteliksel bir açıklamasını vermiş bulunuyorum; onun eksiksiz nicel formülasyonlarını vermek, benim burada kendimi sınırladığım matematikten daha fazlası olmadan, olanaksızdır. Onunla il-

gili olarak en ilginç nokta, artık yasayı uzakta bulunan etkinin bir sonucu olarak ortaya koymamasıdır; güneş, hangisi olursa olsun, gezegenler üzerine kuvvet uygulamaz. Tıpkı geometrinin fizik oluşu gibi, bir anlamda da fizik, geometri olmaktadır. Gravitasyon yasası, herkesin bir yerden bir yere giderken en kolay yörüngeyi izlediğini ifade eden geometrik yasa haline almaktadır, ama bu yörünge, yol boyunca karşılaşılan, dere ve tepelerle etkilenmektedir.

Biz elimizdeki cismin sadece gravitasyonal kuvvetle etkilendiğini düşünüyorduk. Şimdilik biz, elektromanyetik kuvvetlerin ya da atom-altı taneciklerin kuvvetlerinin etkileri ile değil, gravitasyon yasasıyla ilgileniyoruz. Bütün bu kuvvetleri, genel rölativitenin içine yerleştirmek için, Einstein'ın kendisi tarafından, birkaçını belirtirsek, Weyl, Kaluza ve Klein tarafından birçok girişimler oldu, ama bu girişimlerin hiçbiri tümüyle doyurucu değildi. Şimdilik bu işi bir yana itebiliriz, çünkü gezegenler, tüm olarak, dikkate değer elektromanyetik ya da atom-altı kuvvetlerle karşı karşıya değillerdir; hareketlerinde hesaba katılması gereken sadece gravitasyondur; bu bölümde bizi ilgilendiren de, budur.

Işık ışını, iki parçası arasındaki aralık sıfır olacak biçimde yol alır şeklindeki üçüncü postülamızın yararı şudur ki, bu postülanın sadece küçük uzaklıklar için ileri sürülmek zorunluğu yoktur. Eğer her küçük aralık parçası sıfır ise, onların toplamı da sıfırdır ve hatta aynı ışık ışının çok uzun parçaları da sıfır aralıklıdır. Bu postülaya göre, ışık ışının yörüngesi de geodiziktir. Böylece bizim, uzay-zamandaki geodizilerin, yani ışık ışınlarının ve serbestçe hareket eden cismin, neler olduklarını bulmada, iki deneysel yolumuz vardır. Serbestçe hareket eden cisimler arasında dikkate değer elektromanyetik ya da atom-altı kuvvetlerle tümüyle karşı karşıya kalmayanlar; yani, güneş, yıldızlar, gezegenler, uydular ve en azından boşluk içinde düştüklerinde, yere doğru düşen cisimler sayılabilir örneklerdir. Yeryüzünde ayakta durduğunuz zaman,

elektromanyetik kuvvetlerle karşı karşıyasınız: Ayaklarınızın yakınlarındaki elektron ve protonlar, ayaklarınız üzerine tam yerin kütlesel çekimini alt edecek kadar bir itme yaratırlar. Bu, görünüşte katı olan, ama çok yeri boşluk olan yerin içine düşmenizi önler.

9

Einstein'ın Gravitasyon Yasasının Kanıtları

Einstein'ın gravitasyon yasasının Newton'unkinden daha çok benimsenmesinin nedenleri, kısmen deneysel kısmen de mantıksaldır. Biz, birinci nedenle başlayacağız.

Yeni yasa, gezegenler ve onların uydularının yörüngelerin hesaplanmasına uygulandığı zaman, eski yasaya çok yakın sonuçlar verir. Eğer öyle olmasaydı, eski yasadan çıkarılan sonuçlar, hemen hemen tümüyle gözlemle kanıtlanmış olduğundan, yeni yasa doğru olamazdı. Einstein, yeni yasasını, ilk kez, 1915'te yayınladığı zaman, kendi kuramının, eski yasadan daha üstün olduğunu gösterebileceği tek bir deneysel gerçek vardı. Bu, Merkür'ün günberi hareketi adı verilen şeydi.

Merkür gezegeni, öteki gezegenler gibi, güneş odaklardan birinde olmak üzere, güneş etrafında bir elips çizerek hareket etmektedir. Yörüngesinin bazı noktalarında, öteki noktalarına göre, güneşe daha yakındır. Güneşe en yakın bulunduğu noktaya, onun "günberi"si denir. Merkür'ün güneşe en yakın bulunduğu durumdan, bir sonraki en yakın duruma gelebilmesi için, güneşin etrafında tam bir devir yapmadığı, biraz daha fazla yaptığı, gözlemle bulundu. Bu sapma çok küçüktür, bir yüzyılda kırk iki saniyelik bir açıdır. Merkür, bir yüzyılda güneşin etrafında dört yüzden daha fazla devir yaptığına göre, bir günberiden bir sonrakine varması için, bir saniyenin

onda biri kadar bir açı fazlalığı ile bir devri tamamlaması gerekir. Newton kuramından, bu çok küçük sapma, astronomları şaşırtmıştı. Öteki gezegenlerin yol açtığı düzensizliklerin hesabından doğan bir etki vardı, ama bu küçük sapma, bu düzensizlikler hesaba katıldıktan sonra geriye artmaktaydı. Yeni kuram, işte tam bu kalıntıyı hesaba katıyordu. Benzer bir etki, öteki gezegenler söz konusu olduğu zaman da vardır, ama daha küçüktür ve gözlenimi daha güçtür. Bu günberi etkisi, önceleri, yeni yasanın, eski yasaya olan deneysel tek üstünlüğü idi.

Onun ikinci başarısı daha heyecan verici oldu. Geleneksel düşünceye göre, boşluk içinde ışık, her zaman doğru çizgiler içinde yol almalıydı. Maddi taneciklerden oluşmamış olması nedeniyle, çekimle etkilenmemeliydi. Bununla birlikte, ışık güneşin yakınından geçerken, sanki maddi taneciklerden oluşmuş gibi, buna uygun olarak, doğru yolundan sapabileceği olanağı, eski görüşte önemli bir gedik açmadan kabul edilebiliyordu. Ancak, Einstein, kendi gravitasyon yasasına dayanan bir tümdengelimle, ışığın bunun iki katı kadar sapacağını ortaya koydu Yani Einstein, eğer bir yıldız ışığı, güneşin çok yakınından geçiyorsa, yıldızdan gelen bu ışının bir saniye ve bir de saniyenin dörtte üçü kadarlık bir açıyla bükülеceğini gösterdi. Ona karşı olanlar, bu miktarın yarısını kabul etmek eğilimindeydiler. Ne var ki, bir yıldızın, güneş ile hemen hemen aynı çizgide görünebilmesi günlük olaylardan değildir. Buna, ancak tam tutulma sırasında olanak vardır, o anda da, her zaman olmaz bu, çünkü uygun konumda parlak yıldızlar olmayabilir. Eddington, bu açılardan, en iyi günün, yılın 29 Mayıs'ı olduğunu söylemektedir, çünkü bu zamanda, güneşe yakın bulunan birkaç parlak yıldız vardır. İnanılmayacak kadar iyi bir rastlantıyla, 29 Mayıs 1919'da, tam bir güneş tutulması oldu. Gönderilen iki İngiliz Kurulu, tutulma sırasında, güneşe yakın yıldızların fotoğraflarını aldılar ve sonuç, yeni yasanın öngörüsünü doğruladı. Doğruluğun sağlanması ko-

nusunda yeterli özenin gösterilip gösterilmediğinden kuşkulanan bir grup astronom, daha sonraki bir tutulmayı kendileri gözlemleyerek, elde ettikleri tamı tamına aynı sonuçlarla, bu kuşkularını giderdiler. Daha sonraki tutulmaların gözlemlerinin sonuçları, bugün hemen hemen evrensel olarak kabul edilmiş olan yeni kuramın kestirimini doğruladı. Bu o zaman büyük bir heyecan y 'mıştı, ama gözlemlemelerde pek çok hata olabilirdi ve bu nedenle, sonuçlar, sonal olarak değerlendirilemezdi. Daha sonraki tutulma gözlemlerinde, sonuçlar yeni kuramın öngördüğünün bir buçuk, iki katı arasında değişiyordu.

Ne var ki, son zamanlarda keşfedilen, *kuasar* adı verilen yıldız benzeri kaynakların kuvvetli radyo dalgaları arasında, yılın belirli zamanlarında yeryüzünden de görüldüğü gibi, güneşin oldukça yakınından geçen bazı yayılmalar vardır. Işığın sapmasına ilişkin yeni kuramın öngörüsü, aynı ölçüde radyo dalgaları için de geçerlidir, ve birbirlerinden yirmi ya da ona yakın uzaklıkta kurulan iki ya da daha fazla radyo teleskop kullanarak, bu sapmayı daha yüksek bir doğrulukla saptamak mümkündür. Sonuçlar yeni kuramın öngörüleriyle yakın bir uyum içerisindedir.

Yeni kuramın üçüncü deneysel öngörüsü, deney artık, Einstein'ın başında önerdiği yolda yapılmıyor olsa da, çok doğru olarak kanıtlanmıştır. Sözü geçen etkiyi açıklamadan önce, bazı ön açıklamalar gerekmektedir. Bir elementin tayfı, element akkor haline geldiği zaman yayılan ve bir prizma tarafından ayrılabilen, ışığın çeşitli tonlarının belirli çizgilerinden oluşmuştur. Element ister yerde, ister güneşte, ya da isterse bir yıldızda bulunsun (yakın bir yaklaşımla), tayf aynıdır. Her çizgi, belirli bir dalga boyu ile belirli bir renk tonuna sahiptir. Daha uzun dalga boyları, tayfın kırmızı ucuna doğrudur; daha kısaları ise, mor ucuna doğrudurlar. Işık kaynağı, size doğru hareket ettiği zaman, görünürdeki dalga boyları kısalır, tıpkı denizde rüzgâra karşı giderken, dalgala-

rın daha çabuk gelmeleri gibi. Işığın kaynağı sizden uzaklaşıyorsa, aynı nedenle, görünürdeki dalga boyları giderek uzar. Bu, yıldızların bize doğru mu, yoksa bizden uzaklaşarak mı, hareket ettiklerini bilmemizi sağlar. Eğer bize doğru hareket ediyorlarsa, bir elementin tayfındaki bütün çizgiler, birazcık mora doğru kayar; eğer bizden uzaklaşıyorlarsa, kırmızıya doğru kayar. Benzer etkinin, ses için de söz konusu olduğunu, herhangi bir gün görebilirsiniz. Eğer bir istasyonda iseniz ve bir ekspres düdük çalarak geliyorsa, düdüğün tonu, tren size yaklaşırken, sizden uzaklaşırken olandan daha çok tiz gelir. Belki de çok insan, tonun "gerçekte" değişmekte olduğunu sanır, ama gerçekte, duyduğunuz değişiklik, sadece trenin önce size yaklaşıyor ve sonra da uzaklaşıyor olmasında ötürüdür. Trende bulunan kimseler için ses tonunun değişikliği diye bir şey yoktur. Öngörüyü kurgulayan etki, bu *değildir.* Yeni kurama göre, bir atomda olan periyodik bir süreç, atom nerede olursa olsun, aynı zaman "aralığı" kadar sürer. Ama bir yerdeki zaman aralığı, bir başka yerdeki zaman aralığıyla tamı tamına denk düşmez; bu gravitasyonu oluşturan, uzayzamanın "engebeli" niteliğinden gelmektedir.

Kuram yer düzeyindeki bir atomda olan periyodik süreç, yüksek bir binanın çatısında bulunan benzer bir atomdakinden biraz daha yavaş olacaktır. Işık dalgalarının yayılması, aslında bir periyodik süreçtir; eğer bu süreç daha yavaş gerçekleşirse, art arda gelen dalga tepelerindeki aralık daha geniş olacak ve buna bağlı olarak da daha uzun dalga boyları oluşturacaktır. Bunların sonucu olarak, tayfta, verilen herhangi bir çizginin, ışık yerden binanın çatısına gönderildiği zaman, çatıdaki gözlemciye, kendi düzeyindeki bir kaynaktan geldiği zamankinden, tayfın kırmızı ucuna birazcık daha yakın görünür.

Einstein öngörüsü, güneşteki atomların yaydığı ışık dalgalarıyla, yerdeki atomların yaydığı ışık dalgalarının karşılaştırılmasını da içerir. Güneşin yüzeyindeki gravitasyonal alan,

dünya yüzeyindekine göre o kadar kuvvetlidir ki, aralarındaki dalga boyu farkı, yerdeki ile binanın çatısındaki farktan büyüktür, ama güneş ışığındaki etkisini ölçümlemedeki güçlükler öylesine büyüktür ki, varılan sonuçlar yetersiz kaldı. Yıldız ışıklarının ölçümleme durumu da aynıdır, çünkü, orada da aynı etki söz konusudur. İlk öngörü döneminde, karasal bir ölçümleme söz konusu değildi, ama son yirmi beş yıl içerisinde bulunan yeni yöntemler, dalga boyları kusursuz denilebilecek bir doğrulukla bilinen ışık-sinyallerinin gönderilmesini olanaklı kıldı, ve öngörülen etki, şimdi artık, farklı pek çok deneylerle şaşmaz bir biçimde doğrulanmıştır.

Yeni gravitasyon yasasıyla eskisi arasında, bazıları deneyle kesin olarak doğrulanmış başka birçok farklılıklar vardır. Bunlardan en kesin olanlardan biri, 1964 yılına dek, yeni kuramın öne sürülmesinde neredeyse elli yıl sonra, öngörülmemiş olan "zaman gecikmesi" etkisidir.

Bunun nedeni, söz konusu olan zaman gecikmesinin saniyenin birkaç yüz milyonda birinden daha fazla olmaması ve bu kadar kısa zaman ölçümlemesinin ancak son yıllarda olanaklı hale gelmiş olması olabilir. Öngörü, belirlenen bir yerden bir başka yere yol alan bir ışık-sinyalinin, yakınlarında bir gravitasyonel "tepe" varsa, olmayana göre daha uzun sürede ulaşacağıdır. Deneylerde, öngörünün aynı ölçüde geçerli olduğu radar sinyalleri, yerden öteki gezegenlere ya da yapay uydulara gönderiliyor ve yansıtılarak yeryüzüne geri dönüyorlar. Ölçümlemeler, yansıtıcı öge, güneşin gravitasyonel tepe gibi etkileyen daha uzak tarafındayken yapılıyor. Sonuçlar, bazı durumlarda binde bire varan boyutlarda, kuramın öngörülerini oldukça kesin bir biçimde doğruluyor.

Yukarıda değinilen deneyimsel doğrulamalar, göksel cisimlerin hareketleri söz konusu edildiğinde, astronomları yeni kuramla eskinin farklı olduğuna inandırmak için, oldukça yeterlidir, doğru sonuçlar veren, yeni kuramdır. Yeni kuramdan yana olan deneysel veriler tek başına da kalmış

olsalardı, bunlar kesin sonuçlar için yeterli olacaklardı. Yeni yasa ister kesin doğruyu ifade etmiş olsun ister olmasın, eski yasadaki kusurlar son derecede küçük de olsa, yeni yasa gerçeğe, kuşkusuz eski yasadan daha çok yakındır.

Ne var ki, başlangıçta yeni yasanın buluşuna yönelen nedenler, böylesine ayrıntılı türden değillerdi. Daha önceki gözlemlerle hemen doğrulanabilecek Merkür günberisi ile ilgili sonuç bile, ancak kuram tamamlandıktan sonra çıkarılabildi ve böyle bir kuramın bulunmasında ilk esasların hiçbir ögesini taşımıyordu. Bu esaslar, daha soyut mantıksal nitelik taşıyordu. Bunların gözlemlenen gerçeklere dayanmadıklarını söylemek istemiyorum ve demiyorum ki, bunlar, eskiden filozofların kendilerini kaptırdıkları önsel fantezilere benziyor. Benim demek istediğim, bu esasların, eski yasanın yanlış olması gerektiği ve yerine yeni yasaya benzer bir şeylerin konması *gerektiğini* gösteren fiziksel deneylerin, belli genel niteliklerinden çıkarılmış olduklarıdır.

Hareketin rölativitesinden yana olan kanıtlar, daha önceki bölümlerde de gördüğümüz gibi, oldukça kesindir. Günlük yaşantıda, bir şeyin hareket ettiğini söylerken, onun yere göre hareket etmekte olduğunu söylemek istiyoruz. Gezegenlerin hareketleriyle ilgilenirken, onların güneşe göre, ya da güneş sisteminin kitle merkezine göre, hareketlerini göz önünü alıyoruz, güneş sisteminin kendisinin hareket ettiğini söylediğimizde, sistemin yıldızlara göre hareket ettiğini kastediyoruz. "Mutlak hareket" diye adlandırılabilecek fiziksel bir oluş yoktur. Bunun sonucu olarak, fizik yasaları, rölatif hareketlerle uğraşmak zorundadırlar, çünkü olan sadece bu tür hareketlerdir.

Şimdi, iki cisim nasıl hareket ederse etsin, ışığın hızının bir cisme olduğu gibi, ötekine göre de aynı olduğu deneysel gerçeği ile bağlantılı olarak, hareketin rölativitesini ele alıyoruz. Bu, bizi, uzaklıkların ve zamanın rölativitesine götürür. Zaman ve uzaklık, her ikisi de, gözlemciyle bağımlı olduklarına

göre, bu, "iki cisim arasında, verilen bir zamandaki uzaklık" diye adlandırılabilecek nesnel fiziksel bir gerçeğin olmadığını da gösterir. O nedenle, eski gravitasyon yasası, "verilen bir zamandaki uzaklık"ı kullandığı için, mantıksal olarak savunulamaz.

Bu durum, bizim, eski yasayla yetinemeyeceğimizi gösterir, ama onun yerine neyi koymamız gerektiğini göstermez. Burada işe birçok nedenler karışır. İlk elde, "gravitasyonal kütlenin ve eylemsizlik kütlesinin eşitliği" denilen şey var elimizde. Bunun ne demeye geldiğini açıklayalım: Ağır bir cisme verilen bir kuvveti[9] uyguladığım zaman, daha hafif bir cisme verebileceğiniz kadar ivme veremezsiniz. Bir cismin "eylemsizlik" kütlesi denilen şey, verilen bir ivmeyi elde etmek için gerekli olan kuvvet miktarı ile ölçülür. Yeryüzeyinin verilen bir noktasında, "kütle", "ağırlık"a orantılıdır. Terazi ile ölçülen şey, ağırlıktan çok, kütledir; ağırlık, yerin cismi çektiği kuvvet ile ifade edilir. İşte bu kuvvet, kutuplarda, ekvatordakinden daha büyüktür, çünkü ekvatorda, dünyanın dönüşü gravitasyona karşı kısmi bir etki yaratan bir "merkezkaç kuvveti" meydana getirir. Öte yandan yerin yüzeyindeki çekim kuvveti, çok yükseklerde ya da çok derin bir maden kuyusunun dibinde olandan daha büyüktür. Bu değişimlerin hiçbiri teraziyle gösterilemez, çünkü, tartışılacak cisimleri etkilediği kadar, kullanılan ağırlıkları da etkiler, ama eğer bir yaylı terazi kullanacak olursak, bu değişiklikler gösterilir. Kütle, ağırlıkların değiştiği bu şekilde değişmez.

