Albert Einstein

fiziğin sınırları

Jeremy Bernstein

TÜBİTAK
POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 226
Yaşamöyküsü Dizisi 9

Albert Einstein - Fiziğin Sınırları
Albert Einstein - And the Frontiers of Physics
Jeremy Bernstein
Çeviri: Yasemin Uzunefe Yazgan

© 1996, Jeremy Bernstein
© Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, 2000

1996'da İngilizce olarak yayımlanmış olan *Albert Einstein*'ın Türkçe çevirisi Oxford University Press, Inc. ile yapılan anlaşma uyarınca yayımlanmıştır.

This translation of Albert Einstein, *originally published in English in 1996, is published by arrangement with Oxford University Press, Inc.*

Bu yapıtın bütün hakları saklıdır. Yazılar ve görsel malzemeler, izin alınmadan tümüyle veya kısmen yayımlanamaz.

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları'nın seçimi ve değerlendirilmesi TÜBİTAK Yayın Komisyonu tarafından yapılmaktadır.

ISBN 975 - 403 - 391 - 9

1. Basım Aralık 2006 (10.000 adet)

Yayın Yönetmeni: Necmi Demir
Yayıma Hazırlayan: Sevil Kıvan
Grafik Tasarım: Ödül Evren Töngür
Sayfa Düzeni: Fatma Onay
Basım İzleme: Yılmaz Özben

TÜBİTAK
Popüler Bilim Kitapları Müdürlüğü
Atatürk Bulvarı No: 221 Kavaklıdere 06100 Ankara
Tel: (312) 467 72 11 Faks: (312) 427 09 84
e-posta: kitap@tubitak.gov.tr
İnternet: kitap.tubitak.gov.tr

Semih Ofset Matbaacılık
Büyük Sanayi Caddesi No: 74 İskitler - Ankara
Tel: (312) 341 40 75 Faks: (312) 341 98 98

Albert Einstein

fiziğin sınırları

Jeremy Bernstein

Çeviri
Yasemin Uzunefe Yazgan

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

İçindekiler

Önsöz 6
Albert Einstein'la Nasıl Tanışamadım

1. Bölüm 17
Einstein'ın Gençliği

2. Bölüm 41
Mucize Yıl

3. Bölüm 71
Kuantumun Garip Hikâyesi

4. Bölüm 92
Profesör Einstein'ın En Güzel Buluşu

5. Bölüm 123
Einstein'ın Evrenbilimi

6. Bölüm 134
Kuantumun Daha da Garip Hikâyesi

7. Bölüm 153
Mercer Sokağı 112 Numara

8. Bölüm 180
Einstein'ın Mirası

Sonsöz 185
Einstein'ı Nasıl Görebildim

Ek 187
Michelson-Morley Deneyi

Zamandizin 197

Dizin 199

Albert Einstein'la Nasıl Tanışamadım

Ünlü insanların yaşamöykülerini yazanların çoğu, okuyucularına o kişiyle nasıl tanışıp birlikte ne kadar zaman geçirdiklerini anlatmak için ellerinden geleni yaparlar. Bu çaba, en iyi ihtimalle okuyucuya yaşamı anlatılmakta olan kişiyle bir tür kişisel yakınlık hissi, en kötü ihtimalle de kitabın sıradan bir kahramanlaştırma çabasından başka bir şey olmadığı hissini verir. Albert Einstein'la tanışmayı başaramadığıma göre iki kategoriye de dahil değilim. Yine de Einstein'la nasıl tanışamadığımı anlatarak hem kendimi hem de Einstein'ı size tanıtabileceğimi düşündüm.