"Gravitasyonal" kütle, farklı tanımlanır, iki anlama da gelir. Biz, (1) gravitasyonun bilinen bir yoğunluğa sahip olduğu bir yerde, örneğin, yerin yüzeyinde ya da güneşin yüzeyinde, cismin karşılık verme yolunu kastediyor olabiliriz, ya da (2)

---

9 Her ne kadar yeni kuramda "kuvvet", artık dinamiğin temel kavramlarından biri sayılmıyorsa da, ne demek istediğimizi bilmek kaydıyla, "gündoğumu" ve "günbatımı" gibi sırf konuşma kolaylığı olsun diye kullanılabilir. Çoğu kez, "kuvvet" deyiminden kaçınmak için, pek dolaylı ifadelere gerek duyulur.

cismin ortaya koyduğu gravitasyonal kuvvetin yoğunluğunu kastedebiliriz. Örneğin, güneş, dünyadan daha güçlü gravitasyonal kuvvet yaratır. Eski kuram, iki cisim arasındaki gravitasyonal kuvvetin, kütlelerinin çarpımıyla orantılı olduğunu söylemektedir. Şimdi, farklı cisimlerin, bir ve aynı cisme, diyelim güneşe doğru çekimini ele alalım. O zaman, bu farklı cisimler, kütleleriyle orantılı kuvvetlerle çekilirler ve bu nedenle de bu güçler hepsinde de aynı ivmeyi yaratırlar. Böylece eğer biz, "gravitasyonal kütleyi" (1) anlamında kullanıyorsak, yani bir cismin kütlesel çekime verdiği karşılık yolu olarak alıyorsak, kulağa heybetli gibi gelen "eylemsizlik kütlesi ve gravitasyonal kütle eşitliği", şuna indirgenir; verilen bir gravitasyonal durumda, bütün cisimler, tümüyle benzer davranışta bulunurlar. Yerin yüzeyi ile ilgili olarak, bu, Galileo'nun ilk bulgularından biriydi. Aristoteles, ağır cisimlerin, daha hafif olanlardan daha çabuk düştüklerini sanmıştı; Galileo, havanın direnci giderildiğinde, durumun böyle olmadığını gösterdi. Bir boşluk içinde, bir tüy, bir kurşun parçasıyla aynı çabuklukta düşer. Gezegenler açısından, aynı gerçekleri ortaya koyan Newton oldu. Güneşten verilen bir uzaklıkta bulunan çok küçük kütleli bir kuyruklu yıldızın, güneş yönündeki ivmesi, güneşe aynı uzaklıkta bulunan bir gezegenin ortaya koyduğu ivmenin tamı tamına aynısıdır. Böylece, gravitasyonun bir cismi etkileme biçimi, sadece cismin nerede olduğuna bağlıdır ve cismin yapısına hiçbir ölçüde bağlı değildir. Bu, gravitasyon etkisinin bulunulan yerin bir niteliği olduğunu gösterir ki, Einstein'ın yaptığı da budur.

Gravitasyonal kütlenin ikinci anlamına, yani bir cisim tarafından ortaya konan kuvvetin yoğunluğuna gelince, yeni kuram, birinci anlamdaki gravitasyonal kütle gibi olduğunu öngörür. Bu öngörüyü doğrulamak için en az bir deney yapılmıştır.

Eğer gravitasyon yasası, komşuluğun bir özelliği olacaksa –böyle düşünmek için gereken nedenleri görmüş bulu-

nuyoruz– bu yasanın nasıl bir şey olması *gerektiğine* dair bir başka göstergemiz daha vardır. Farklı bir koordinat türü benimsediğimizde, değişmeyen bir çeşit yasa içinde ifade edilmelidir bu. Gördük ki, başlangıçta, koordinatlarımıza fiziksel bazı niteliklere sahip oldukları gözüyle bakmamak durumundayız; onlar, sadece uzay-zamanın farklı bölümlerinin sistemli adlandırma biçimleridir. Geleneksel olarak, bunlar, fizik yasalarının içine giremezler. Bu demektir ki, eğer bir yasayı, bir koordinat sisteminin terimleri içinde doğru olarak ifade ediyorsak, bu yasa, aynı formülle, bir başka koordinat sisteminin terimleri içinde de ifade edilmelidir. Ya da, daha doğru olarak, yasayı ifade eden ve koordinatları değiştirdiğimizde hiçbir şekilde değişmeyen bir formül bulmak olanaklı olmalıdır. Böylesine formüllerle uğraşmak tensör kuramının işidir. Ve tensör kuramı gösteriyor ki, muhtemelen gravitasyon yasası olduğunu açıkça ortaya koyan bir formül vardır. Bu olasılık incelendiğinde, doğru sonuçlar verdiği görülmüştür; deneysel kanıtlamanın işin içine girdiği yer, işte burasıdır. Ama eğer, yeni yasasının deneyle bağdaştığı görülmemiş olsaydı, eski yasaya geri dönemezdik. Mantığımız, bizi, "tensör" terimleriyle ifade edilen ve bu nedenle koordinat seçimimize bağlı olmayan, bir yasayı bulmak için zorlayacaktı. Tensörler kuramını, matematik olmaksızın açıklamak olanağı yoktur; matematikçi olmayan kişi, bunun, ölçümlerimizin ve yasalarımızın geleneksel öğelerden arındırılmasını ve böylece, gözlemcinin bakış açısına bağımlı olmayan fiziksel yasalara varılmasını sağlayan, teknik bir yöntem olduğunu bilmekle yetinmelidir. Einstein'ın gravitasyon yasası, bu yöntemin en parlak örneğidir.

10

Kütle, Momentum, Enerji ve Etki

Niceliksel şaşmazlığı kovalamak, önemli olduğu kadar, çetindir de. Fiziksel ölçümler, olağanüstü kusursuzlukla yapılır; eğer daha az dikkatle yapılsalardı, rölativite kuramı için, deneysel verileri oluşturan böylesine küçük farklılıklar hiç ortaya çıkamazdı. Matematiksel fizik, rölativitenin gelişinden önce, fiziksel ölçümler kadar sağlıklı oldukları kabul edilen birtakım kavramlar kullanmıştı, ama bunların mantıksal olarak kusurlu oldukları çıktı ortaya ve bu kusurluluk, hesaba dayanan tahminlerden küçük sapmalarda kendini gösterdi. Bu bölümde, ben, rölativite-öncesi fiziğin temel düşüncelerinin nasıl etkilendiklerini ve ne gibi değişikliklere uğramak zorunda kaldıklarını göstermek istiyorum.

Daha önce, kütleden söz etme fırsatını bulmuştuk. Günlük yaşantı içinde, kütle ağırlıkla hemen hemen aynıdır; ağırlığın genel ölçüleri –ons, gram vb.– gerçekte kütlenin ölçüleridir. Ama kusursuz ölçümler yapmaya başlar başlamaz, kütle ile ağırlığı birbirinden ayırmak zorunda kalırız. Tartımın iki farklı yönteminin kullanımı yaygındır, biri teraziyle yapılan tartı, öteki yaylı kantarla yapılan tartıdır. Yolculuğa çıktığınızda ve yükünüz tartılırken, terazi kullanılmaz, yaylı kantar kullanılır; ağırlık, yayı belirli bir ölçüde gerer ve sonuç, gösterge aynasında bir ibre ile gösterilir. Aynı ilke, otomatik makinelerde ağırlığımızın ölçümünde kullanılır. Yaylı kantarlar,

ağırlığı gösterir; ama teraziler, kütleyi gösterir. Dünyanın bir yerinde kaldığınız sürece, farkın bir önemi yoktur; ama eğer, iki ayrı türde olan tartı makinelerini farklı birçok yerlerde sınarsanız, eğer bunlar sağlıklı iseler, sonuçlarının her zaman aynı olmadıklarını göreceksiniz. Terazi her yerde aynı sonucu verirken, yaylı kantar vermeyecektir. Yani eğer, teraziyle 10 libre ağırlığında olan bir kurşun parçası varsa elinizde, dünyanın herhangi bir yerinde, yine teraziyle 10 libre olarak tartılacaktır. Ama bu yaylı kantar ile Londra'da 10 libre geliyorsa ve eğer bütün bu yerlerde aynı kantar ile tartılıyor ise, kuzey kutbunda daha çok, ekvatorda daha az, yüksekte uçan bir uçakta daha az ve bir maden kuyusunun dibinde daha da az gelecektir. Gerçek şudur ki, bu iki alet oldukça farklı nicelikleri ölçmektedir. Terazi, (bizi birazdan ilgilendirecek olan incelikler bir yana) "maddenin niceliği" diye adlandırılabilecek olan şeyleri ölçer. Bir pound tüyde, bir pound kurşunda olan aynı "madde niceliği" vardır. Gerçekten standart "kütleler" olan standart "ağırlıklar", karşı kefeye konan herhangi bir madde de bulunan kütlenin miktarını ölçecektir. Ama "ağırlık", yer çekiminin neden olduğu bir özelliktir; yerin bir cismi çektiği kuvvet büyüklüğüdür. Bu kuvvet, yerden yere değişir. İlk önce, dünyanın dışında bir yerde, çekim, yerin merkezi ile olan uzaklığın karesi ile ters olarak değişir; bu yüzden çekim yüksek yerlerde daha azdır. İkincisi, bir maden kuyusunun dibine indiğinizde, yerin bir bölümü üstünüzde kalır ve maddeyi aşağı yerine yukarı doğru çeker, öyle ki, aşağı doğru olan net çekim, yerin yüzeyine göre daha azdır. Üçüncüsü, yerin dönmesine bağlı olarak, yerin çekimine karşı yönde etki yapan, "merkezkaç kuvveti" adı verilen bir şey vardır. Bu, ekvatorda en yüksektir, çünkü, yerin dönüşü orda en hızlı hareket içindedir; kutuplarda bu yoktur, çünkü kutuplar dönüş ekseni üzerinde bulunmaktadır. Bütün bu nedenlerden ötürü, eldeki bir cismin yer tarafından çekilme kuvveti, değişik yerlerde, değişik ölçümler verir. Yaylı kantar

ile ölçülen bu kuvvettir; işte bu nedenle yaylı kantar farklı yerlerde, farklı sonuçlar vermektedir. Terazide ise, standart "ağırlıklar" tartışılacak cisimlerle tam aynı değişikliklere uğradıklarından, sonuç her yerde aynıdır, ama bu sonuç "ağırlık" değil, "kütledir". Standart bir "ağırlık" her yerde aynı kütleye sahiptir, ama aynı "ağırlık"a değil, gerçekten de bu, ağırlığın değil, kütlenin birimidir. Kuramsal amaçlar için, verilen bir cisimde, hemen hemen değişmez olan kütle, koşullara göre değişen ağırlıktan çok daha önemlidir. Kütleye, başlangıçta, "maddenin niceliği" olarak bakılabilir; bu görüşün kesinkes doğru olmadığını göreceğiz, ama daha sonra gelecek olan incelikler için bir başlangıç noktası görevini görecektir.

Kuramsal amaçlar için kütle, verilen bir ivmenin sağlanması için gerekli olan kuvvet miktarının belirlenmesiyle tanımlanır; bir cisim ne kadar kütleli ise, hızını, verilen bir zamanda, verilen bir miktarda değiştirmek için gerekli olan kuvvet o kadar büyük olacaktır. Uzun bir trenin, ilk yarım dakika sonunda, saatte on millik bir hıza erişebilmesi için, aynı şeyi yapacak olan kısa bir trenden, daha güçlü bir lokomotife gereksinimi vardır. Ya da, bir sürü değişik cisimler için kuvvetin aynı olduğu koşullara sahip olabiliriz, bu durumda, eğer biz, bunlarda yaratılan ivmeyi ölçebilirsek, kütlelerinin oranlarını söyleyebiliriz: Kütle ne kadar büyükse, ivme o kadar küçüktür. Bu yöntemi örneklemek için, rölativite açısından önem taşıyan bir örnek alabiliriz. Radyoaktif cisimler, beta-taneciklerini (elektronlar), son derece büyük hızla yayarlar. Bunları, su buharı içinden geçirirsek, bir bulut oluşturarak giderken izlerini gözlemleyebiliriz. Ve yine, aynı zamanda, bunlara belli elektrik ve manyetik kuvvetler uygulayabilir ve bu kuvvetlerle, doğru yollarından ne kadar büküldüklerini gözlemleyebiliriz. Bu, kütlelerinin karşılaştırılmaları olanağını sağlar. Duran bir gözlemcinin ölçümleriyle, daha çabuk yol alanın, daha çok kütlesi olduğu görülmüştür. Oysa hareketin etkisi bir yana, bütün elektronların aynı kütleye sahip olduğu bilinir.

Bunların tümü, rölativite kuramı bulunmadan önce, bilinmekteydi, ama bu kuram, kütlenin geleneksel kuramının, daha önce ona mal edilen belirginlikte olmadığını gösterdi. Kütle "maddenin niceliği" olarak görülüyordu ve oldukça değişmez olarak düşünülüyordu. Şimdi ise, kütlenin uzunluk ve zaman gibi gözlemciye rölatif (göreli) olduğu ve hareketle, tam aynı oranda değiştiği görülmüştür. Bununla birlikte bu duruma da çare bulunabilirdi. "Öz kütle"yi[10] cismin hareketini paylaşan bir gözlemci tarafından ölçülen kütle olarak alabilirdik. Bu, uzunluklarda ve zamanlarda olduğu gibi, aynı oran alınarak ölçülen kütleden kolayca çıkarılır.

Ama daha ilginç bir gerçek var ki, bu da, bu düzeltmeyi yaptıktan sonra bile, aynı cisim için her zaman tam anlamıyla aynı olan bir niceliği elde edemeyişimizdir. Cisim enerji soğurduğu zaman; örneğin sıcaklığın artırılmasıyla, "öz kütlesi" biraz artar. Bu artış, enerji artışının, ışık hızının karesine bölünmesiyle ölçüldüğüne göre, pek azdır. Öte yandan, cisim, enerji kaybettikçe, kütlesinde de azalma olur. Bunun en göze çarpan örneği, dört hidrojen atomunun bir araya, bir helyum atomu yapmak için, gelebilmesidir, ama helyum atomunun kütlesi, bir hidrojen atomunun kütlesinin dört katından daha azdır. Bu olgunun pratik önemi çok büyüktür. Yıldızların içinde bu durumun olduğu ve yıldız ışığı olarak görmekte olduğumuz enerjiyi sağladığı ve güneş söz konusu olduğunda da, yersel yaşamı beslediği düşünülmektedir. Yersel laboratuvarlarda aynı şey yapılarak, ışık ve ısı biçimde son derece büyük enerji serbest hale getirilebilir. Bu, büyüklüğü ve yıkıcı gücü gerçekten sınırsız olan hidrojen bombalarının yapımına olanak sağlar. Uranyumun parçalanmasıyla çalışan basit atom bombalarının doğal bir sınırı vardır; eğer bir yere çok miktarda uranyum biriktirilirse, patlatılmayı beklemeksizin,

---

10 "Öz kütle" olarak çevirdiğimiz proper mass, İngilizcede artık pek kullanılmamaktadır. Bugün, bunun yerine rest mass kullanılmaktadır ve Türkçede "durgun kütle" olarak geçmektedir. (Çev. n.)

kendiliğinden patlama olanağı vardır, bu yüzden, uranyum bombaları belirli bir üst sınırdan daha büyük yapılamazlar. Ama bir hidrojen bombası, istenildiği kadar hidrojen içerebilir, çünkü hidrojenin kendi başına patlayıcı özelliği yoktur. Hidrojen, ancak basit bir uranyum bombası ile patlama sürecine sokulduğu zaman, helyuma dönüşecek şekilde birleşir ve enerji açığa çıkarır. Bu, birleşimin ancak çok yüksek sıcaklıkta olabilmesi yüzündendir.

Hidrojenin bir başka üstünlüğü daha vardır; gezegenimizde bulunan uranyum miktarı çok sınırlıdır ve insan soyunun kökü kazınmadan önce, hepsinin kullanılmasından korkulur, ama şimdi sağlanması hemen hemen sınırsız olan hidrojen kullanılabildiğinden, *homo sapiens* daha az yırtıcı hayvanlara yaşama olanağı sağlayarak, kendi varlığına bir son verebileceğini ummak için önemli nedenler vardır.

Ama daha az sevimli konulara dönmek zamanı geldi.

Böylece bizim iki tür kütlemiz oluyor, bunlardan hiçbiri eski düşünceyi yeterince karşılamıyor. Söz konusu cisme rölatif olarak hareket eden bir gözlemcinin ölçmüş olduğu kütle, rölatif bir niceliktir ve cismin bir özelliği olarak, fiziksel bir önem taşımaz. "Öz kütle", cismin, gözlemciye bağımlı olmayan, gerçek bir özelliğidir, ama o da, kesinkes sabit değildir. Kısaca göreceğimiz gibi, kütle kavramı, enerji kavramı içinde özümlenmiş olmaktadır, deyim yerinde ise, kütle kavramı, dış dünyaya sergilenen enerjiye karşıt olarak, cismin içinde harcadığı enerjiyi temsil eder.

Kütlenin korunumu, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu, klasik mekaniğin büyük ilkeleri idi. Şimdi hemen momentumun korunumunu ele alalım.

Bir cismin, verilen bir doğrultudaki momentumu, bu doğrultudaki hızının, kütlesi ile çarpımıdır. Bu durumda, yavaşça hareket eden ağır bir cisim, hızlı giden hafif bir cisimle aynı momentuma sahip olabilmektedir. Birçok cisim birbirlerini, herhangi bir şekilde etkilediklerinde, örneğin çarpışarak ya

da karşılıklı çekimle, dış etkilemeler işe karışmadığı sürece, bütün cisimlerin herhangi bir doğrultudaki toplam momentumu değişmez. Bu yasa, gerçekliğini, rölativite kuramı içinde de sürdürür. Farklı gözlemciler için, kütle farklı olacaktır, ama hız da farklı olacaktır; bu iki farklılık birbirlerini götürür ve sonunda ilke hâlâ doğruluğunu korur.

Farklı yönlerde cismin momentumu farklıdır. Bunu ölçmenin bilinen yolu, verilen bir doğrultudaki hızın (gözlemcinin ölçtüğü) alınarak, kütle ile (gözlemcinin ölçtüğü) çarpılmasıdır. Verilen bir yöndeki hız ise, bu yönde birim zaman içinde alınan yoldur. Tutalım ki, bunun yerine, cisim birim "aralık"ta hareket ederken, bu doğrultuda kat edilen uzaklığı alıyoruz. (Basit hallerde, bu pek az bir değişikliktir, çünkü ışık hızından önemli ölçüde az olan hızlarda, aralık, geçen zamana hemen hemen eşittir.) Ve yine, gözlemci tarafından ölçülen kütle yerine, öz kütleyi aldığımızı düşünelim. Bu iki değişiklik, aynı oranda, hızı artırır ve kütleyi azaltır. Böylece momentum aynı kalmaktadır. Ama gözlemciye göre değişen niceliklerin yerini, –verilen yönde cismin almış olduğu uzaklık dışında– gözlemciden bağımsız olarak sabitleştirilmiş nicelikler almaktadır.

Zaman yerine, uzay-zamanı koyduğumuzda, ölçülen kütlenin (öz kütleye karşı olarak) verilen doğrultudaki momentumu ile aynı tür bir nicelik olduğunu görürüz; bu, zaman doğrultusundaki momentum diye adlandırılabilir. Ölçülen kütle, değişmez kütlenin birim aralıktan geçerken aldığı *zaman* ile çarpılmasıyla elde edilir; momentum, aynı değişmez kütlenin (verilen doğrultuda) birim aralıkta yol alırken geçmiş olduğu *uzaklık* ile çarpılmasından elde edilir. Uzay-zaman açısından, bunlar, doğal olarak beraberdirler.

Bir cismin ölçülen kütlesi, cisme rölatif olarak hareket eden gözlemcinin yoluna bağımlı olmasına karşın, yine de önemli bir niceliktir. Ölçülen kütlenin korunumu, enerjinin korunumu ile aynı şeydir. Enerji ve kütle farklı şeyler olduklarına

göre, ilk bakışta bu şaşırtıcı gelebilir. Ama enerjinin, ölçülen kütle ile aynı şeyler olduğu ortaya konmuştur. Bunun nasıl olduğunu anlatmak o kadar kolay değildir, bu girişimi yapmayı gene de deneyeceğiz.

Halk dilinde, "kütle" ve enerji, hiç de aynı anlama gelmez. "Kütle" bize, hareketlerinde çok yavaş, sandalyede oturan şişman bir adamı düşündürür, oysaki "enerji" ince yapılı "cevval" ve "hayat dolu" bir kimse akla getirir. Halk dilinde "kütle" ile "eylemsizlik" bağdaştırılmaktadır, ama bu görüşte eylemsizlik, tek yanlıdır, bu kavram, harekete başlamada yavaşlığı içerir, ama durmadan yavaşlığı içermez, oysa bunların ikisi de aynı ölçüde söz konusudur. Fizikte bütün bu terimlerin teknik anlamları vardır, bunlar, bu terimlerin halk dilindeki anlamlarına ancak aşağı yukarı benzerler. Şimdilik biz, "enerji"nin teknik anlamıyla ilgilenmekteyiz.

19. yüzyılın son yarısı boyunca, "enerjinin korunumu" ya da Herbert Spencer'in seçtiği deyimle, "kuvvetin direnimi" konusunda, epey uğraşıldı. Bu ilkenin, enerjinin farklı biçimlerinin olması nedeniyle, basit bir biçimde ortaya konması kolay değildi; ama temel nokta, bir türden bir başka türe dönüşmesine karşın, enerjinin ne yok edilebileceği, nede yoktan var edilebileceği idi. Bu ilke, konumunu, Joul'un, verilen bir miktarda sıcaklık elde edebilmek için gerekli olan iş ile verilen bir ağırlığın, verilen bir yüksekliğe kaldırılması için gerekli olan iş arasında, değişmez bir orantı olduğunu gösteren, "ısının mekanik eşdeğeri" buluşu ile sağlamlaştırılmıştır. Gerçekten de, bu mekanizmaya uygun olarak, her iki amaç için de, aynı çeşit iş kullanılabilmekteydi. Isının moleküller içindeki hareketten oluştuğu bulunduğu zaman, enerjinin öteki biçimlerine benzemesi gerektiği doğal görünmekteydi. Geniş anlamıyla konuşursak, bir miktar kuramla enerjinin bütün biçimleri, "kinetik" ve "potansiyel" diye adlandırılan, iki biçime indirgenmişti. Bunlar aşağıda gösterildiği gibi, tanımlanmışlardı.

Bir taneciğin kinetik enerjisi, kütlesinin yarısı ile hızının karesinin çarpımıdır. Birden fazla taneciğin kinetik enerjisi, taneciklerin ayrı ayrı kinetik enerjilerin toplamıdır.

Potansiyel enerjiyi tanımlamak daha zordur. Ancak kuvvet uygulayarak korunabilen bir gerilim durumunu temsil eder. En yalın halini alalım: Bir ağırlık yukarı kaldırılır ve orda asılı tutulur ise, bunun bir potansiyel enerjisi vardır, çünkü eğer ağırlık kendi haline bırakılırsa, düşer. Ağırlığın potansiyel enerjisi, kaldırıldığı uzaklığın aynısı olan uzaklığı düşerken, sağladığı kinetik enerjiye eşittir. Aynı şekilde, bir kuyruklu yıldız, çok basit bir yörünge ile güneş etrafında döndüğü zaman, güneşe yakın olduğunda, güneşten uzak olduğundan çok daha çabuk hareket eder, böylece güneşe yakın olduğu zaman, kinetik enerjisi çok daha büyüktür. Öte yandan, potansiyel enerjisi, güneşe en uzak olduğu yerde en büyüktür, çünkü o halde, tıpkı yükseğe kaldırılmış bir taş gibidir. Bir kuyruklu yıldızın, herhangi bir çarpışmada zarar görmediği, ya da yapısından bir kısmını kaybetmediği sürece, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı sabittir. Bir konumdan, bir başka konuma geçerken potansiyel enerji *değişimini* eksiksiz olarak saptayabiliriz, ama onun toplam miktarı, sıfır düzeyini istediğimiz yerde alabileceğimiz için, belli bir ölçüde keyfidir. Örneğin, bizim taşın potansiyel enerjisi, yerin yüzeyine düşerken sağladığı kinetik enerji olarak alınabilir, ya da yerin merkezine inen bir kuyuya düşerken sağlayacağı enerji olarak, ya da seçilecek daha az bir uzaklıktan düşerken sağladığı enerji olarak alınabilir. Kararımızda direndiğimiz sürece, hangisini almış olursak olalım, bir önemi yoktur. Elimizdeki başlangıçtaki değer toplamının etkilemediği bir kâr ve zarar hesabı ile ilgilenmekteyiz.

Verilen bir cisimler grubunun hem kinetik enerjileri, hem de potansiyel enerjileri, değişik gözlemciler için, değişik olacaktır. Klasik dinamikte, kinetik enerji, gözlemcinin hareket durumuna göre değişmekteydi, ama sadece sabit bir miktarda; potansiyel enerji ise hiç değişmiyordu. Bunların sonucu olarak,

her gözlemci için toplam enerji sabitti; söz konusu gözlemcilerin, hep doğru çizgi üzerinde ve düzgün bir hızla hareket ettiklerini, ya da öyle değilse, öyle hareket eden cisimlere kendi hareketlerini uydurabildikleri varsayılarak, bu sonuca ulaşılıyordu. Ama rölativite dinamiğinde, durum daha karmaşık bir hal almaktadır. Kinetik ve potansiyel enerjinin Newtoncu anlayışı, fazla güçlük olmadan, özel rölativite kuramına uydurulabilir. Ama, potansiyel enerji anlayışını, genel kuramına yararlı bir biçimde uyduramayız, ne de, tek bir cisim dışında, kinetik enerji anlayışını genelleştirebiliriz. Bu yüzden, enerjinin korunumu, bildiğimiz Newton anlayışı içinde, ileri sürülemez. Bunun nedeni, bir cisimler sisteminin kinetik ve potansiyel enerjilerinin özü itibariyle genişletilmiş uzay-zaman bölgelerini anımsatan fikirler olmasıdır. Koordinatların seçimindeki fazla serbestlik ve Sekizinci Bölümde açıklanmış olan uzay-zamanın engebeli niteliği, ikisi birden, genel kuram içine bu türden düşünceleri sokmayı çok biçimsiz kılmaktadır. Genel Kuramda, bir korunum yasası vardır, ama bu, Newton mekaniği ve özel kuramdaki korunum yasaları kadar kullanışlı değildir, çünkü koordinatların anlaşılması zor olan bir yolla seçimine dayanmaktadır. Gördük ki, koordinatların seçiminde bağımsızlık genel rölativite kuramında yol gösterici bir ilkedir ve bu ilke ile çatıştığı için, korunum yasası kuşkuyla karşılanır. Bu, korunumun şimdiye dek düşünülmüş olduğundan daha da az temel önem taşıdığı anlamına mı gelmektedir, yoksa doyurucu bir korunum yasası, kuramın matematiksel çapraşıklıkları içine gizlenmesini sürdürüp sürdürmediği, çözüm bekleyen bir sorundur. Şimdilik, genel kuramda, tek bir tanecik için kinetik enerji düşüncesiyle yetinmek zorundayız. Aşağıdaki tanıtlamada, gerek duyacağımız da yalnızca budur. Unutulmamalıdır ki, enerjinin korunumu konusundaki bu güçlükler, sırf genel kuram için söz konusudur, özel kuram için değil. Kütlesel çekimin ihmal edilebileceği ve özel kuramın uygulanabildiği yerlerde, enerjinin korunumu söz konusu olabilir.

"Korunum"un pratikteki anlamı, kuramdaki anlamın tam aynı değildir. Kuramda, dünyadaki miktarı herhangi bir zamanda, bir başka zamandakinin aynısı olduğu zaman, niceliğin korunmuş olduğunu söyleriz. Ama pratikte, dünyanın tümünü tarayamayız, onun için daha geçerli bir şeyler söylememiz gerekiyor. Demek istiyoruz ki, verilen bir bölgede eğer o bölgedeki niceliğin miktarında bir değişme olduysa, bu değişim, bölge sınırından niceliğin bir kesiminin geçmesinden ileri gelmektedir. Eğer doğumlar ve ölümler olmasaydı, nüfus korunmuş olacaktı; bir ülkenin nüfusu, ancak, içerden dışarıya, ya da dışarıdan içeriye göçle, yani sınırların aşılmasıyla, değişebilirdi. Çin'in veya Merkezi Afrika'nın nüfus sayımlarını kusursuz elde etmek olanağımız olmayabilirdi ve dolayısıyla, dünyanın toplam nüfusu konusunda kesin bilgi sahibi olmayabilirdik. Ama istatistiklerin elde edilebildiği yerlerde, nüfus, insanların sınırları aşması dışında hiç değişmeseydi, onun sabit olduğunu varsaymakta haklı olabilirdik. Kuşku yok ki, gerçekte nüfusun korunması gibi bir şey söz konusu değildir. Tanıdık bir fizyolog, bir keresinde, bir termosa dört fare koymuştu. Birkaç saat sonra, onları dışarıya çıkarmak için gittiğinde, on bir tane olmuşlardı. Ama kütle, bu dalgalanmalara tabi değildir: Süre sonundaki on bir farenin kütlesi, başlangıçtaki dört farenin kütlesinden daha fazla değildi.

Bu, uğrunda enerjiyi tartıştığımız probleme bizi gerisin geri götürüyor. Rölativite kuramında, ölçülen kütle ve enerjiye aynı şeyler olarak bakıldığını belirtmiş ve bunun nedeninin açıklanmasını üstlenmiştik. Bu açıklamanın üstüne gitmenin şimdi zamanıdır. Ama burda, Altıncı Bölümün sonunda olduğu gibi, matematikten tümüyle habersiz olan okur, burayı atlarsa ve daha sonraki paragrafla başlarsa iyi eder.

Hızın birimi olarak, ışık hızını alalım; rölativite kuramında her zaman bu bir kolaylıktır. m taneciğin öz kütlesi, v ise, gözlemciye rölatif hızı olsun. Bu halde, ölçülen kütlesi,

$$\frac{m}{\sqrt{1-v^2}}$$

olacaktır. Kinetik enerjisi ise alışılmış formülü ile olacaktır.

$$\frac{1}{2}\ mv^2$$

Daha önce de gördüğümüz gibi, enerji sadece kâr ve zarar hesabı içinde oluşur, bu nedenle, eğer istersek, buna herhangi bir sabit nicelik katabiliriz. O yüzden enerjiyi

$$m + \frac{1}{2}mv^2$$

olacak şekilde alabiliriz. Şimdi, eğer v ışık hızının küçük bir parçası ise, $m+1/2\ mv^2$ hemen hemen

$$\frac{m}{\sqrt{1-v^2}}$$

değerine eşit olacaktır. Bunun sonucu, büyük cisimlerin sahip oldukları hızlar için, enerji ve ölçülen kütle, erişilebilir kusursuzluk sınırları içinde ayırt edilmez hale gelmektedir. Gerçekten de, enerji tanımımızı değiştirmemiz ve bunu

$$\frac{m}{\sqrt{1-v^2}}$$

olarak almamız daha iyidir, çünkü korunuma denk düşen yasa için, geçerli olan nicelik budur. Ve hızın çok büyük olduğu hallerde, bu formül, geleneksel formülden daha üstün enerji ölçüsüdür. Bu yüzden, eski formüle, tam ifadesi yeni formülle verilen bir yaklaşıklık gözü ile bakılmalıdır. Bu yolla, enerji ve ölçülen kütle aynılaşırlar.

Şimdi de, halk arasında enerjiden daha az bilinen "etki" kavramına geliyorum, ama bu kavram, rölativite fiziğinde olduğu kadar, kuantum kuramında da, giderek önem kazanmaktadır. (Kuantum, etkinin küçük bir bölümüdür.) "Etki"

sözcüğü, enerjinin zaman ile çarpımı için kullanılır. Yani bir sistem içinde bir birim enerji var ise, saniyede bir birim etki uygulayacak, 100 saniyede, 100 birim etki uygulayacak vb.; 100 birim enerjisi olan bir sistem, bir saniyede 100 birim etki uygulayacak vb. Böylece "etki", kaba anlamıyla, başarılmış olanın ne kadar olduğunun bir ölçütüdür: bu hem daha çok enerji vererek, hem de daha uzun süre uygulayarak artırılır. Enerji, ölçülen kütle ile aynı şey olduğuna göre, biz, etkiyi, ölçülen kütlenin zaman ile çarpımı olarak da alabiliriz. Klasik mekanikte herhangi bir bölgede bulunan maddenin "yoğunluğu", kütlenin, hacme bölümüdür, yani küçük bir bölgedeki yoğunluğu biliyorsanız, bu küçük bölgenin hacmi ile yoğunluğunu çarparak, toplam madde miktarını bulursunuz. Rölativite mekaniğinde, uzay yerine hep uzay-zamanı koymak isteriz, o yüzden de, bir "bölge" artık tek başına sadece bir hacim olarak değil, belli bir zaman süren bir hacim olarak alınmak gerekir; küçük bir bölge, küçük bir zaman süren, küçük bir hacim olacaktır. Bundan, yoğunluk verildiğinde, yeni anlamıyla küçük bir bölgenin, sadece küçük bir kütleyi değil, ama küçük bir zamanla çarpılan küçük bir kütleyi, yani küçük bir miktar "etki"yi içerdiği anlamı çıkar. Rölativite mekaniğinde, "etki"nin neden temel önem taşıyacağının umulduğunu, bu durum açıklamaktadır ve gerçekten de öyledir.

Serbestçe hareket eden bir taneciğin bir geodizi izleyeceği postülası yerine, taneciğin "etkisi" konusunda eşdeğer bir varsayım konabilir. Böyle bir varsayım *En Az Etki İlkesi* olarak adlandırılır. Bu varsayım, bir durumdan, bir başka duruma geçerken, cismin pek az farklı herhangi bir diğer yoldan, daha az etkiyi içeren bir yolu seçtiğini bildirir; yine kozmik bir tembellik yasası! En az etki ilkeleri, tek cisimle sınırlı değildir. Tepeleri ve vadileriyle, bir bütün olarak, uzay-zamanın bir izalına götürecek olan benzer bir varsayım yapma olanağı vardır. Rölativite kuramında olduğu kadar, kuantum kuramında da merkezi bir rol oynayan bu tip ilkeler, mekaniğin biçimsel bölümünün ortaya konmasında, en kapsamlı araçlardır.

11

Genleşen Evren

Şimdiye dek, biz, pek çoğu, dünya ya da güneş sistemiyle ilgili olan deney ve gözlemlerle uğraştık. Ancak ara sıra, yıldızlar kadar uzaklara uzanmak zorunluğunu duyduk. Bu bölümde, daha da ötelere uzanacağız, rölativite kuramının, bir bütün olarak, evren konusunda ne söylemek istediğini göreceğiz.

Sözünü edeceğimiz astronomik gözlenimler, yerleşmiş bilimsel sonuçlar olarak değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, bu sonuçların kuramsal açıklamaları, nitelikleri bakımından daha kurgusaldır ve sanılmamalıdır ki, şimdi uğraşmakta olduğumuz kuramsal sorunlar, şimdiye kadar uğraşmış olduklarımız kadar somuttur. Bunların geliştirilmesi gerektiğine kuşku yoktur. Bilim, değişmeyen doğrular ve ölmez dogmalar getirmeyi amaçlamaz. Onun amacı, herhangi bir aşamada, son ve tamamlanmış doğruluğun başarılmış olduğunu ileri sürmeden, gerçeğe ardışık yaklaşıklıklarla yanaşmaktır.

Evrenin genel görünümü konusunda biraz ön açıklama gerekmektedir. Maddenin çok geniş bir alana dağılması konusunda şimdi çok şeyler bilinmektedir. Güneşimiz, "galaksi" adı verilen, birçok milyon dolayında yıldızın bulunduğu bir sistem içinde, bir yıldızdır. Galaksi, parlak bir göbek merkezinden çıkan sarmal yıldız kollarıyla, şişleri kenarından çıkan büyük bir tekerlek biçimindedir.

Güneş, sarmal kollarından birinde ve göbek merkezinden 28.000 ışık yılı kadar uzaklıkta bulunmaktadır. Bu uzaklığın tahmin edilmesi, pek çok galaksi ölçeğindeki ölçümlemelerde olduğu gibi, zordur, gelecekte yeniden gözden geçirilebilir. (Galaksi ölçeğinde, uzaklıklar çoğunlukla ışık-yılıyla ölçülür. Bir ışık yılı, ışığın bir yılda aldığı yoldur: ışığın 34. sayfada verilen hızının, bir yılda bulunan 31.536.000 saniye ile çarparak bulabilirsiniz. Eğer mil olarak ifade etmek isterseniz, bu yaklaşık altı milyon kere milyon mil eder).

Açık bir gecede kolaylıkla görülebilen göğü bölen parlak bir yıldız kuşağı olan Samanyolu, sarmal kol üzerindeki bu konumdan, bizim galaksinin geri kalan kısmı göz önünde tutulursa, tam sınırımızdır.

Galaksinin dış çizgileri keskin değildir. Yıldızların esas bölümü 120.000 ışık yılı dolayındaki bir genişliktedir, ama Galaksi, yıldızların yanında, çoğunluğu hidrojenden oluşan, büyük oranda gaz, ve toz ile henüz kimliklendirilmemiş başka maddeler içermektedir. Bu bilinmeyen maddeler, görülebilir yıldız dağılımının çok ötelerinde, küresel bir bulut oluşturduğuna inanılmaktadır. Bu bulut doğrudan gözlemlenmiyor, varlığı, yıldızlar ve öteki gözlemlenebilir maddeler üzerindeki gravitasyonel etkilerinden çıkarsaruyor. Bulut, bir uçtan öteki uca 500 ya da 600 ışık yılı büyüklüğünde olabileceği düşünülüyor.

Tüm yıldız kümesi, gaz, toz ve kimliklendirilmemiş maddeler göbek etrafında yavaşça dönerler. Dönüşün hızı, bu madde olmaksızın açıklanamayacak bir yolda, göbeğe olan uzaklıkla değişmektedir.

Güneş, göbeğe göre, saniyede 220 kilometre dolayında tahmin edilen bir hızla hareket etmektedir. Eğer hız tahmini ve merkeze uzaklığı doğruysa, güneşin, göbeğin etrafında tam bir dönüşü, 240 milyon yıl dolayında olmaktadır.

Etrafındaki bulutun içerisindeki galaksisel maddenin kütlesi, güneşin kütlesinin milyon kere milyon büyüklüğünde olduğu düşünülüyor.

Galaksinin, en yakını ve en iyi bilineni, merkezi etrafında iki yüz bin ışık-yılı dolayında yayılan Macellan Bulutları olan, uydulardan oluşan bir mahiyeti olduğu biliniyor.

Galaksi, evrende hiç de tek başına değildir. Teleskoplarımızın görebileceği bölge içine dağılmış, benzer, milyonlarca sistemden biridir. Öteki sistemlere de galaksi (ya da kimi zaman "nebula") denmektedir. Galaksilerin bazıları bizimkine benzer kollarıyla, yayvanlaşmıştır, bir kısmı futbol topu gibi yuvarlak, bir kısmı rugbi topu gibi ovaldir, bazılarının biçimi de oldukça düzensizdir.

Galaksiler, gruplar halinde toplanmaya özel bir eğilim gösterirler. Bu gruplara "küme" denir. Tek bir küme, her biri, bizimki gibi, milyonlarca yıldızı içeren, yüzlerce ya da binlerce galaksiden oluşabilir. Bizim kendi galaksimiz, Lokal Grup adı verilen küçük bir kümeye aittir. Lokal Gruptaki galaksilerin sayısı kesin değildir, çünkü olası bazı galaksiler çok sönüktür ama sayılarının yirmiden fazla olmadığı sanılmaktadır. Bizim Lokal Gruptaki en iyi bilinen ve en yakın sarmal, Andromeda galaksisidir, adını içinde bulunduğu takımyıldızından almıştır. İki milyon ışık-yılı kadar uzaklıktadır, çıplak gözle çok sönük görünür. Lokal Grup, bir uçtan bir uca, üç milyon ışık-yılı kadardır.

Galaksi kümelerinin de, süper-kümeler adı verilen geniş varlıklar halinde gruplanmış olduğu görülmüştür. Bir süperküme, bir ucundan bir ucuna 30 milyondan başlayıp, 100 milyon ya da daha fazlası ışık-yılı boyutuna ulaşan büyüklükte ve bütün galaksinin kütlesinin on bin katı kadar olabilir. Süper-kümelerin, şimdilik, evrende tanımlanabilir en büyük madde topluluğu olduğuna inanılmaktadır.

Tek bir kümeyi bir arada tutanın kümeyi oluşturan galaksiler arasındaki gravitasyonel çekim olduğu düşünülse de, süperkümeler için de aynı şeyin geçerli olup olmadığı henüz açıklık kazanmamıştır. Bunların varlığı, gözlemlemeyle oldukça iyi belirlenmiştir, ama gelişmelerine ilişkin bilinen bir şey yok.

Son gözlemlemeler, süper-kümelerin aralarında, görülemeyen ya da az görülebilen maddeler içeren ve belki de süper-kümelerden de daha büyük boşluklar olduğunu savlıyor.

Yıldızların galaksilerde, galaksilerin kümelerde, kümelerin süper-kümeler içerisinde toplanmış olmasına karşın, yeterince geniş bir ölçekte ele alındığında, evrenin hemen hemen düzenli, bir kararda olduğu, mevcut araçlarla gözlemlenebilen bölümlerinin evreni bir tüm olarak temsil edebildiği, genel kabul gören bir varsayımdır.