1947'de Harvard Üniversitesi'nde birinci sınıfa başladım. 17 yaşındaydım ve bilim adamı olmak gibi bir niyetim yoktu. Ama birçok insan gibi Einstein'ı ve onun görelilik kuramını duymuştum. Einstein'a göre hareket halinde gözlemlendiklerinde saatlerin yavaşladığını ve çok büyük kütleli cisimlerin hareket halinde gözlemlendiklerinde kütlelerinin daha da arttığını, hatta bu cisimlerin ışık

hızına yaklaştıklarında kütlelerinin daha fazla hızlandırılamayacak kadar arttığını bir şekilde öğrenmiştim. Ayrıca uzayın "eğri" olduğunu ve "dördüncü bir boyut" olduğunu, bu kavramların ne anlama geldiğine dair hiçbir fikrim olmamasına rağmen bir yerlerde okumuştum. Ama bana göre okuduğum en ilginç şey dünyada görelilik kuramını anlayan yalnızca yedi kişi olmasıydı. Bu benim için çok esrarengizdi ve herhangi bir şeyi nasıl olup da bu kadar az insanın anlayabildiği sorusu beni büyüledi.

O zamanlar bir şeyi anlamanın ne demek olduğu konusunda çok sınırlı bir görüşüm vardı. Lisede Fransızca ve İspanyolca dersleri almıştım. İspanyolcayı anlamak demek onu İngilizceye çevirmek demekti, insan bunu gerekirse sözlük yardımıyla da yapabilirdi. Şiir derslerimiz de vardı. Şiiri anlamak demek onu düzyazıya dökebilmek demekti ve bunu da bazen bir sözlük yardımıyla yapıyorduk. Matematiği de biraz anlayacak kadar eğitim görmüştük. Bu da bazı teoremleri ispatlayabilmek ve işaretleri beceriyle kullanmak demekti. Bazen bir teoremin ispatını ezberlemek anlamına da geliyordu. Bu tam olarak "anlamak" olmayabilirdi, ama en azından insan sınavları geçebiliyordu.

Bu sınırlı deneyimle, bana insan zaman ve emek harcayıp doğru "sözlükleri" kullanırsa her şeyi anlayabilirmiş gibi geliyordu. Öyleyse birisi Einstein'ın görelilik kuramını dünyada yalnızca yedi kişinin anlayabildiğini söylediğinde, bu yalnızca yedi kişinin zaman ve emek harcamaya gönüllü olduğu, geri kalan herkesin fazlasıyla tembel olduğu anlamına mı geliyordu, yoksa başka bir anlamı mı vardı. Bu soru çok ilgimi çekmişti ve daha lisedeyken çılgınca bir hırsa kapılmaya başladım. Bir bilim adamı olmak istemediğim halde içimde görelilik kuramını anlayan sekizinci kişi olabileceğim düşüncesi

uyandı. Bu Everest'e tırmanmak gibi zorlu bir şeydi. Peki bunu nasıl yapacaktım?

Okuduğum lisede bana rehberlik edecek kimse yoktu, bu yüzden üniversiteye gelene kadar göreliliği bir kenara bıraktım. Şansıma, Harvard'a geldiğimde asıl alanı bilim olmayan öğrencilere bilim dersleri veren yeni bir program başlamıştı. Bu öğrenciler artık fizik veya kimya gibi bilim derslerinden birini bir yıl boyunca almak zorunda değillerdi. Onun yerine birçok bilimsel konuya değinen ve benim gibi fen bilimi okumayacaklara da çekici gelecek geniş bir tarihsel kapsamı olan bir "doğa bilimi" dersi alabiliyorlardı. Ders kataloğuna baktım ve bilim tarihçisi I. Bernard Cohen tarafından verilmekte olan Doğa Bilimleri 3 dersini gözüme kestirdim. Yunanlardan başlayıp, iki yıl önce Hiroşima'ya atılmış olan atom bombasıyla sona eren bir genel inceleme dersi gibi görünüyordu. İçerdiği simgelerin tam olarak ne anlama geldikleri konusunda tam bir fikrim olmasa da Einstein'ın $E=mc^2$ denklemini duymuştum ve bu denklemin atom bombasıyla ilgili olduğunu biliyordum. Aynı zamanda Doğa Bilimleri 3 dersinin Doğa Bilimi derslerinin en kolayı olduğu da bana söylenmişti, biraz tembel ve bilimden epey korkan biri olarak bu dersin bana göre olduğuna karar verdim.