Elverişli astronomik kanıtların varlığından önce, evrenin geniş bir boyut içinde düzgün olduğu konusunda ileri sürülen düşünce, şimdi bir temel postüla durumuna gelmiştir. Genellikle buna "kozmolojik ilke" adı verilmektedir. Kozmolojik ilke, gerçekte Copernicus'un düşüncelerinin bir uzantısından başka bir şey değildir. Dünyanın her şeyin merkezi olduğu konusundaki, bencil anlayışa son verir vermez, basit bir yıldız olan güneşin, evreni açıklayışımızda, dünyadan daha özel bir yeri olduğu savını benimsememiz için bir neden bulunmamaktadır. Galaksimiz ve onun içinde bulunduğu kümenin, evrenin ilk örneği olduğunu gördüğümüz zaman da, onların öteki benzer nesnelerden ayrı bir yeri olmayacağı gerçeğini mantıksal olarak kavramak gerekir. Ne de, fizik yasalarının, bir kümenin bir galaksisinde, bir ötekine göre sistemli olarak değiştiklerini varsaymak için deneysel bir neden vardır.

Bunun sonuçları biraz daha değişik bir biçimde konulabilir. Tutalım ki, hiç penceresi olmayan bir kutuya konuluyorsunuz ve evrenin uzak bir yerine götürülüyorsunuz. Kuşku yok ki, kutudan dışarı çıktığınızda, yerde görülebildiği gibi, yıldız ve galaksilerin kendilerine özgü dağılımlarını göremeyeceksiniz –yeni çevrenizin coğrafik ayrıntıları farklı olacaktır–, ama kozmolojik ilkeye uygun olarak, evrenin genel görünümü aynı olacaktır. Ayrıntılar bir yana, evrenin

neresinde bulunduğunuzu söyleme yeteneğiniz olmayacaktır.

Ama gene de, bizim kendi galaksi kümemizin evren içinde özel bir konumu olduğunu düşünmeye bizi götürebilecek olan çok ilgi çekici bir görüngü vardır. Uzak galaksilerin ışık tayfları içindeki "kızıl-kayması" adı verilen şeydir bu. Hemen göreceğimiz gibi, bu görüngüden ötürü, evrenin genleşmekte olduğu söylenmektedir.

Burada, Dokuzuncu Bölümde bizi o zaman doğrudan doğruya ilgilendirmemiş olan bir etkiyi ele alacağız. O zaman sözü edilmiş olan sesle ilgili benzetmeyi anımsayacaksınız, eğer bir tren size doğru geliyorsa, düdüğünün perdesi, hareketsiz durduğu zamankinde daha yüksek, sizden uzaklaşıyorsa, durduğu haldekinden daha alçaktır. Etkiler, ışığınkilerin çok benzeridir. Eğer ışık kaynağı size doğru hareket ediyorsa, ışığın bütün tayfı mora doğru kayar, eğer ışık kaynağı sizden uzaklaşıyorsa, bütün tayf kırmızıya doğru kayar. Tayftaki bu kaymalar, tren düdüğündeki perde değişimlerine karşılıktır. Kaymanın miktarı, size rölatif olarak, ışık kaynağının süratine bağlıdır. (Önceden gördüğümüz gibi, kaynağın hareketinden bağımsız olan ışığın süratiyle bunun hiçbir ilgisi yoktur.) Tayftaki bu kayma, yeryüzünde bulunan laboratuvarlarda elde edilen benzer tayflara onların göndermekte olduğu ışık tayfının karşılaştırılmasıyla, yıldız ve galaksilerin süratlerinin belirlenmesi olanağını verir. Bu yolla ölçülen lokal gruptaki galaksilerin sürati, saniyede 300 mile kadar ulaşmaktadır. Günlük ölçütlere göre bu, çok yüksektir. Ama galaksiler arasındaki çok büyük uzaklık nedeniyle, konumlarındaki gözle görülür bir değişiklik olabilmesi için, aradan milyonlarca yıl geçmesi gerekir.

Lokal Grup içindeki galaksilerin bazıları bize doğru gelir, bazıları da bizden uzaklaşırlar. Bir arı sürüsünün hareketiyle karşılaştırılabilecek olan bu hareketin pek şaşırtıcı bir yanı yoktur. Arılar da öteye beriye, birbirlerine göreli olarak hare-

ket ederler, ama bir bütün olarak sürü halini korurlar. Bizim kendi kümemizin dışında kalan kümeleri, incelemek istediğimizde, durum oldukça farklıdır. Burada da her kümede iç hareketler yine vardır, ama öteki bütün kümeler, bizimkinden öteye doğru hareket ediyor görünümündedir ve daha uzaktakiler, daha hızlı hareket ediyor görünümünü vermektedir. Evrenin genleştiği düşüncesini veren, bu dikkate değer olgudur.

Bütün kümelerin bizimkinden uzaklaşıyor görünümü nedeniyle, Lokal Grubun, bir çeşit, genleşen evrenin merkezinde bulunduğunu düşünme eğiliminde olabiliriz. Bu izlenimin yanlış olması gerek, çünkü bu eğilim, bu kitapta birçok kereler yinelenen, hareketin rölatif niteliğini görmezlikten gelmektedir, arı sürüleri benzetimini yeniden ele alalım. Bunların, yerden on yarda yükseklikte, batıdan doğuya bir çizgi üzerinde uçuşan iyi eğitilmiş sürüler olduklarını düşünelim. Ve yine, tutalım ki, sürülerden biri, yere göre hareketsiz iken, onun on yarda doğusunda bulunan sürü, dakikada bir yarda hızla doğuya doğru hareket halinde, onun yirmi yarda doğusunda olan sürü, dakikada iki yarda hızla doğuya doğru hareket halinde vb. durur haldeki sürünün batısında bulunan sürüler de benzer süratle batıya doğru hareket ediyorlar. Bu durumda, durmakta olan ya da hareket etmekte olan sürülerden birinde bulunan bir arıya, öteki sürüler, kendi sürüsünden, aralarındaki uzaklıkla orantılı bir süratle uzaklaşıyor görüneceklerdir. Eğer yer, bir durgunluk ölçütü olarak var olmasaydı, o zaman, sürülerden herhangi birinin özel bir şekilde seçilmiş olduklarını düşünmek için bir neden olmayacaktır.

Galaksi kümelerinin davranışı da tıpkı bunun gibidir. Kuşku yok ki, onlar, bizim iyi eğitilmiş sürülerimiz gibi bir çizgi üzerinde sıralanmak yerine, düzensiz olarak, her yöne dağılmışlardır, ama sürülerin durumunda olduğu gibi, bu kümelerin birinde bulunan bir gözlemci için, öteki kümelerin

hepsi de, onun kümesinden uzağa doğru hareket ediyor görüneceklerdir. Evrende mutlak durgunluk ölçütü olmadığına göre, genleşmenin görünümü, her küme için aynıdır.

Bugüne kadar keşfedilmiş olan en uzak kümenin, ışık hızının yarısı kadar olan durgunluk hızına denk düşen bir kızıl kayması vardır. (Kızıl kaymalara denk düşen durgunluk hızı 6. Bölümde verilen Lorentz dönüşüm formülü esas alınarak hesaplanması gerektiği kadar büyüktür.)

Bugüne kadar bulunmuş olan en büyük astronomik kızıl kaymaları uzakta bulunan kümeler değil, ışık hızının onda dokuzundan daha fazla durgunluk hızına denk düşen "yıldızımsı nesne"ler ya da kısaca kuasarlardır.[11] Ama bu nesnelerin yapıları henüz anlaşılmış değildir, kuramsal bir model oluşturmak için, astronomik veriler kullanıldığında, bunlar tam olarak henüz hesaba katılamamaktadır.

Şimdi de, evren konusundaki bu bilgilerin, genel rölativite kuramına nasıl uydurulabileceğini inceleyelim. Gördük ki, güneşin gravitasyonal etkileri, uzay-zaman içindeki bir tepeninkiler gibi açıklanabilmektedir. Bir galaksi, bir küme, ya da bir süper-küme, aynı yolla gösterilebilir, ama çok daha büyük bir tepeyle, çünkü bunların kütlesi güneşinkinden kat kat fazladır. Eğer biz, her galakside bulunan yıldız dağılımının ve her kümedeki galaksi dağılımının ayrıntılarını bu açıklama içine sokmayı deneseydik, birçok vadisi ve doruğu olan, son derece karmaşık bir tepemiz olacaktı. O zaman, tüm evreni, içinde oraya buraya dağılmış olan kümeleri temsil eden tepeleriyle bir uzay-zamanla gösterebilecek bir biçimde açıklamayı deneyebilirdik. Böyle bir açıklama, matematiksel olarak pek karmaşık olurdu, çünkü bu açıklama, evrenin genel görünümünü açıklamak için temel nitelikte olmayan birçok "coğrafi" ayrıntıları içerecekti. Açıklamayı kolaylaştırmak için, temel nitelikte görünen özellikleri korurken, coğrafi ayrıntıları

11 *Quasistellar object* ya da kısaca *quasar*. (Çev. n.)

bir yana iten modeller kurarız. Koruduğumuz bu özellikler, geniş boyutlu düzgünlük ve genleşmedir. Dışarıda tutulan ayrıntılar, belirgin konular, büyüklükler ve kümelerin ayrı ayrı birleşimleridir.

Böylece biz, evreni, yaklaşık olmak yerine, kusursuz düzgünlükte temsil eden uzay-zamanlar modeli kurarız. Yalınlaştırılmış bu modeller içinde, aralarında geniş boşluklar bulunan kümeler halinde toplanması yerine, maddenin sürekli bir dağılım halinde yayılmış olduğunu düşünürüz.

Maddenin kümeler halinde birikimi, uzay-zaman içinde, kümeyi gördüğümüz yerde çok büyük bir tepenin varlığını söylemekle, ya da uzay-zamanın küme yakınında büküldüğünü söylemekle açıklanabilir, öyle ki, evrenin düzgünleştirilmiş modeli içinde, maddenin düzgün dağılımı, uzay-zamanın düzgün olarak bükülmüş olduğunu söyleyerek açıklanabilir. Farklı kümeleri oluşturan maddenin düzeltilmesinin sonucu, hafif bir genel eğri meydana getirmek üzere, buna denk düşen eğrinin düzleştirilmesidir. Evrenin bu genel eğrisi, basit uzaydaki bir kürenin eğrisinin, bir bakıma benzetimidir, ama biz, yanlış anlamalara kolayca yol açabileceği için, uzay-zamanın genel eğrisini, yeryüzünün eğrileriyle karşılaştırarak, uzay-zaman tepeleriyle, eğri benzetimini daha fazla zorlamayacağız.

Rölativitenin gravitasyon yasasını, düzgünleştirme varsayımıyla –kusursuz düzgünlük varsayımı– birleştirerek, içinde evrenin genel eğrisinin bir sürü farklı biçimler alacağı, değişik evren modelleri kurma olanağımız vardır. Bu genel eğrinin başlıca etkisi, bazı modellerde, uzak nesnelerin tayfında kızıla doğru kaydırılma yönünde olacaktır. Bu kızıl-kaymanın durgunluk hareketine ya da uzay-zaman eğrisine yükümlenmesi, büyük ölçüde bir seçim sorunudur. Etki, evreni açıklamak için kullanılan koordinat sistemine bağlı olarak, şu ya da bu görünümde olabilir. Rölativitenin öngörüleri, kuşkusuz, koordinat sisteminin seçimine bağımlı değildir.

İlgilenmekte olduğumuz örnek evrenler, kendi evrenimizin, genel niteliklerinin gözlenimleriyle aşağı yukarı bağdaşmaktadır. Yeni yasayla ve düzgünlük varsayımı ile aynı ölçüde bağdaşan, içinde kızıl-kayma yerine, evrenin büzülmekte olduğunu gösteren mavi-kaymanın bulunduğu, başka modeller de vardır. Böyle modellerin varlığı, yeni kuramı reddetmek için bir neden olmaz. Bu, kuramın tamamlanmamış olduğunu gösterir; istenmeyen modelleri dışta tutmak için bazı ek varsayımlar gereklidir. Çeşitli varsayımlar önerilmiştir, ama bugüne kadar, tümüyle doyurucu olan biri bulunamamıştır.

Zorunluluk haline gelince, söyleyeceklerimizin hepsini uzay-zaman eğrisi terimleriyle de söyleyeceğimiz hiç akıldan çıkarılmaksızın, genleşmenin sonuçlarını biraz daha inceleyelim. En belirgin sonuçlardan biri, eğer evren, diyelim ki, seyreliyorsa –eğer galaksi kümeleri, giderek birbirlerinden ayrılıyorsa– o zaman, onlar, geçmişte, birbirlerine şimdi olduklarından daha yakındılar. Genleşen evrenin, milyonlarca yıllık bir dönemini kapsayan ve böylelikle evrenin genleşme tarihini saptayacak olan, bir filmini aldığımızı düşünelim. Böyle bir film, geriye doğru gösterilmiş olsaydı, o zaman, evrenin tarihini tersinden göstermiş olacaktı. Bütün galaksi kümeleri, birbirlerinden uzaklaşmak yerine, birbirlerine yakınlaşıyor görüneceklerdi. Film geriye doğru döndükçe, galaksi kümeleri, giderek birbirlerine yaklaşacaklar ve sonunda, belki de, aralarında hiç boşluk kalmayacak hale geleceklerdi. Daha da geriye gittikçe, mevcut bütün boşlukların, yıldızların oluşmuş olabileceği çok yoğun, sıcak gazla dolarak, yıldızlar arasındaki boşluğun bile kapanacağı varsayılabilir.

Son zamanlarda yapılan, kısa radyo dalgalarının astronomik gözlemleri, bu yüksek yoğunluk durumunun varlığını doğrulamaktadır. Öyle görünüyor ki, yerdeki alıcılara ulaşan radyo enerjisinin belirli bir bölümü yıldızlara ya da yıldızlararası gaza yükümlenemez, ama bütün maddenin yüksek düzeyde yoğunlaşmış olduğu, evrenin erken evresinde bulunan

radyasyonun, şimdi beklenen görüntüleri, bununla oldukça uyum içindedir.

Gene de, bu yoğunluk durumuna ilişkin kuramsal modellerin öngörülerine o kadar da güvenilemez. Maddenin kuantum özelliklerine ilişkin bilinenler, yeterince erken bir zamanda, bu özelliklerin önemli etkilerinin olmuş olduğunu varsayar. Bunun böyle olduğunun tam zamanı konusunda, genel bir görüş birliği yoktur, ama, ne olursa olsun, rölativite kuramı tek başına bu tür etkileri açıklayamamaktadır. Günümüzde, doyurucu bir açıklama getirmesi için, rölativite kuramı ve kuantum kuramında gelişmeler sağlanması yolunda çok büyük çaba gösterilmektedir, ama bu gelişmelerin uzun ömürlü olup olmayacağı, henüz net değildir.

Bütün bunlar, oldukça kurgusaldır; olası ki, evren yüksek bir yoğunluk durumundan evrilmiştir, daha da olası ki, böylesine yüksek yoğunluk durumu, hakkında hemen hiç bilimsel bilgilerin bulunmayacağı ilk dönemleri temsil etmektedir. Böyle bir durumun gerçekten de olup olmadığı, günümüzde tartışma konusu değildir. Ne yazık ki, kimileri düşünenler, yüksek yoğunluk durumunun, "evrenin başlangıcı" ya da "evrenin yaratıldığı zaman", ya da buna benzer şeyleri gösterdiğini, benimsemek eğilimindedirler. Bu cümlecikler, "hakkında bilimsel bilgilerin hemen hiçbir zaman var olmayacağı ilk zamanlar" cümleciğinden daha fazla bir anlam taşımamaktadır ve en iyisi bunlardan kaçınmaktır, çünkü bunlar, istenmeyen, metafizik sonuçları da birlikte getirmektedir.

Şimdiki haliyle, rölativite kuramından ve yüksek yoğunluk durumunun genleşmesinden çıkarsanan bazı model evrenler, astronomik verilerle uyum içerisindedir. Bunların tümünde de sakatlıklar vardır, bunların en açık olanı, galaksilerin ve kümelerin büyüklüğünü ve bileşimlerini hesaba katmayan, yalnızca düzgünleştirilmiş bir görüntü vermeleridir.

Daha doyurucu modellerin kurulması, bazı ciddi matematiksel güçlüklerin çözümüne bağlıdır; belirli bir zamanda, farklı modeller arasındaki seçim, astronomik verilere dayalı olmalıdır.

12

Görenekler ve Doğal Yasalar

Bütün tartışmalarda en zor olan, sözcükler üzerindeki anlaşmazlıkları, gerçekler konusundaki anlaşmazlıklardan ayırmaktır; zor olmaması gerek, ama pratikte olan budur. Öteki konularda olduğu gibi, fizikte de, bu, böyledir. On yedinci yüzyılda, "kuvvet"in ne olduğu konusunda korkunç bir çatışma vardı; şimdi bu, bize, "kuvvet" sözcüğünün nasıl tanımlanması gerektiği tartışması olarak görünmektedir, oysa o zamanlar bu tartışma daha önemli bir şey sanılıyordu. Rölativitenin matematiğinde kullanılan tensör yönteminin amaçlarından biri, fizik yasaları içinde (geniş anlamıyla) salt sözel olanı ayıklamaktır. Gerçekten de açıktır ki, koordinat seçiminin bağımlı olduğu şey, söz konusu anlamda "sözel"dir. Sırıkla kayık kullanan bir kimse, kayık boyunca yürümektedir, ama sırığını yerden kaldırmadığı sürece, nehir yatağı referans alındığında, sabit bir konumda kalır. Liliput adalılar, adam yürüyor mu, yoksa ayakta mı duruyor diye, sonu gelmez tartışmalarını sürdürebilirler; ama tartışma, sözcükler üzerinedir, gerçekler üzerine değil. Eğer, kayığa ilişkin olarak saptanmış koordinatlar seçecek olursak, yürümektedir; eğer nehir yatağına ilişkin olarak saptanmış koordinatlar seçecek olursak, olduğu yerde durmaktadır. Fizik yasalarını öyle bir şekilde ifade etmek isteriz ki, iki farklı koordinat sistemi referans alınarak, aynı yasa ifade edildiğinde, durum açık ol-

sun, öyle ki, sadece ayrı sözcüklerle anlatılan bir tek yasaya sahipken, farklı yasalara sahip olduğumuz yanılgısına düşmeyelim. Bu, tensör yöntemi ile başarılmıştır; bir dilde akla uygun görünen bazı yasalar, bir başka dille ifade edilemezler; bunlar, doğa yasaları olarak, olanak dışıdır. *Herhangi bir* koordinat diline çevrilebilen yasaların belirli özellikleri vardır; bu, rölativite kuramının elverdiği, doğanın böyle yasalarının aranmasında önemli bir destektir. Olasılığı olan yasalardan, cisimlerin gerçek hareketlerini doğrulukla öngören, en kolayını seçeriz; mantık ve deney, bu anlatımı sağlamada eşit oranda işe katılırlar.

Ama doğanın gerçek yasalarına varma problemi, tek başına tensör yöntemi ile çözülemez; ayrıca epey bir dikkatli düşünce ister. Bunlardan bazıları, yapılmıştır; geride daha yapılacak çok şey durmaktadır.

Kolay bir örnekleme alalım; tutalım ki, Lorentz'in büzülme varsayımında olduğu gibi, bir yöndeki uzunluklar, bir başka yöndekinden daha kısadır. Diyelim ki, kuzeyi gösteren bir ölçüm cetveli, doğuyu gösteren aynı ölçüm cetvelinin sadece yarısı geliyor ve öyle ki, bu, bütün öteki cisimler için de eşit ölçüde gerçek olsun. Böyle bir varsayımın bir anlamı var mıdır? Eğer doğuyu gösterdiği zaman, on beş ayak gelen bir balıkçı sırığımız varsa, onu, kuzeyi gösterecek şekilde döndürdüğümüzde, yine on beş ayak gelecektir, çünkü cetveliniz de kısalacaktır. Daha kısa "görünmeyecektir", çünkü gözleriniz de aynı şekilde etkilenecektir. Eğer değişmeyi bulmak istiyorsanız, bu, alışılmış ölçümlerle olamaz; uzunluklar ölçmede ışık hızının kullanıldığı Michelson-Morley deneyine benzer bir yöntemle olması gerekir. Bu durumda da yine, değişimin uzunlukta mı olduğu, yoksa ışık hızında mı olduğunu varsaymanın kolay olacağında karar vermek zorundasınız. Deneysel gerçek, ışığın, ölçüm cetvelinize göre belirli bir uzaklığı, bir yönde, diğer yönde olandan daha uzun sürede geçeceği, ya da Michelson-Morley deneyinde olduğu gibi,

daha uzun sürede olması gerekirken, böyle olmadığını ortaya koyacaktır. Böyle bir gerçeğe, ölçülerinizi değişik yollarla uydurabilirsiniz, seçtiğiniz her yolda bir alışkanlık öğesi bulunacaktır. Bu alışkanlık öğesi, ölçülerle ilgili verdiğiniz karardan sonra, ulaşacağınız yasalar içinde canlılığını korur ve çoğu kez, anlaşılması güç ve çapraşık biçimlere bürünür. Alışkanlık öğesini ayıklamak, gerçekte, son derece güçtür, konu üzerinde çalıştıkça, güçlüğün daha da artacağı görülür.

Daha önemli bir örnek, elektronun boyutları sorunudur. Deneysel olarak görüyoruz ki, bütün elektronlar aynı büyüklüktedir. Bunun ne kadarı deneyle kanıtlanmış şaşmaz bir gerçektir ve ne kadarı ölçüm alışkanlıklarımızın bir sonucudur? Burada, yapacağımız iki karşılaştırma vardır: (1) farklı zamanlarda bir elektron açısından; (2) aynı zamanda iki elektron açısından. Böylece (1) ve (2)'yi birleştirerek, iki elektronu ayrı zamanlarda karşılaştırma olanağını sağlarız. Bütün elektronları eşit ölçüde etkileyecek olan herhangi bir varsayımı bir yana itebiliriz, örneğin elektronların, uzay-zamanın bir bölgesinde, bir başka bölgesine göre daha büyük olduklarını varsaymak yararsız olacaktır. Böylesine bir değişiklik, ölçülen şeyleri olduğu kadar, ölçüm araçlarını da aynı ölçüde etkileyeceği için, keşfedilebilir herhangi bir olgu ortaya koymayacaktır. Bu, hiçbir değişimin olmadığını söylemekten daha fazla bir şey değildir. Ama örneğin, iki elektronun aynı kütleye sahip olması gerçeğine, salt alışkanlıkla ilgili olduğu gözüyle bakılamaz. Yeterli duyarlık ve şaşmazlığa sahipsek, iki farklı elektronun bir üçüncü üzerindeki etkilerini karşılaştırabiliriz; eğer bu etkiler, benzer koşullar altında eşit olsalardı, eşitliği salt geleneksel olmayan anlamda ortaya koyabilmiş olacaktık.

Eddington, rölativite kuramının en gelişkin bölümlerinde sözü geçen süreci, "dünyanın-kuruluşu" olarak açıklamaktadır. Kurulacak olan yapı, bildiğimiz fiziksel dünyadır; tutumlu mimar, buna olabildiğince en az malzemeyle kurma yolunu

dener. Bu bir mantık ve matematik sorunudur. Bu iki konudaki teknik yeteneğimiz büyüdükçe, kuracağımız yapı daha gerçek olacaktır ve salt taş yığını ile daha az yetineceğiz. Ama doğanın bize sağladığı bu taşları, yapımızda kullanmazdan önce, onları uygun biçimlerde yontmak zorundayız, bütün bunlar yapım sürecinin parçalarıdır. Bu yolun başarıya ulaşması için, hammadde, *bir tür* yapıya sahip olmalıdır (kerestedeki damarlara benzetebiliriz bunu), ama herhangi bir yapı da işinizi görecektir. Ardışık matematiksel arındırmalarla, başlangıç gereksinmelerimizi, çok az bir miktar kalana dek ayıklayıp atarız. Hammaddedeki yapının gerekli asgari düzeyi verildiğinde, algıladığımız dünyanın izahı için gerekli olan özellikleri içinde taşıyan –özellikle, momentum ve enerjinin (ya da kütlenin) niteliği olan korunum özelliklerini– matematiksel bir ifadeyi kurabileceğimizi görürüz. Bizim hammaddemiz, sadece olaylardan oluşmaktadır; ama ondan, ölçüldüğünde, ne yaratabilen ve ne de yok edebilen bir şeyler kurabildiğimizi gördüğümüzde, "cisimler"e inanmaya başlamamız, şaşırtıcı olmasa gerek. Bunlar, gerçekten, olaylardan sağlanan salt matematiksel kuruluşlardır, ama kalıcılıkları nedeniyle, pratik olarak önemlidirler ve duyumlarımız (belki de biyolojik isteklerle gelişmiş olan duyumlarımız), kuramsal olarak daha temel olan olayların kaba bütünlüğünden çok, bunları fark edecek şekilde ayarlanmıştır. Bu açıdan, fizik biliminin, gerçek dünya konusunda ne kadar az şeyler ortaya çıkarmış olması şaşırtıcıdır; bilgimiz, sadece, alışkanlık öğesinden ötürü değil, aynı zamanda algılama aygıtımızın seçiciliğinden ötürü de, sınırlanmıştır.

Algılama aygıtımızın seçiciliği ile ortaya çıkan bilgi sınırlamaları, enerjinin yok edilmezliği ile örneklenebilir. Bu, deneyle, aşamalı olarak keşfedilmiştir ve doğanın iyi kurulmuş deneysel bir yasası gibi görünmektedir. Şimdi öyle görünüyor ki, bizim ilk uzay-zaman bütünlüğümüzden ona yok edilmez görüntüsü veren niteliklerle donatılmış, matematiksel

bir ifade kurabiliriz. Enerjinin yok edilmezliği önermesi, o zaman, bir fizik önermesi olmaktan çıkıyor ve bir dil ve psikoloji önermesi haline geliyor. Bir dil önermesi olarak; "enerji", sözü edilen matematiksel ifadenin adıdır. Bir psikoloji önermesi olarak; duyularımız öyledir ki bizim fark ettiğimiz şey, kabaca söz konusu matematiksel ifadedir ve bilimsel gözlemlemeyle olgunlaşmamış algılarımızı arındırdıkça, ona giderek daha çok yaklaşırız. Bu, fizikçilerin enerji konusunda bildiklerini sandıklarından çok daha az bir şeydir.

O zaman fizikçiye ne kalıyor, diye sorabilir okurlar. Madde dünyası konusunda gerçekten ne biliyoruz? Burada fiziğin üç bölümünü ayırt edebiliriz. Birincisi, olabildiği kadar genelleştirilmiş olan rölativite kuramının içerdiği şeydir. İkincisi, rölativitenin alanı içine getirilemeyecek olan yasalar vardır. Üçüncü olarak da, coğrafya olarak adlandırılabilecek şey vardır. Şimdi sırasıyla bunları görelim.

Rölativite kuramı, alışkanlıklardan ayrı olarak, evrendeki olayların dört boyutlu bir düzende olduğunu bize söylemektedir ve bu düzen içinde, birbirine yakın iki olay arasında, eğer yeterli önlemler alınmış ise, ölçülebilecek olan "aralık" adında bir bağıntı vardır. Aynı zamanda bu, bize, "mutlak hareket", "mutlak uzay" ve "mutlak zaman"ın herhangi bir fiziksel geçerliliği olmadığını göstermektedir. Bu kavramları içeren fizik yasaları kabule değer değildir. Bunun kendi başına bir fizik yasası olduğunu söylemek zordur, ama daha çok, ileri sürülen bazı fizik yasalarının yeterli olmadığını iddia ederek, onları reddetmemizi sağlamada kullanışlı bir kuraldır.

Bunun ötesinde, rölativite kuramında, fizik yasası olarak bakılabilecek pek az şey vardır. Matematiksel olarak kurulmuş belirli niceliklerin, algıladığımız şeyler gibi davranmaları gerektiğini gösteren, azımsanmayacak matematik vardır ve bu matematiksel olarak kurulmuş niceliklerin, algılamada duyumlarımızın uyumlandığı şeyler olduğu konusunda, ku-

ramda, psikoloji ile fizik arasında bir köprünün varlığı ileri sürülmektedir. Ama bunlardan hiçbiri, tam anlamıyla fizik değildir.

Bugünkü durumda, fiziğin, rölativitenin sınırları içine sokulamayan bölümü çok fazladır ve çok da önemlidir. Elektron ve protonların varlık nedenlerini gösterecek hiç bir şey yoktur rölativitede; maddenin küçük kümeler halinde var olmalarına, rölativite hiçbir neden gösterememektedir. Bu, küçük ölçekli maddenin birçok özelliklerini değerlendiren kuantum kuramının alanına girmektedir. Kuantum kuramı, özel rölativite kuramıyla uyumlu hale getirilmiştir, ama şimdiye kadar kuantum kuramı ile genel rölativitenin sentezini yapmak yolundaki tüm girişimler, başarısız kalmıştır. Fiziğin bu bölümünü, genel rölativitenin çerçevesi içine sığdırmak yolunda, çok ciddi zorluklar olduğu görülmektedir. Kuantum kuramının kendi içinde de, bugün aynı ciddiyetle güçlükler bulunmaktadır. Birçok fizikçi, kuantum kuramı ile genel rölativitenin bir sentezinin, bu güçlüklerin bir kısmını çözebileceğini düşünmektedir. Bugünkü durumda, görmüş olduğumuz gibi, genel rölativite, büyük çapta maddenin özellikleriyle ilgili olarak, oldukça doyurucu olurken, kuantum kuramı küçük boyutlar içindeki maddenin özellikleri konusunda oldukça doyurucudur. Böyle olmakla birlikte, özel rölativite kuramındaki ortak taban dışında, iki kuram arasında, görünür bir bağ yoktur. Bu durum yeterli değildir ve sürekli olacağa da benzememektedir. Genel rölativitenin, kuantum kuramının açıkladığı bütün sonuçları açıklayabilecek bir yolda genişletilebileceğini ve bu açıklamaların şimdiki kuantum kuramının yaptığından daha doyurucu olacağını düşünen birkaç kişi vardır. Einstein, yaşamının sonlarına doğru, bunu düşünenlerden biriydi. Oysa ki, fizikçilerin pek çoğu, bugün, bu görüşün yanlış olduğuna inanmaktadır.

Genel rölativite, "art arda yöntemleri" diye adlandırılabilecek olan şeyin, en uç örneğidir. Artık gravitasyona, gü-

neşin bir gezegen üzerindeki etkisi gözüyle bakmanın gereği yoktur, ama gravitasyon, gezegenin içinde bulunduğu bölgenin niteliklerinin ifadesi olarak düşünülebilir. Bu niteliklerin, bir gezegenin, uzay-zamanın bir bölümünden, bir ötekine hareket ederken, azar azar, giderek ve ani sıçramalarla değil de, süreklilik içinde değiştikleri düşünülmektedir. Elektromanyetizmin etkileri de aynı yolla değerlendirilebilir, ama elektromanyetizm, kuantum kuramı ile uyum içine sokulur sokulmaz, niteliği tümüyle değişir. Süreklilik yanı tümüyle kaybolur ve yerini, önceden de gördüğümüz gibi, kuantum kuramının bir özelliği olan süreksizlik davranışı alır. Ne var ki, eğer biz, kuantum kuramının bu düşüncelerini gravitasyona uygulamaya kalkarsak, bunların tam bir uyum içinde olmadıklarını görürüz ve kuramlardan birinde, ya da ötekinde ya da her ikisinde de, önemli ölçüde değişiklikler gerektirir. Şimdilik biz, nasıl değişiklikler gerektiğini bilmiyoruz.

Bu güçlük daha değişik bir şekilde açıklanabilir. Bir astronom güneşi gözetlerken, güneş onun bütün işlemlerine karşı, kibirli bir ilgisizlik içinde kalır. Ama bir fizikçi, bir atomda olup bitenleri ortaya çıkarmaya kalkıştığında, kullanmakta olduğu aygıt, gözlemlediği şeyden, çok daha küçük olacağına, çok daha büyüktür ve muhtemelen onun üzerinde bazı etkilere sahiptir. Bir atomun konumunun belirlenmesine en uygun gelen aygıt çeşidinin onun hızını mutlaka etkileyeceği ve hızın belirlenmesine en uygun gelen aygıt çeşidinin ise, onun konumunu mutlaka etkileyeceği görülmüştür. Atomların kuantum kuramı, özel rölativite kuramı ile uyumlaştırıldığında, bu, herhangi bir zorluk çıkarmaz, çünkü o halde, gravitasyon ihmal edilmekte ve uzay-zaman, içinde şurada burada atomlar, ister olsun, ister olmasın, düz olarak düşünülmektedir. Ama eğer kuantum kuramını, genel rölativite kuramı ile uyumlamaya çalışıyorsak, o zaman gravitasyon ihmal edilemez, böylece uzay-zaman eğrisi, atomların bulun-

dukları yerlere bağımlı olacaktır. Bununla birlikte, kuantum kuramı, hemen yukarda da gördüğümüz gibi, atomların yerlerini her zaman bilemeyeceğimizi, oldukça açıklığa kavuşturmuştur. Zorluğun bir kökü budur.

Sonunda, içine tarihi de kattığım, coğrafyaya geliyoruz. Tarihin coğrafyadan ayrılması, zamanın uzaydan ayrılmasına dayanır, her ikisini uzay-zaman içinde karıştırdığımızda, coğrafya ve tarihin karışımını ifade edecek bir sözcüğe gerek vardır. Kolaylık olsun diye, ben coğrafya sözcüğünü bu geniş anlam içinde kullanacağım.

Coğrafya, bu anlamda, kaba bir olgu olarak, uzay-zamanın bir bölümünü, bir ötekinden ayırmaya yarayan her şeyi içerir. Bir bölümünde güneş, ötekinde dünya ve ara bölgede de ışık dalgaları bulunur, ama madde bulunmaz (çok az, şurada burada bulunan madde hariç). Farklı coğrafi olgular arasında belli ölçüde kuramsal bir bağ vardır; fizik yasalarının amacı, bu bağı kurmaktır.

Şimdi biz, ileriye ve geriye doğru geniş zaman süreleri için, güneş sistemine ait büyük olguları hesaplamak durumundayız. Ama bütün bu hesaplamalarda kaba bir olgu temeline gerek duyarız. Olgular, iç içe bağıntılıdırlar, ama olgular, tek başına genel yasalardan değil, ancak öteki olgulardan çıkarılabilirler. Böylelikle, coğrafya olgularının, fizik içerisinde belli bir bağımsız durumları vardır. Çıkarsamamız için veri olarak öteki olguları bilmediğimiz sürece, bir fiziksel olguyu elde etmemize yardımcı olmaya, fiziksel yasalar yetmeyecektir. Ve burada, "olgular"dan söz ettiğimde, terimi kullanmakta olduğum geniş anlamı içinde, coğrafyanın özel olgularını düşünüyorum.

Rölativite kuramında, bizi *yapı* ilgilendirmektedir, yapıyı oluşturan malzemeler değil. Öte yandan, coğrafyada, malzeme işe karışır. Eğer bir yerle, bir başka yer arasında, bir farklılık varsa, ya bir yerde bulunan malzeme, öteki yerde bulunandan farklıdır, ya da malzeme bulunan yerle, malzeme hiç

bulunmayan yer farklıdır. Bu seçeneklerden birincisi daha doyurucu görünmektedir. Şöyle de diyebilirdik: Orda elektronlar, protonlar ve öteki atom-altı tanecikler vardır ve geri kalan yeri boştur. Ama boş bölgeler içerisinde de ışık dalgaları bulunmaktadır, o yüzden, orda hiçbir şey yoktur da diyemeyiz. Kuantum kuramına göre, şeylerin nerede olduğunu bile tam bir doğrulukla söyleyemeyiz, sadece, bir elektronun bulunması için bir yerin başka bir yerden daha olası olduğunu söyleyebiliriz. Bazı kimseler, ışık dalgaları gibi taneciklerin de sadece esir içerisindeki karışıklıklar olduğunu ileri sürmektedir, bazıları da onların sadece karışıklık olduğunu söylemekle yetinmektedirler; ama her iki durumda da, olaylar, ışık dalgaları ya da taneciklerin bulunabileceği yerde olmaktadır. Enerji, olaylardan kurulan, matematiksel bir yapı olarak ortaya çıktığına göre, şu ya da bu biçimde, enerjinin bulunması olası olan yerler hakkında söyleyebileceğimizin hepsi budur. Onun için biz, uzay-zaman içerisinde, her yerde, olaylar vardır diyebiliriz, ama söz konusu olan bölgenin pek muhtemelen bir elektron veya protonun bulunduğu bir bölge olması ya da genellikle boş dediğimiz cinsten bir bölge olması durumuna göre, bu olaylar, bir bakıma farklı türde olmalıdırlar. Bizim kendi yaşantımız içinde olmadıkları sürece, bu olayların gerçek nitelikleri konusunda bir şey bilme olanağımız yoktur. Bizim kendi algılarımız ve duygularımızın, fiziğin bir model içinde düzenlediği, ya da daha doğrusu, fiziğin bir model içinde düzenlenmiş olarak bulduğu, olayların kaba malzemesinin bir parçası olmaları gerek. Bizim kendi yaşantımızın bir bölümünü oluşturmayan olaylar açısından fizik, bize, bunların modelini anlatır, ama onların kendi içlerinde neye benzediklerini söylemek yeteneğinden oldukça yoksundur. Ne de herhangi bir başka yöntemle bunun bulunabileceği olası gözükmektedir.

13

"Kuvvet"in Ortadan Kalkışı

Newton sisteminde, bir kuvvet etkisi altında bulunmayan cisimler, düzgün hızla, doğru çizgiler üzerinde hareket ederler, cisimler bu yolda hareket etmedikleri zaman, cisimlerin hareketlerindeki değişim bir "kuvvet"e yükümlenir. İmgelerimiz kimi kuvveti akla yakın bulur; bir ip ya da iplikle uygulanan, cisimlerin çarpışmalarından doğan ya da açık bir itme, ya da çekme ile olan kuvvetler. Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, bu süreçlerin bizce görünüşteki imgesel kavranışı oldukça temelsizdir; bütün bunlar, matematiksel hesaplamalara gerek duymaksızın, olup biteceklerin geçmişteki deneyin yardımıyla aşağı yukarı önceden görülebilmesi anlamına gelmektedir. Ama gravitasyon içerisindeki ve daha az bilinen elektriksel etki biçimlerindeki "kuvvetler", bu yolla imgelerimize "doğal" görünmezler. Dünyanın boşluk içinde yüzmesi garip gelmektedir; doğal olanı, onun düşmesi gerektiğini varsaymaktır. İşte bu yüzdendir ki, eski bazı kurguculara göre, dünya, bir filin sırtına, fil de bir kaplumbağanın sırtına yüklenmiştir. Newtoncu kuram, uzaktan etki dışında, iki imgesel yenilik daha getirmiştir. Birincisi, gravitasyonun her zaman ve esas olarak "aşağı doğru" diyebileceğimiz doğrultuya, yani yerin merkezine doğru yönelmemiş olmasıdır. İkincisi de, bir daire çevresinde, düzgün bir hızla durmadan dönen bir cisim, kuvvet etkisinde bulunmayan cisimlerin hareketi

için söylenen anlamda "düzgün hareket" içinde değildir, ama sürekli olarak düzgün yörüngesinden çıkıp, dairenin merkezine doğru yönelmektedir, bunun için de bir kuvvetin onu bu yönde çekmesi gerekir. Böylece Newton, gezegenlerin güneşe doğru, gravitasyon denilen bir kuvvetle çekildikleri görüşüne ulaşmıştır.

Bu görüş açısının yerini, tümüyle, görmüş olduğumuz gibi, rölativite almıştır. Eski geometrik anlamıyla "doğru çizgiler" yoktur artık, "Doğru çizgiler", ya da geodiziler vardır, ama bunlar, uzayı olduğu kadar, zamanı da kapsar. Geometrik bakış açısından, bir ışık ışını, güneş sistemi arasından geçerken, herhangi bir kuyruklu yıldızın yörüngesine benzer bir yörünge çizmez; ama yine de herhangi bir geodizi üzerinde hareket eder. Bütün imgesel görünüm değişmiştir. Bir ozan, su tepeden aşağı akıyor, çünkü deniz onu çekiyor diyebilir, ama bir fizikçi, ya da herhangi bir ölümlü, ötesinde ne yattığını gözetmeksizin, her noktada, bu noktadaki yerin niteliğinden ötürü, su öyle hareket etmektedir, diyecektir. Tıpkı denizin, suyun kendisine doğru akmasına neden olmaması gibi, güneş de gezegenlerin onun etrafında dönmelerinin nedeni değildir. Gezegenler güneş etrafında dönerler, çünkü yapılacak en kolay şey odur; teknik anlamıyla, bu "en az etki"dir. Güneşten doğan herhangi bir etkiden ötürü değil, içerisinde bulundukları bölgenin niteliğinden ötürü yapılacak en kolay şeydir.

Gravitasyonu, gezegenleri güneşe doğru çeken bir "kuvvet"e yorumlamanın zorunlu olduğu varsayımı, ne pahasına olursa olsun, Öklidsel geometrinin korunmasının sağlanmasından doğmuştur. Eğer, uzayımızın Öklidsel olduğunu, gerçekte olmadığı halde, varsayıyorsak, geometrimiz içerisindeki yanlışları düzeltmek için fiziğe başvurmak zorunda kalacağız. Cisimlerin, öyle görmekte direndiğimiz doğru çizgiler üzerinde hareket etmediklerini göreceğiz, bu davranış için bir neden arayacağız. Eddington bu konuyu hayranlık verici bir açıklıkla koyuyor, ve şu açıklama onun söylediklerine dayan-

dırılmaktadır: Düşünün ki, özel rölativite kuramında kullanılan bir formül –uzayınızın Öklidsel olduğunu kabul eden bir formül– varsayıyorsunuz. Aralıklar deneysel yöntemle birbirleriyle karşılaştırılabildiklerine göre, gözlemsel sonuçlarla bağdaştırılamadığını hemen görecek ve böylelikle yanlışınızı kavrayacaksınız. Ama siz yine de Öklidsel formülün arkasında durmakta ısrar edecek olursanız, formül ile gözlemler arasındaki uyuşmazlığı var olan ve deney cisimlerinin davranışlarını yönlendiren bazı etkilenmelere yorumlayacaksınız. Bu durumda, kendi yanlışınızın sonuçlarını yükümleyebileceğiniz bir etken ortaya atacaksınız. Bir doğru çizgi üzerinde düzgün harekette görülen sapmaya neden olan herhangi bir etkene verilen ad, Newton'un kuvvet tanımına göre, *kuvvettir.* Böylece, bizim gözlemcimizin yanlışından gelen etken, "kuvvet alanı" olarak açıklanmaktadır.

Eğer insanlar, eski "kuvvet" kavramı olmaksızın, dünyayı bu yeni şekliyle kavramayı öğrenmiş olsalardı, bu, sadece onların fiziksel imgelemlerini değiştirmekle kalmayacak, belki de onların değerlerini ve politikalarını da değiştirecekti. Bu sonuncu etki oldukça mantıksal gelecektir, ama yine de bu olanak dışı değildir. Newton'un güneş sistemi kuramı içinde, güneş, gezegenlere, uymak zorunda oldukları emirler veren bir kral gibidir. Einstein'ın dünyasında, Newton'unkinden daha çok bireysellik ve daha az yönetim ağırlığı vardır. Aynı zamanda daha az telaş vardır; gördük ki, tembellik, Einstein evreninin temel yasasıdır. "Dinamik" sözcüğü, gazete dilinde "canlı ve kuvvetli" anlamına gelir; ama eğer "dinamiğin ilkelerinin izah edilmesi" anlamından söz ediliyorsa, bu kavram sıcak iklimlerde, muz ağacı altına oturarak muzun ağzına düşmesini bekleyen kimselere uygulanılmalıdır. Umarım ki, gazeteciler, gelecekte, "dinamik kişilikten" söz ettikleri zaman, uzak sonuçları düşünmeksizin, o anda en az zor olan şeyi yapan kişiyi kastedeceklerdir. Eğer bu sonuca bir katkım olursa, boşuna yazmamış olacağım.

"Kuvvet"in ortadan kalkışı, Birinci Bölümde anlatıldığı gibi, fiziksel düşüncelerin kaynağı olarak dokunmanın yerine, görmenin konmasıyla ilgili gibi görünmektedir. Aynadaki bir görüntünün hareketinde, onu bir şeylerin ittiğini düşünmeyiz. Birbirlerinin tam karşısında bulunan iki geniş aynanın içinde, aynı nesnenin sayısız yansımalarını görebilirsiniz. Diyelim ki, silindir şapkalı bir bey, iki ayna arasında, ayakta duruyor, yirmi ya da otuz silindir şapka yansıması olabilir. Yine tutalım ki, birisi geldi ve beyefendinin silindir şapkasını bir sopa ile yere düşürdü; aynı anda öteki yirmi ya da otuz şapka da yere yuvarlanacaktır. Biz "gerçek" silindir şapkanın yere düşürülmesi için bir kuvvete gerek olduğuna inanırız, ama geri kalan yirmi ya da otuzunun, sanki kendi kendilerine düştüklerini, ya da sadece bir öykünme hevesiyle yere düştüklerini sanırız. Gelin bu sorunu biraz daha ciddi bir yolda düşünmeyi deneyelim.

Aynadaki bir görüntü hareket ettiğinde, bir şeyler olduğu açıktır. Görme açısından olay, sanki ayna içinde değilmişçesine gerçek gibi görünecektir. Ama dokunma ve işitme açılarından, olan bir şey yoktur. "Gerçek" silindir şapka düşerken ses çıkarır: Yirmi-otuz görüntü ise, ses çıkarmadan düşerler. Eğer ayak parmağınıza düşecek olursa, onu duyarsınız; ama silindir şapkalar aynada bulunan yirmi otuz kişinin parmaklarına düşmüş olsa da onların bir şey duymadıklarına inanırız. Ama bütün bunlar aynı ölçüde, astronomik dünya içinde geçerlidir. Astronomik dünya ses çıkarmaz, çünkü ses boşlukta yayılamaz. Bildiğimiz kadarıyla, herhangi bir "duyguya" yol açmaz. Çünkü o bölgede "onu duyacak" bir kimse yoktur. O yüzden astronomik dünyanın, aynadaki dünyadan daha "gerçek" ya da daha "somut" olduğunu söylemek zordur ve onu hareket ettirmek için aynadaki dünyanın gerektirdiği kadar bir "kuvvete" gerek vardır.

Okuyucu, benim boş safsataya kapıldığım sanısına varabilir. "Sonunda, ne de olsa" diyebilir, "aynadaki görüntü, so-

mut bir şeyin yansımasıdır ve aynadaki silindir şapka, ancak gerçek silindir şapkaya kuvvet uygulandığı zaman düşer. Aynadaki silindir şapka, kendine özgü bir davranışa kaptıramaz kendini, gerçek olanı kopya etmek durumundadır. Bu, görüntünün, güneş ve gezegenlerden neden farklı olduğunu göstermektedir. Çünkü *onlar*, bir ana modele, sürüp giden bir biçimde öykünmek zorunluluğunda değildirler. Öyleyse, sizin için en iyisi, bir görüntünün tıpkı göksel bir cisim kadar gerçek olduğunu ileri sürme tutumuna son vermektir."

Kuşkusuz, bunda bir gerçek payı vardır; sorun bu gerçeğin tam olarak ne olduğunu bulabilmektir. Birincisi, görüntüler "sanal" değildir. Bir görüntü gördüğünüzde, tamamıyla gerçek, belirli ışık dalgaları gözünüze ulaşmaktadır. Ve eğer aynanın üstüne bir örtü asacak olursanız, bu ışık dalgalarının varlıkları ortadan kalkar. Oysa bir "görüntü" ile bir "gerçek" şey arasında, salt optiksel bir ayrılık vardır. Optiksel ayrılık, bir öykünme sorunu ile bağıntılıdır. Aynanın yüzüne bir perde astığınız zaman, "gerçek" nesne için bir farklılık söz konusu değildir, ama o "gerçek" nesneyi uzaklaştırdığınız zaman, görüntü de kaybolur. Bu, bizi, görüntüyü yapan ışık ışınlarının yalnız ayna yüzeyinde yansıdıklarını, gerçekte aynanın arkasında bulunan bir noktadan değil, ama "gerçek" nesneden geldiklerini söylemeye zorlar. Burda, bizim, büyük önem taşıyan bir genel ilke örneğimiz var. Dünyadaki olayların pek çoğu, yalıtılmış olgular değildir, ama hemen hemen birbirlerinin benzeri olay gruplarının üyeleridirler, öyle ki, her grup, uzay-zamanın belirli bir küçük bölgesi ile belirlenebilir bir biçimde birbirlerine bağlanmışlardır. Hem nesneyi, hem de onun aynadaki yansımasını görmemizi sağlayan ışık ışınlarındaki durum budur; hepsi de bir merkez durumunda olan nesneden yayılmaktadır. Eğer belli bir uzaklıkta, nesnenin çevresine ışık geçirmeyen bir yuvarlak koyacak olursanız, nesne ve onun yansıması, yuvarlağın dışında, bir başka yerde görülemez. Gördük ki gravitasyon, artık bir uzaklıkta etki

olarak görülmemesine karşın, yine de bir merkez ile bağlantılıdır, sanki simetrik olarak doruğu etrafında düzenlenmiş bir tepe vardır ve bu tepe bizim ilgili olduğumuz gravitasyonal alan ile bağıntılı olan cismin bulunduğunu algıladığımız yerdir. Kolaylık olması için, sağduyu, yukarıdaki anlamda bir grup oluşturan bütün bu olayları bir araya toparlar. İki kişi, aynı nesneyi gördüklerinde, farklı iki olay olur, ama bunlar, aynı grubun aynı merkeze bağlı olaylarıdır. İki kişi (dediğimiz gibi) aynı gürültüyü duyduklarında, tamı tamına aynı şey olur. Ve böylece, bir aynadaki yansıma, yansıyan nesneden daha az "gerçek"tir, optiksel bir görüş açısından bile böyledir, çünkü ışık ışınları görüntünün bulunabileceği yerden *her* yöne yayılmaz, sadece yansıtılan nesne, konumunda kaldığı sürece ve ancak aynanın önündeki doğrultularda yayılır. Bu, bağıntılı olayları, incelemekte olduğumuz yolda, bir merkezde gruplamamızın yararını gösterir.

Böyle bir nesneler grubundaki değişmeleri incelediğimizde, bunların iki tür olduğunu görürüz; yalnızca grubun bazı üyelerini etkileyenleri ve grubun tüm öğelerinde birbirine bağlı değişimler yapanları. Eğer bir mumu, bir aynanın karşısına koyacak olursanız ve ardından aynaya siyah bir örtü çekerseniz, sadece çeşitli yerlerde görülmekte olan mumun yansımasını değiştirmiş olursunuz. Gözünüzü kapatacak olursanız, size olan görünümü değiştirmiş olursunuz, öteki yerlerdeki görünümü değil. Eğer çevresine bir ayak uzaklıkta bir yere kırmızı bir yuvarlak koyacak olursanız, onun bir ayaktan ötede olan yerlerdeki görünümünü değiştirmiş olursunuz, bir ayak içerisindeki görünümünü değil. Bütün bu durumlarda, mumun kendisinin değişmekte olduğunu düşünmezsiniz, gerçekten de bunların hepsinde, farklı bir merkeze bağlı olan, ya da farklı merkezlere bağlı olan, değişme gruplarının olduğunu göreceksiniz. Örneğin, gözlerinizi kapattığınız zaman, bir başka gözlemciye, mum değil, sizin gözleriniz farklı görünür; olan değişmelerin merkezi, sizin

gözleriniz içerisindedir. Ama mumu söndürdüğünüz zaman, onun her yerdeki görünümü değişmektedir, bu durumda siz, değişmenin mumda olduğunu söylersiniz. Bir nesnede olan değişmeler, nesnenin yakınına birikmiş bulunan olaylar grubunu etkileyen değişmelerdir. Bütün bunlar yalnızca sağduyunun bir yorumudur ve ayna içindeki mum görüntüsünün, mumdan daha az "gerçek" olduğunu söylerken, ne demek istediğimizin açıklığa kavuşması yolunda bir girişimdir. Görüntünün bulunabileceği yer dolayında yerleşmiş bağlantılı olaylar grubu yoktur ve görüntüdeki değişiklikler, mum yakınlarında toplanır, ayna yakınında bir nokta dolayında değil. Bu, görüntünün "yalnızca" bir yansıma olduğunu ileri süren önermeye, tam anlamıyla doğrulanabilir bir anlam vermektedir. Ve aynı zamanda, bizim, göksel cisimlere, ancak görebildiğimiz, ama dokunamadığımız cisimler olmalarına karşın, bir aynadaki görüntüden daha "gerçek" olarak bakabilmemizi sağlamaktadır.

Eğer biz, "kuvvet"in yok olmasının ne anlama geldiğini gerçekten kavramak istiyorsak, artık, bir cismin bir başka cisim üzerinde "etkisi" olduğu yolundaki sağduyu kavramını yorumlamak işine başlayabiliriz. Tutalım ki, karanlık bir odaya giriyor ve elektrik düğmesini çeviriyorsunuz, bu durumda odada bulunan her şeyin görünümü değişmiştir. Oda içinde bulunan her şey, elektrik ışığını yansıtmaları yüzünden görülebildiği için, durum, aynadaki görüntü olayını iyice anımsatmaktadır; elektrik ışığı, bütün değişmelerin kaynağı olan merkezdir. Bu durumda, "etki", şimdiye dek söylediklerimizle açıklanmaktadır. Etki, bir hareket olduğu zaman, durum çok daha önemlidir. Bank Holiday kalabalığına bir kaplan salıverdiğinizi düşünelim; kalabalığın tümü hareket edecektir. Ve kaplan onların çeşitli hareketlerinin merkezi olacaktır. Kaplanı göremeyen, ama kalabalığı görebilen bir kimse, o noktada itici bir şeyin varlığına hükmedecektir. Bu durumda biz, kaplanın halk üzerinde bir etkiye sahip oldu-

ğunu söyleriz ve kaplanın onlar üzerindeki bu etkisini, bir itici kuvvet niteliğinde olarak tanımlayabiliriz. Bununla birlikte, orda kaplanın bulunmasından değil de, *onlara* bir şeyler olduğundan kaçıştıklarını biliyoruz. Onlar, onu görebildikleri ve duyabildikleri için kaçışıyorlar, yani onların gözlerine ve kulaklarına belirli dalgalar ulaşmaktadır. Eğer bu dalgalar, orda bir kaplan bulunmadan da onlara ulaştırılabilmiş olsaydı, aynı çabuklukta yine kaçışacaklardı, çünkü o çevre onlara yine aynı ölçüde sevimsiz gelecekti.

Şimdi benzer değerlendirmeleri, güneşin kütlesel çekimine uygulayalım. Güneşin sağladığı "kuvvet" ile kaplanın sağladığı kuvvet, sadece birisinin çekici, ötekinin itici olmasıyla ayrılırlar. Işık ya da ses dalgaları yoluyla etkileme yerine, güneş görünen gücünü, güneşin etrafındaki uzay-zamanın değişimleri gerçeği yoluyla oluşturur. Kaplanın sesi gibi, bunlar da kaynaklarının yakınında daha yoğundurlar, uzaklaştıkça giderek azalırlar. Güneşin bu uzay-zaman değişimlerine "neden" olduğunu söylemek, bilgimize bir şey katmaz. Bildiğimiz şey, değişmelerin belirli bir kurala göre gelişmeleridir ve bunlar, güneş merkez olacak şekilde, simetrik olarak gruplanmışlardır. Neden ve etki dili, bunlara, istek, kas gerilimi ve benzeri şeylerle bağıntılı bir sürü tutarsız sanılar katmaktan başka bir şey yapmaz. Bizim aşağı yukarı çıkarabildiğimiz şey, sadece, çekici maddenin varlığı ile uzay-zamanın değişmesinin formülüdür. Daha doğrusu, uzay-zamanın hangi türünün, çekici maddenin varlığı *olduğunu* araştırabiliriz. Belli bir bölgede uzay-zaman tamı tamına Öklidsel değilse, belirli bir merkeze yaklaştıkça, giderek artan bir belirlilikle Öklidsel olmayan bir niteliğe bürünüyorsa ve Öklid'den ayrılmalar belirli bir yasaya uyuyorsa, bu durumu biz, kısaca, merkezde gravitasyonal etki yaratan maddenin olduğunu söyleyerek açıklarız. Ama bu, bildiğimiz şeyin yalnızca bir özetidir. Bizim bildiğimiz, gravitasyonal etki yaratan maddenin nerede bulunduğu değil nerede *bulunmadığıdır*. Neden ve etki dili

("kuvvet" bunun özel bir durumudur), belli amaçlar için kullanışlı bir kısaltmadan başka bir şey değildir ve bu dil, fizik dünyasında gerçek olarak bulunabilecek olan bir şeyi temsil etmez.

Peki madde konusunda ne diyebiliriz? Yoksa o da mı kullanışlı bir kısaltmadan başka bir şey değildir? Bu soru, oldukça geniş bir konu olması nedeniyle, ayrı bir bölüm gerektirmektedir.

14

Madde Nedir?

"Madde nedir?" sorusu, metafizikçilerin sorabileceği bir soru türüdür ve bu konuyla ilgili olarak, inanılmaz karmaşıklıkta kitaplar yazılmıştır. Ama ben, soruyu, bir matematikçi olarak sormuyorum. Ben, bunun, modern fiziğin ve özellikle rölativite kuramının getirdiği değerleri bulmak isteyen bir kişi olarak soruyorum. İlgili kuramdan öğrendiklerimizden ortaya çıkmaktadır ki, madde öteden beri alışa gelinen şekilde kavranamaz. Sanıyorum ki, şimdi yeni kavramın ne olması gerektiğini aşağı yukarı söyleyebiliriz.

Maddenin geleneksel iki kavramı vardı, her ikisi de bilimsel spekülasyonlar başladığından bu yana savunulagelmiştir. Maddenin, ince, hiç bölünmeyen kümeciklerden oluştuğunu düşünen atomistler vardı, bu atomların, birbirleriyle çarpıştıkları, sonra da değişik yönlere sıçradıkları sanılırdı. Newton'dan sonra, bunların, birbirlerine gerçekten dokundukları inancı artık bir yana itilmişti, ama birbirlerini çeken ve iten ve birbirleri çevresindeki yörüngelerde hareket eden şeyler olarak kabul ediliyorlardı. Ayrıca maddenin her yerde var olduğunu, gerçek bir boşluğun bulunamayacağını düşünenler çıktı. Descartes bu görüşü benimseyerek, gezegenlerin hareketlerini esir içindeki girdaplara yorumladı. Gravitasyonun Newtoncu kuramı, her yerde maddenin bulunması görüşünün gözden düşmesine neden oldu, Newton ve tilmizleri,

ışığın, ışık kaynağından gelen gerçek taneciklere dayandığını düşününce, bu gözden düşme, daha da arttı. Ama ışıkla ilgili bir görüşün yanlışlığı kanıtlanınca ve ışığın dalgalardan oluştuğu gösterilince, esirin dalgalanan bir şey olması gerektiği düşünülmeye başlandı. Esir, elektromanyetik olgularda, ışığın yayılmasındaki gibi bir etken olduğu görülünce, daha da saygınlık kazandı. Atomun da, esirin bir hareket biçimi olabileceği bile düşünüldü. Bu evrede, maddenin atom görüşü, bütünüyle en kötü durumunu alıyordu.

Rölativiteyi şimdilik bir yana bırakırsak, modern fizik, böyle atomik bir yapıya sahip olduğu ileri sürülmeyen, esir lehindeki iddiaları çürütmezken, basit maddenin atom yapısının kanıtını sağladı. Sonuç, biri, "iri" madde adı verilen şeye; öteki, esire uygulananı iki görüş arasında bir çeşit bağdaştırma idi. Elektron ve protonlar, biraz sonra da göreceğimiz gibi, atomlar gibi kavranmalarına gerek olmadığı halde, kuşkusuz ki göreneksel şekilde düşünüldüler. Sanıyorum ki gerçek, rölativitenin, "özle" bağlantısı olan metafiziğin bozduğu ve olgu ile uğraşmada gerçekten gerekli olmayan, bir görüş noktasını temsil eden eski "madde" kavramının terk edilmesini istemesidir. Bizim şimdi araştırmak durumunda olduğumuz budur.

Eski görüşte, bir madde parçası, verilen bir zamanda, birden fazla bir yerde bulunmayan, zaman içinde yaşayan bir şeydi. Şeylere bu yolda bir bakış açısının, insanların eskiden inanmakta oldukları uzay ve zamanın iyice birbirlerinden ayrılmalarıyla bağıntılı olduğu ortadadır. Uzay ve zaman yerine, uzay-zamanı koyduğumuzda, doğal olarak, zaman içerisinde olduğu kadar, uzay içerisinde de sınırlı olan yapılardan, fiziksel dünyayı çıkartacağımızı, umacağız. Böyle yapılar, "olaylar" dediğimiz şeylerdir. Bir olay, geleneksel madde parçası gibi kalıcı değildir ve hareket etmez, ancak kendi küçücük anında vardır ve ardından kaybolur. Bir madde parçası, bir olaylar serisi içerisinde böyle çözümlenecektir. Nasıl

ki, eski görüşte, büyütülmüş bir cisim, bir sürü taneciklerden oluşmaktaydı, şimdi de, her tanecik, zaman içinde büyütülmüş olarak, "olay-tanecikler" diye adlandırabileceğimiz şeylerden oluşmuş gözü ile görülmelidir. Bu olayların bütün dizisi, taneciğin tüm tarihini oluşturur. Ve taneciğe, olaylarla karşılaşan bir tür metafiziksel şey olarak bakılmamalı, kendi tarihi *olduğu* gözü ile bakılmalıdır. Bu, görüş bakımından gereklidir; rölativite, bizi, uzay ve zamanı eski fizikte olduğundan daha fazla aynı düzeyde tutmaya zorlamaktadır.

Bu soyut gereksinme, fiziksel dünyanın bilinen gerçekleriyle ilişkili hale getirilmelidir. Peki, bilinen gerçekler nelerdir? Diyelim ki, ışığın, bilinen hızda yol alan dalgalardan oluştuğu kabul edilmiş olsun. O zaman biz, maddenin bulunmadığı yerdeki uzay-zaman bölümleri içerisinde, nelerin olduğu konusunda epeyce şeyler biliyoruz; yani, biliyoruz ki, belli yasalara uyan periyodik olaylar (ışık dalgaları) vardır. Bu ışık dalgaları atomlardan çıkmaktadır ve atom yapısının modern kuramı, hangi koşullar altında çıktıklarını ve bunların dalga boylarını belirleyen nedenleri geniş ölçüde bilmemizi olanaklı kılar. Bir ışık dalgasının nasıl yol aldığını ortaya koymakla kalmayız, aynı zamanda, onun kaynağının bize rölatif olarak nasıl hareket ettiğini de bulabiliriz. Ama ben bunu söylediğim zaman, birbirlerinden pek az farklı zamanlardaki bir ışık kaynağını aynı olarak kabul edebileceğimizi varsayıyorum. Oysa, araştırılması gereken esas şey, tam da budur.

Bir önceki bölümde, hepsi birbirlerine bir yasa yolu ile bağıntılı ve uzay-zaman içerisinde bir merkez etrafında sıralanmış olarak, birbirlerine bağlı bir olaylar grubunun nasıl biçimlendirileceğini gördük. Böylesine bir olaylar grubu, değişik yerlerde, kısa bir ışık parıltısı ile yayılan, ışık dalgalarının varışı olacaktır. Merkezde herhangi bir özel şeyin olmakta olduğunu düşünmemize gerek yoktur, kuşkusuz, orda *ne* olduğunu bildiğimizi varsaymanın da gereği yoktur. Bizim bildiğimiz, bir geometri sorunu olarak, sözü edilen olaylar

grubunun bir merkez etrafında, göle sineğin dokunmasıyla genişleyen dalgalar gibi, sıralanmış olmalarıdır. Biz, kuramsal olarak, merkezde olagelen bir oluşu ileri sürebilir ve bunun sonucu olan karışıklığın yayılmasına ilişkin yasaları ortaya koyabiliriz. Bu kuramsal oluş, sağduyuya bu karışıklığın "nedeni" olarak görünecektir. Aynı zamanda bu, karışıklığın merkezinde bulunduğu varsayılan madde taneciğinin yaşam öyküsü içinde, bir tek olay sayılacaktır.

Bu durumda biz, yalnızca, belirli bir yasaya göre, bir merkezden dışa doğru, bir tek ışık dalgasının yol aldığını bulmuş olmuyoruz, aynı zamanda, genel olarak, ona çok yakın benzerlikteki öteki ışık dalgalarının da, onu izlediklerini görüyoruz. Örneğin güneş, görünümünü birdenbire değiştirmez; şiddetli bir rüzgâr sırasında bir bulut yamacından geçiyor olsa bile, değişim hızlı da olsa, art ardadır. Bu yolda, uzay-zamanın bir noktasındaki bir merkeze bağlı bulunan bir olaylar grubu, merkezleri uzay-zamanın komşu noktalarında bulunan öteki çok benzer grupla ilişki içine sokulur. Bu, öteki grupların her biri için, sağduyu, merkezlerini işgal eden benzer varsayımsal oluşlar ortaya çıkarır ve der ki, bütün bu varsayımsal oluşlar, bir tek tarihin bölümüdür; yani, varsayımsal oluşlara uğramış olması gereken, varsayımsal bir "tanecik" ortaya koyar. Varsayımın her durumu için, tümüyle gereksiz olan bir çift kullanım yoluyladır ki, sözcüğün eski anlamıyla "madde" denilebilecek hiçbir şeye ulaşmayız.

Eğer, gereksiz varsayımlardan kaçınmak durumunda isek, verilen bir andaki bir atomun, günlük dille, onun "neden olduğu" denilebilecek olan, çevresini saran ortamdaki çeşitli etkiler *olduğunu* söyleyeceğiz. Ama bu etkileri, bizim için, söz konusu olan anda değerlendiremeyeceğiz, çünkü bu, onları gözlemciye bağımlı kılacaktır; onun yerine, atomdan ışık hızı ile dışarı doğru yol alacağız ve ulaştığımız her yerde bulduğumuz etkiyi değerlendireceğiz. Biraz önce, ya da biraz sonra var olduğu görülen, hemen hemen aynı mer-

keze çok yakınlıktaki iyice benzer etkiler kümesi, biraz önce ya da biraz sonraki anda *olan* atom olarak tanımlanacaktır. Bu yolla biz, gereksiz varsayımlar ya da mantık zorlamalarına başvurmadan, bütün fizik yasalarını korumuş oluruz ve rölativite kuramını, bir sürü gereksiz kalabalıkları ayıklama olanağına kavuşturan, ekonominin genel ilkesi ile uyum içinde kalmış oluruz.

Sağduyu, bir masayı gördüğünde, bir masa gördüğünü kabul eder. Bu, büyük bir kuruntudur. Sağduyu, bir masayı gördüğü zaman, gözlerine belirli ışık dalgaları ulaşır, bu dalgalar, daha önceki deneyimde, belli dokunma duyusu ile ilişkili olan ve aynı zamanda başka insanların, masayı onların da gördükleri konusundaki tanıklıkları ile ilişkili olan türdedir. Ama bunların hiçbiri, bizi, masanın kendisine ulaştırmamaktadır. Işık dalgaları gözlerimiz içerisinde oluşlara yol açmıştır ve bunlar da optik sinirdeki oluşlara ve sonunda da beyindeki oluşlara yol açmıştır. Bunlardan, alışılagelen ön hazırlıklar olmaksızın oluşan herhangi biri, ortada masa bulunmamış bile olsa, "masayı görme" dediğimiz duyumun bizde uyanmasına yol açacaktı. (Kuşku yok ki, madde, genel olarak, bir oluşlar grubu olarak yorumlanacaksa, bunu göze, optik sinire ve beyine de uygulamak gerekir.) Parmaklarımızla masaya bastığımız zamanki dokunma duyusuna gelince; bu, parmak uçlarındaki elektron ve protonlar üzerinde bir elektrik etkisidir, modern fiziğe göre, masada bulunan elektron ve protonların yakınlığından oluşmuştur. Eğer parmak uçlarımızdaki aynı etki, bir başka yolla ortaya çıkmış olsaydı, hiç masa olmamasına karşın, bu duyuma sahip olacaktık. Başkalarının tanıklığının ikinci elden bir sorun olduğu açıktır. Mahkeme önünde bulunan bir tanığa, bir olayı görüp görmediği sorulduğunda, başkalarının olaya tanık olduklarına tanık olduğunu söylemesi, geçerli değildir. Her durumda, tanıklık ses dalgalarından oluşmaktadır, fiziksel olduğu kadar, psikolojik yorum da istemektedir; o nedenle, nesne ile

bağı çok dolaylıdır. Bütün bunlardan ötürü, bir kimsenin "bir masa gördüğünü" söylediğimiz zaman, geçerliği kuşkulu olan, karmaşık ve zor çıkarsamaları içinde saklı tutan, çok kısaltılmış bir anlatım biçimi kullanmış oluruz.

Eğer yapabiliyorsak, mutlaka kaçınmak zorunda olduğumuz, psikolojik sorular içinde dolaşıp kalmak tehlikesi ile yüz yüzeyiz. O yüzden, hemen salt fizik bakış açısına dönelim.

Demek istediklerim şöyle konabilir. Bir atomun varlığı yüzünden, bir yerde olan bir şey, eğer belirli gizli yollarda olmamışsa, en azından kuramsal olarak, deneyle bulunabilir. Ama atom içinde olan bir şeyin (eğer orda bir şeyler oluyorsa), bilinmesi mutlak olarak olanak dışıdır, bunun bir anlık görünüşünü bile yakalayabileceğimiz uygun bir aygıt yoktur. Atom, "etkileri" ile bilinmektedir. Ama "etkiler" sözcüğü, modern fiziğe ve özellikle rölativiteye uymayan, nedensellik görüşüne aittir. Bizim söylemek hakkına sahip olduğumuz tek şey, belirli oluş gruplarının birlikte, yani uzay-zamanın komşu bölgeleri içinde oluştuklarıdır. Bilinen bir gözlemci, grubun bir üyesine ötekinden daha erken oluyor gözüyle bakacak, ama bir başka gözlemci, zaman sıralamasını daha farklı olarak değerlendirecektir. Ve her gözlemci için zaman sıralaması aynı olmuş olsa bile, bizim elimizde gerçekte bulunan şey, ileriye ve geriye doğru aynı ölçüde geçerli olan iki olay arasındaki bağıntıdır. Geçmişin geleceği belirlediği, geleceğin geçmişi belirlediği anlamından daha farklı olduğu doğru değildir, görünürdeki fark, sadece bizim cehaletimizden gelmektedir, çünkü gelecek konusunda, geçmişten daha az şey biliyoruz. Ancak, bu, bir rastlantı olur; geleceği anımsayarak, geçmişi çıkarmak durumunda olan yaratıklar bulunabilir. Böylesine yaratıkların bu sorunlardaki duyguları, bizimkilerin tam karşıtı olmakla birlikte, bizimkilerden daha temelsiz değildir.

Oldukça açık olarak görünmektedir ki, "madde"nin olay gruplarından ayrı bir şey olduğu varsayılmaksızın ve her

olaya, söz konusu maddenin "neden olduğu" türden bir olay gözü ile bakılarak, fiziğin bütün olguları ve yasaları yorumlanabilir. Bu, fiziğin formüllerinde ya da simgelerinde herhangi bir değişmeyi içermez, daha çok bu, simgelerin yorumu sorunudur.

Yorumlamadaki bu derinlik, matematiksel fiziğin bir özelliğidir. Bildiğimiz şey, matematiksel formüller içinde ifade ettiğimiz, çok soyut, belli mantıksal ilişkilerdir; aynı zamanda biliyoruz ki, belli noktalarda, deneysel olarak sınanabilen sonuçlara ulaşırız. Örneğin, ışığın davranışlarının doğrulandığı rölativite kuramının öngörülerini sağlayan astronomik gözlemlemeleri alalım. Doğrulanması istenen formüller, gezegenlerarası uzayda, ışığın yoluyla ilgili idi. Bu formüllerin, gözlemlenen sonucu veren bölümünün, her zaman aynı yolda yorumlanması zorunluluğuna karşın, öteki bölümü çok daha değişik yorumlara açıktır. Gezegenlerin hareketlerini veren formüller, Einstein kuramında, Newton kuramındakinin hemen hemen aynısıdır, ama formüllerin anlamı oldukça farklıdır. Genel olarak denilebilir ki, doğanın matematiksel uğraşı içinde, formüllerimizin yaklaşık olarak doğruluğu konusunda, onların şu ya da bu yorumunun doğruluğundan emin olmamıza oranla, çok daha emin olabiliriz. Bu bölümü ilgilendiren konu için de, aynı durum vardır, elektron ve protonun yapıları sorunu da, onların hareket yasaları ve çevre ile ilişkileri yasaları konusunda, matematiksel fiziğin söyleyeceği her şeyi bildiğimiz zaman bile, hiçbir şekilde çözülememiştir. Sorumuza, belirli ve kesin bir yanıt bulma olanağı yoktur, bu, matematiksel fiziğin gerçeği ile bağdaşır değişik yanıtların bulunmasında ötürüdür. Yine de bazı yanıtlar, ötekilerine yeğ tutulabilir, çünkü bazılarının daha çok olasılığı vardır. Bu bölümde, eğer fizik formülleri doğru ise, bulunması *gereken* maddeyi tanımlamayı araştırmaktayız. Eğer biz, tanımımızı, bir madde taneciğini, temel, sert ve belirgin bir kümecik olarak sunan şekilde yapmış olsaydık, böyle bir şeyin varlığın-

dan *emin* olamazdık. İşte bu nedenle, bizim tanımımız, çok karmaşık görünüyor olmasına karşın, mantıksal tutumluluk ve bilimsel ihtiyat açısından, yeğ tutulabilir.

15

Felsefi Sonuçlar

Rölativitenin felsefi sonuçları, çoğu kere düşünüldüğü gibi, ne o kadar büyüktür, ne de o kadar şaşırtıcı. Realizm ve idealizm arasındaki gibi, öteden beri tartışılagelen anlaşmazlıklara, çok az bir ışık tutmaktadır. Kimileri, bunun, Kant'ın, uzay ve zamanın "öznel" ve "sezginin biçimleri" olduğu yolundaki görüşlerini desteklediğini düşünmektedir. Sanıyorum böyleleri, rölativite yazarlarının "gözlemci" den söz etme biçimlerinden dolayı yanılgıya düşmektedirler. Gözlemcinin insan, ya da en azından bir akıl olduğunu varsaymak doğaldır, ama o, pekâlâ, bir fotoğraf yüzeyi ya da bir saat da olabilir. Yani "bir görüş açısı" ile öteki arasındaki farklılığın getirdiği garip sonuçlar, algıları olan kimselere olduğu kadar, *fiziksel* araçlara da bir anlamda uygulanabilen "görüş açısı"dır. Rölativite kuramının ilgilendiği "öznellik" fiziksel öznelliktir, dünyada akıl ya da duyumlar gibi şeyler bulunmasaydı, bu öznellik, gene aynı ölçüde var olacaktı.

Öte yandan bu kesinlikle sınırlı bir öznelliktir. Kuram, *her şeyin* rölatif olduğunu söylememektedir, tersine, rölatif olanın, kendi başına fiziksel bir oluşa ait olandan ayırt edilmesi tekniğini vermektedir. Eğer, kuramın Kant'ı uzay ve zaman konusunda desteklediğini söyleyecek olursak, o zaman uzay-zaman konusunda onu yalanladığını söylemek zorunda kalacağız. Bana kalırsa, her iki önerme de doğru değildir. Ben

filozofların, bu konularda, önceden benimsemiş oldukları görüşlerinde direnmemeleri için bir neden görmüyorum. Her iki taraf için de önceleri kesin kanıtlar yoktu, şimdi de yoktur; bu görüşlerden birini benimsemek bilimsel bir tutum olmaktan çok, dogmatik bir tutumdur.

Ama gene de öyle görünüyor ki, rölativite kuramının içerdiği düşünceler, bunlar okullarda öğretildiği zaman olacağı üzere, daha fazla yaygınlaştıkça, düşünce alışkanlıklarımızda belli değişmeler olacaktır ve bu değişmeler, uzun erimde, büyük önem taşıyacaklardır.

Ortaya çıkan bir şey var, o da fiziğin, fiziksel dünya konusunda, bizim düşündüğümüzden de çok az şey söylediğidir. Göreneksel fiziğin hemen hemen tüm "büyük ilkeleri", bir yardanın her zaman üç ayak geldiğini söyleyen "büyük yasa"ya çok benzemektedir, geri kalanınsa, iyiden iyiye yanlış olduğu ortaya çıkmaktadır. Kütlenin korunumu, bir "yasanın" başına gelebilecek bu tip talihsizlikleri göstermekte yardımcı olabilir. Kütle, "maddenin niceliği" olarak tanımlanmaktaydı ve deneyin gösterdiği kadarıyla, ne artıyor, ne de eksiliyordu. Ama modern ölçümlerin yüksek duyarlığıyla, tuhaf şeylerin olduğu ortaya çıktı. İlk ağızda, ölçülen kütlenin, hızla birlikte artmakta olduğu görüldü, bu tür kütlenin enerji ile gerçekte aynı şey demek olduğu anlaşıldı. Verilen bir cisimde bu tür kütle sabit değildir. Bununla birlikte, yasanın kendisine, bir yardada üç ayak olduğu yolundaki "yasa" niteliğinde herkesçe bilinen bir gerçek gözü ile bakmak gerekir; bu ölçme yöntemlerimizin bir sonucudur ve maddenin gerçek niteliğini ifade etmez. "Öz kütle" diye adlandırabileceğimiz, öteki kütle türü, cisimle birlikte hareket eden bir kimse tarafından bulunan kütledir. Bu, tartmakta olduğumuz cismin, havada uçuyor olmadığı, basit yersel durumdur. Bir cismin "öz kütlesi" çok yaklaşık olarak sabittir, ama tam sabit değildir. Herkes, eğer dört tane 1 librelik ağırlığınız var ise, hepsini birden terazinin kefesine koyup

tartacak olursanız, 4 libre geleceğini sanacaktır. Bu safça bir kuruntudur, en dikkatli ölçümlerle bile saptanamayacak kadar az olmasına karşın, dört libreden daha az gelecektir. Öte yandan dört hidrojen atomu durumunda, dört atom bir helyum atomu oluşturmak üzere bira raya getirildiğinde, noksanlık göze çarpacak kadardır, helyum atomu, birbirinden ayrı, dört hidrojen atomundan, ölçülebilecek kadar daha da azdır.

Genel deyişiyle, geleneksel fizik, iki bölüme parçalanmıştır tartışmasız gerçekler ve coğrafya.

Rölativite kuramının imgelemimize sunduğu dünya, bir *olaylar* dünyası kadar, bir "hareket" içerisindeki "şeylerin" dünyası değildir. Şu da bir gerçektir ki, gene de, varlıklarını koruyor görünen tanecikler vardır, ama bunlar (gerçekte bir önceki bölümde de gördüğümüz gibi), bir şarkının ardışık notaları gibi, birbirlerine bağlanmış olaylar dizisi olarak kavranılmalıdır. Rölativite fiziğinin malzemesi, *olaylardır.* Birbirlerinden fazla uzak olmayan iki olay arasında, genel kuramda olduğu kadar, özel kuramda da, fiziksel bir gerçek görünümde olan, ölçülebilen bir ilişki vardır, öyle ki, uzaydaki zaman süresi ve uzaklık, bunun aşağı yukarı karışık bir ifadesidir. Birbirinden uzak iki olay arasında, belirgin bir aralık yoktur. Ama bir olaydan bir ötekine gitmenin bir yolu vardır ki, bu yol, yol boyunca bütün küçük aralıkların toplamını, herhangi bir diğer yolunkinden daha büyük yapar. Bu yola, "geodizi" denmektedir ve cisim, kendi haline bırakılınca, seçeceği yol budur.

Rölativite fiziğinin bütünü, eski günlerin fizik ve geometrisinden daha çok, bir adım adım ilerleme sorunudur. Öklid'in doğru çizgileri yerine güneş ya da bir başka çok ağır bir cisim yakınından geçtikleri zaman, Öklid'in doğruluk ölçülerine pek uymayan ışık ışınları konmaktadır. Bir üçgenin iç açılarının toplamı boş uzayın çok küçük bölgelerinde, yine iki dik açıdır, ama daha geniş boyutlar içerisinde böyle

değildir. Öklid'in tam olarak doğru olduğu bir yer bulmamız olanak dışıdır. Uslama yoluyla tanıtlanmakta olan önermeler, bu durumda, ya bir alışkanlık haline gelmektedir, ya da gözlemle doğrulanan oldukça yaklaşık gerçekler haline gelmektedir.

Tek örneği rölativite olmayan ilginç bir gerçek de, uslamanın geliştikçe, gerçekleri kanıtlama gücünde olma savının giderek zayıflamasıdır. Mantık, çıkarsamaların nasıl çıkarılacağını bize öğreten şey olarak düşünülmekteydi; şimdi, daha çok çıkarsamaların nasıl çıkarılmayacağını bize öğretmektedir. Hayvanlar ve çocuklar çıkarsamaya çok müthiş eğilim gösterirler, eğer ata, onun alışık olmadığı bir dönüş yaptırırsanız, çok şaşırır, insanlar uslamaya başladıklarında, daha önceleri düşüncesizce vardıkları çıkarsamaları doğrulamayı denemişlerdir. Bu eğilimden, bir yığın kötü felsefe ve kötü bilim çıkmıştır. "Doğanın düzgünlüğü", "evrensel nedenselleme yasası" ve benzeri gibi "büyük ilkeler", daha önce sık sık olanların, yine olacakları konusundaki inancımızı, destekleme yolundaki çabalardır ve bunlar, atın, sizin her zaman yaptığınız dönüşü yapacağınıza inanmasından daha fazla bir temele sahip değildir. Bilimin pratiği içinde, bu sahte ilkelerin yerine, nelerin konması gerektiğini görmek pek kolay değildir, ama rölativite kuramı, belki de, umduğumuz cinsten bir şeyin küçük bir görüntüsünü bize vermektedir. Nedenselliğin, eski anlamıyla, kuramsal fizik içinde, artık bir yeri yoktur. Kuşkusuz, onun yerini alan bir şeyler vardır, ama yerine konan, yerini aldığı eski ilkeden, daha iyi deneysel temele dayanıyor görünmektedir.

Evrendeki bütün olayların, içerisinde tarihlendirilebileceği, her şeyi kapsayan tek zaman kavramımızın yıkılması, uzun dönemde, neden ve sonuç, evrim ve birçok öteki şeyler konusundaki görüşlerimizi etkileyecektir. Örneğin, bir bütün olarak, evrende bir gelişimin olduğu ya da olmadığı sorunu, bizim zaman ölçütünü seçimimize bağlı olabilir. Eğer biz, eşit

ölçüde yeterli olan saatler arasından bir tanesini seçecek olursak, evrenin en iyimser Amerikalının düşündüğü çabuklukta gelişmekte olduğunu görebiliriz, aynı ölçüdeki yeterlikte, bir başka saat seçtiğimizde, evrenin, en melankolik Slav'ın düşünebileceği çabuklukta kötüden daha kötüye doğru gitmekte olduğunu söyleyebilirsiniz. Böylelikle, iyimserlik ve kötümserlik, ikisi de, ne doğrudur, ne de yanlıştır, saatin seçimine bağlıdır.

Bunun belli bir duygu türü üzerindeki etkisi çok yıkıcı olmaktadır. Ozan diyor ki:

Çok uzakta ilahi bir olay
Bütün yaratılış ona doğru gidiyor.

Ama eğer olay, yeterli uzaklıkta ise ve yaratılış yeterli acele içinde ise, yaratılışın bir bölümü, olayın olmuş olduğu yargısına varırken, ötekiler de onun gelecekte olacağı yargısına varacaklardır. Bu, şiiri berbat ediyor. İkinci dize şöyle olmalıydı:

Yaratılışın bazı bölümleri ona doğru giderlerken,
Ötekiler de ondan uzaklaşıyor.

Ama bu, işe yaramaz. Öyle sanıyorum ki, birazcık matematikle yıkılabilen bir duygu, ne çok geçerlidir, ne de çok değerli. Ve bu tartışma çizgisi, benim konumun dışında kalan, Victoria çağının eleştirisine kadar uzanabilir.

Fizik dünyası konusunda bildiğimiz şeyler, yine söylüyorum, eskiden sanıldığından da soyuttur. Cisimler arasında oluşlar vardır, ışık dalgaları gibi; bu oluşların *yasaları* konusunda bir şeyler biliyoruz –ancak matematiksel formüllerle ifade edilebilecek kadarıyla– ama onların *nitelikleri* konusunda, hiçbir şey bilmiyoruz. Cisimlerin kendileri konusunda, bir önceki bölümde de görmüş olduğumuz gibi, öylesine az

şey biliyoruz ki, onların bir şeyler olup olmadığı konusunda bile emin olamıyoruz: bunlar, sadece başka yerlerdeki olaylar grubu *olabilirler*, bizim doğal olarak cisimlerin etkileri gözü ile bakacağımız olaylar. Biz, dünyayı, doğal olarak görüntüyle dile getiririz, yani, olup bitenleri aşağı yukarı, nasıl görmekteysek, öyle tasarlarız. Ama gerçekte, bu benzerlik sadece yapıyı ifade eden, bazı formel mantıksal özelliklere kadar uzanabilir ve o yüzden de, onun değişmelerinin belirli genel niteliklerini bilebiliriz. Belki de bir örnekleme, sorunu aydınlığa kavuşturabilir. Bir orkestra müziğinin icrası hali ile nota olarak basılı hali arasında belirli bir benzerlik vardır; bu benzerlik, yapı benzerliği olarak açıklanabilir. Öyle bir türden benzerliktir ki bu, kuralı bildiğinizde, notalardan müziği ya da müzikten notaları çıkarabilirsiniz. Ama tutun ki, doğuştan sağırsınız ve müzikseverlerin arasında yaşadınız. Eğer konuşmayı ve dudak okumasını öğrendiyseniz, yapıda[12] benzerlik olduğu halde, müzik notalarının, asıl niteliklerinden farklı bir şeyleri gösterdiklerini, anlayabilirdiniz. Müziğin değeri, sizce, tümüyle kavram dışı olacaktı, ama notalarınkine benzemelerinden ötürü, bütün matematiksel niteliklerini çıkarabilecektiniz. Şimdi, bizim doğa bilgimiz de böyle bir şeydir. Notaları okuyabilmekte ve bizim doğuştan sağır kimsemizin, müzikten çıkarabildiği kadarını, biz de, ancak o kadarını, doğadan çıkarabilmekteyiz. Öte yandan biz, onun müzisyenlerle birlikte olmakla sağladığı ayrıcalığa sahip değiliz. Notaların temsil ettiği müziğin çok mu güzel, yoksa çok mu kötü olduğunu bilemeyiz; belki de son tahlilde, notaların kendilerinden başka bir şeyi temsil edip etmedikleri konusunda da yeterince emin olamayız. Ama bu, fizikçinin kendi mesleki kapasitesi içinde, uğraşmayı kabul edemeyeceği bir kuşkudur.

---

12 "Yapı"nın tanımı için B. Russell'ın *Matematik Felsefesine Giriş* (*Introduction to Mathematical Philosophy*) adlı kitabına bakınız. (Ed. n.)

Fizik açısından en ileri savı kabul etsek bile, fizik, değişen şeyin ne olduğu veya bunun çeşitli durumlarının ne olduğunu bize anlatmaz, sadece değişmelerin birbirlerini dönemsel olarak izledikleri, ya da belirli bir süratle yayıldıkları gibi şeyleri bize anlatır. Şimdi bile, gerçek bilimsel bilginin özüne ulaşmak için, sadece hayal olanı ayıklama sürecinin, belki de sonuna varmadık. Rölativite kuramı, bu anlamda epeyce iş başardı ve böyle yaparak, matematikçinin amacı olan –bir insanoğlu olarak onun ilgi duyduğu tek şey olmasından ötürü değil, matematiksel formüller içinde ifade edebileceği tek şey, bu olduğundan ötürü– çıplak yapıya, bizi giderek biraz daha yaklaştırdı. Buraya kadar soyutlama doğrultusunda yürüdüğümüze göre, öyle görünüyor ki, aynı yolda daha çok yürümek zorunda kalacağız.

Bir önceki bölümde, maddenin asgari denebilecek bir tanımını yapmıştım, yani eğer deyim yerinde ise, maddenin fiziğin doğruları ile bağdaşabilecek ölçüde, az "öz"e sahip olduğu bir tanım. Bu türden bir tanımı benimseyerek, kendinizi güvenliğe almış oluyoruz, bizim ince maddemiz, daha etli bir şeyler de bulunsa bile, var olacaktır. Madde tanımımızı, Jane Austen'daki, Isabella'nın çorbası gibi, yapmayı denedik; "ince ama çok ince değil". Bununla birlikte, maddenin bundan fazla bir şey olmadığını kesin olarak vurgularsak, yanılgıya düşmüş oluruz. Leibniz, madde parçasını gerçekte bir ruh birliği olarak düşünüyordu. Onun yanlış olduğunu gösterecek bir şey yok elimizde, ama onun doğru olduğunu gösterecek bir şey de yok; bunlardan birinin dosdoğruluğu konusunda, marsta bulunan hayvanlar ve bitkiler konusunda bildiklerimizden fazlasını bilmiyoruz.

Matematiksel olmayan bir kafaya, fizik bilgimizin bu soyut niteliği doyurucu gelmeyebilir. Artistik ya da hayalci bir bakış açısından, bu, belki de üzücü bir durumdur, ama pratik bir bakış açısından, bunun bir önemi yoktur. Soyutlama, zorluğu ile birlikte, pratik gücün kaynağıdır. Dünya ile ilişkileri,

öteki "pratik kimse"lerden daha soyut olan bir banker, aynı zamanda, öteki pratik kimseden daha güçlüdür de. Kendilerini görmeye gerek duymadan, pamuk ya da tahılla uğraşabilir. Onun için gerekli bütün şey, fiyatlarının yükselip alçalmasıdır. Bu durum, en azından, tarımcının bilgisi ile karşılaştırıldığında, soyut matematiksel bilgidir. Aynı şekilde, fizikçi de, maddenin hareketiyle ilgili belirli yasalar dışında, madde konusunda bir şey bilmez, ama yine de, bu bilgiler, onunla uğraşacak kadar yeterlidir. Gerçek yapısı, bizce hiçbir zaman bilinmeyecek olan şeylerin yerini alan, simgeler içindeki tüm denklem zincirleri üzerinde çalıştıktan sonra, nihayet bizim kendi algılarımızın terimleri içerisinde ifade edilebilen ve kendi yaşamımızda istenilen etkileri yaratmak üzere kullanılan bir sonuca ulaşır. Madde konusunda bildiklerimiz, soyut ve şematik olsalar da, ilke olarak maddenin bizde nasıl algılar ve duygular yarattığını gösteren kuralları vermeye yetmektedir ve bizim *pratik* yasalar, işte bu kurallara dayanır.

Ulaştığımız son nokta, bildiklerimizin çok az olduğudur ve gene de şaşırtıcıdır ki, çok şey bilmekteyiz ve daha da şaşırtıcı olan, bu denli az bilgimizin, bize böylesine büyük bir güç verebilmesidir.

Dizin

A

Ağırlık 72, 84, 85, 117, 121, 122, 123, 128
Analitik geometri 87
Aristo 72
Artı yük 71
Astronomik gözlemler 41, 141
Atom bombası 124
Atom yapısı 70, 166, 167
Atomlar 56, 65, 70, 114, 151, 152, 165, 166, 167
Aynalar 45

B

Bir Zaman ve Uzay Kuramı 64
Birinci Dünya Savaşı 1, 12
Birincil nitelikleri 35
Boylam 61, 88, 89, 91, 99
Boyut 94, 136
Bölge 92, 104, 105, 130, 132, 135, 153

C-Ç

Cebir 79
Cisimler 20, 44, 54, 103, 105, 106, 109, 118, 123, 128, 129, 146, 148, 155, 161
Coğrafya 152

D

Durgunluk hareketi 140
Düzgün hareketi 17
Daireler 46, 92
Descartes, Rene 61, 87, 165

E

Eddington, A. 18, 75, 76, 112, 147, 156
Einstein, Albert 5, 16, 18, 20, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 39, 44, 45, 61, 67, 72, 73, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 97, 99, 101, 103, 105, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 150, 157, 171
Eksi yük 70, 71
Ekvator 28, 61, 88, 89, 90, 117, 122
Elektrik kuramı 69
Elektromanyetik dalgalar 69

Elektromanyetizm 16, 69, 71, 73, 151
Elektron 26, 36, 37, 55, 65, 70, 71, 110, 123, 147, 150, 153, 166, 169, 171
En Az Etki İlkesi 132
Esir 41, 42, 43, 69, 70, 71, 72, 153, 165, 166
Eşzamanlık 14, 15
Etkiler 48, 64, 67, 69, 71, 74, 75, 109, 117, 134, 137, 139, 142, 147, 151, 168, 169, 170, 178, 180
Evren 9, 14, 18, 19, 23, 27, 28, 38, 56, 57, 63, 67, 77, 79, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 149, 157, 177
Evrensel akış 27
Eylem 12
Eylemsizlik 16, 17, 18, 19, 20, 117, 127
Eylemsizlik kütlesi 20, 117, 118

F

Faraday, Michael 69
Fitzgerald, George Francis 43

G

Galaksi 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 142
Galaksi kümeleri 135, 138, 141
Galaksiler 135, 136, 137, 142
Galileo, Galilei 13, 20, 27, 28, 72, 85, 118
Gauss, Karl Friedrich 91, 93
Genel Rölativite Kuramı 18, 19, 79, 84, 85, 86, 95, 105, 129, 139, 151
Geodizi 92, 104, 105, 106, 107, 109, 132, 156, 175
Geometri 12, 15, 16, 17, 24, 25, 79, 80, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 102, 103, 109, 167, 175
Gezegen 27, 29, 35, 54, 104, 108, 109, 111, 112, 115, 116, 118, 125, 151, 156, 157, 159, 165, 171
Gökyüzü 23, 24, 27, 28
Gözlem 13, 27, 35, 36, 37, 41, 123, 133, 134, 135, 136, 141, 149, 151, 171, 176
Gözlemciler 13, 32, 33, 37, 38, 39, 44, 52, 57, 60, 68, 73, 78, 98, 103, 126, 128, 129
Gravitasyon 19, 69, 84, 95, 97, 98, 104, 105, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 139, 140, 150, 151, 155, 156, 159, 165
Gravitasyon yasası 19, 84, 95, 97, 98, 108, 109, 111, 112, 115, 117, 118, 119, 140
Greenwich 34, 48, 52, 54, 55, 57, 61, 62, 88, 89, 90, 98, 106

Güneş 27, 28, 29, 30, 44, 54, 84, 104, 106, 107, 109, 111, 112, 115, 116, 118, 124, 128, 133, 151, 152, 156, 157, 159, 162, 168, 175
Güneş tutulması 54, 112

H

Hareket eden gözlemciler 44
Hareket eden platformlar 49
Helyum 124, 125, 175
Hız 37, 41, 49, 85, 126, 134
Hidrojen 1, 124, 125, 175
Hidrojen bombaları 124
Hint kauçuğu düzlemi 101
Hiperonlar 70
Hume, David 15

I-İ

Isının mekanik eşdeğeri 127
Işık 15, 25, 34, 35, 37, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 52, 54, 56, 57, 58, 63, 64, 69, 73, 74, 75, 78, 79, 104, 106, 109, 112, 114, 115, 124, 126, 130, 131, 134, 135, 137, 139, 146, 152, 153, 156, 159, 160, 166, 167, 168, 169, 173, 175, 177
Işık kuramı 69
"İri" madde 166
İvme 83, 84, 117, 123

J

Jüpiter 41, 54, 55, 106

K

Kaluza, Theodor
Kant, Emmanuel 15, 16, 173
Kartezyen koordinatları 61
Kızıl kayma 139
Kinetik enerji 128, 129, 131
Klein, Oscar 109
Koordinatlar 16, 61, 94, 95, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 119, 129, 145
Korunum 129, 130, 131, 148
Kozmik ışınlar 35, 36, 71
Kozmik tembellik 106, 107
Kozmik zaman 55, 56
Kozmolojik ilke 136
Kuantum kuramı 11, 12, 71, 131, 132, 142, 150, 151, 152, 153
Kuasarlar 139
Kuvvet 16, 19, 29, 30, 36, 48, 69, 98, 105, 109, 110, 118, 122, 123, 127, 128, 145, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163
Kuvvet alanı 157
Kuvvetin direnimi 127
Kuyruklu yıldızlar 35, 108
Kütle 18, 19, 36, 55, 67, 98, 117, 118, 121, 122, 123, 124,

125, 126, 127, 130, 131, 132, 147, 148, 174
Kütlenin korunumu 126, 174

L

Locke, John 35
Lorentz, Hendrik 43, 67, 73
Lorentz büzülmesi 43, 66
Lorentz dönüşümü 67, 73, 79, 81

M

Macellan Bulutları 135
Mach, Ernst 19
Madde, 27, 71, 98, 107, 108, 122, 132, 134, 135, 152, 163, 165, 166, 168, 169, 170, 171, 179, 180
Mavi-kayma 141
Maxwell denklemleri 72
Maxwell, Clerk 72
Merkezkaç kuvveti 117, 122
Merkür 111, 116
Mezonlar 70
Michelson-Morley deneyi 44, 45, 47, 66, 71, 72, 102
Model evrenler 142
Momentumun korunumu 125
Mutlak hareket 28, 85, 116, 149
Mutlak uzay ve zaman 30
Mutlak zaman kuramı 14

N

Nebula 135
Nedensellik 15, 170
Newton, Isaac 14, 15, 16, 19, 27, 28, 29, 30, 69, 85, 97, 98, 103, 111, 112, 118, 129, 155, 156, 157, 165, 171
Nötronlar 70

O-Ö

Olayın "komşuluğu 99
Olaylar 14, 15, 52, 55, 68, 76, 77, 94, 99, 100, 104, 105, 153, 161, 166, 167, 168, 175, 177, 178
Oluş 14, 31, 32, 116, 168, 170
Öklid 27, 86, 105, 175
Öklid geometrisi 92, 93
Ölçülen kütle 124, 126, 127, 130, 131, 132, 174
Öz 55, 56, 57, 58, 63, 65, 73, 85, 98, 124, 126, 130, 174, 179
Özel rölativite kuramı 44, 67, 61, 65, 69, 71, 72, 78, 83, 85, 94, 98, 103, 104, 105, 129, 150, 151, 157
Öz kütle 124, 125, 126, 130, 174

Öz zaman 55
Öznellik 173
Öz zaman 55

P

Pisagor 91
Pisagor teoremi 16, 17, 86, 87, 88, 90, 93, 99
Potansiyel enerji 128, 129
Pozitron 71
Proton 70, 71, 110, 150, 153, 166, 169, 171
Psikoloji 32, 149, 150

R

Radyoaktif cisim 123
Radyo dalgaları 42, 56, 113, 141
Radyoaktif 123
Riemann, Bernhard 94, 104
Rindler, Wolfgang 20
Robb, A. A. 15, 64
Rölatif hareket 73, 83, 116
Russel, Bertrand 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21

S

Saatler 13, 17, 47, 176
Salmon, Wesley 20
Samanyolu 134
Ses 35, 45, 46, 114, 158, 162, 169
Sezyum atomları 56
Sklark, Lawrence 20
Spencer, Herbert
Süper-küme 135, 139

T

Tarih 85, 100
Tensör yöntemi 103, 146
Torretti, Roberto 20

U-Ü

Uranyum 124, 125
Uydu 109, 111, 115, 135
Uzay-zaman 13, 14, 15, 16, 17, 20, 57, 60, 61, 67, 68, 83, 94, 99, 100, 104, 105, 107, 108, 109, 114, 119, 126, 129, 132, 139, 140, 141, 147, 148, 151, 152, 153, 159, 162, 166, 167, 168, 170, 173
Üç boyutlu uzay 93

W

Weyl 109

X

X-ışınları 42

Y

Yankı 45
Yer 8, 29, 39, 45, 49, 51, 72, 88, 89, 90, 91, 92, 114, 119, 122, 138, 152, 153, 161, 175
Yersel zaman 55
Yeryüzü 25, 83
Yoğunluk 132, 141, 142
Yükseklik 32, 99, 138

Z

Zaman açılması 17, 36
Zaman ölçümü 56, 64
Zaman ölçütü 176

Yirminci yüzyılın savaş karşıtı ve eylemci filozofu Russell'ın önemli bir fizik kuramına matematiksel olmayan bir açıklama getirmiş olması, kuşkusuz çok büyük bir saygıyı hak ediyor. O kurama kusursuz bir kılavuz olma özelliğini hâlâ koruyan, olağanüstü bir yorum ve yazın gücüyle kaleme alınmış bu eser, sunumu ve biçemiyle, bugün bilimin halk yığınlarınca anlaşılmasını olanaklı kılmak adına heyecan verici anlatımlarla süslenen kitaplardan, ölçülü ve yalın fikirleriyle net bir biçimde ayrılmaktadır. Russell'ın kitabını okuyan herkes, esprili, duru ve zekice yazılmış metinden keyif alacak, rölativite kuramının özüne nüfuz edecek ve temel fizik ilkelerini anlayabilecektir. Matematiksel bir anlatım içermeyen bu kitap, 1925 yılında ilk kez basıldığında ne denli değerli ise, şimdi de o kadar değerlidir.

internet satış:
www.saykitap.com
10 TL
ISBN 978-605-02-0258-8
9 786050 202588
SAY YAYINLARI

BİLİM