Cohen okunaklı, yuvarlak hatlı bir el yazısı olan rahat bir okutmandı. İlan edildiği gibi ders Yunan gökbiliminden başladı ve 20. yüzyıl fiziğine kadar geldi. Noel'den hemen önce Cohen Einstein'ın birkaç fikrini gündeme getirdi. Göreliliğin çeşitli denklemlerini gösterdi ve çıkarımlarının bu ders için çok zor olduğunu söyledi. Sonra dünyada yalnızca on iki kişinin bu kuramı gerçekten anladığını söyledi. Bu söz dikkatimi çekti ve hemen lisedeki eski idealimi hatırladım. O zamandan beri

anlayan kişi sayısı yediden on ikiye çıkmıştı, ama on üçüncü olmak da fena sayılmazdı. O anda bunu nasıl yapacağım konusunda bir plan aklıma geldi. Widener Kütüphanesi'ne gidecek ve oradaki katalogdan "Einstein" başlığına bakacaktım. Kuşkusuz, diye düşündüm, o on iki kişiden biri de Einstein'dı. Onun kuram hakkında yazmış olduğu bir kitabı bulacak ve anlayana kadar, mesela her gün birer sayfa okuyacaktım. Başka bir şeyin gerekebileceği hiç aklıma gelmedi. Bu yöntem şiir için işe yarıyor gibiydi. Neden görelilik için de işe yaramasın diye düşündüm.

Kütüphanede Einstein'a ait birkaç yayın vardı. Şansıma, yapılabilecek en kötü seçimi yaptım. Başlık bana çekici gelmişti: *Göreliliğin Anlamı*. Güzel bir felsefi tınısı vardı. Ne yazık ki sonradan anlayacağım gibi, kitap Einstein'ın 1921 yılında Princeton'da verdiği bir dizi dersin yıllar içinde güncelleştirilmiş hallerini içeren çok teknik bir kitaptı. Bunun farkına varmadan öylece okumaya başladım -yavaşça. İlk iki paragraf iyi görünüyordu. Hem Einstein'ın yazarlığıyla ilgili bir fikir verdiği hem de bazı fikirleri ortaya attığı için o paragrafları burada alıntılayacağım. Şöyle başlıyor:

> Görelilik kuramı uzay ve zaman kuramıyla çok yakından bağlantılıdır. Bu nedenle, böyle yaparak tartışmalı bir konuyu ortaya attığımı bildiğim halde, uzay ve zamanla ilgili fikirlerimizin kökenini incelemekle başlayacağım. İster doğa bilimleri, ister psikoloji olsun tüm bilimlerin amacı deneyimlerimizi düzenlemek ve onları mantıklı bir sisteme yerleştirmektir. Peki uzay ve zamanla ilgili alışılmış fikirlerimizle, deneyimlerimizin niteliği arasında nasıl bir bağ vardır?

Bunu anlayabiliyordum, eminim siz de anlıyorsunuzdur. Bir sonraki paragraf da oldukça kolay görünüyordu. Şöyle diyordu:

> Bir bireyin deneyimleri bize bir olaylar dizisi olarak görünür; bu diziler içinde hatırladığımız tek tek olaylar, daha fazla incelenemeyen "önce" ve "sonra" kriterlerine göre sıralanmış gibi görünürler. Dolayısıyla birey için bir ben-zamanı, yani öznel bir zaman vardır. Bu kendi başına ölçülebilir bir şey değildir. Sayılarla olaylar arasında, daha büyük sayı önceki olayla değil de sonraki olayla ilişkili olacak şekilde bir ilgi kurabilirim; ama bu ilişkilendirmenin niteliği oldukça rasgeledir. Bu ilişkilendirmeyi bir saat aracılığıyla, yani saatin gösterdiği olay sırasıyla, daha sonra bahsedeceğimiz daha farklı özellikleri de olan belirli bir sayılabilir olaylar dizisinin sırasını karşılaştırarak tanımlayabiliriz.

Öncekinden daha zor olmasına rağmen bu paragrafı da anladığımı düşündüm. Hatta kendi önce ve sonra kavramımı bir saatin üzerindeki artan sayılarla ilişkilendirme fikri bana oldukça aydınlatıcı geldi. Olayları hiç bu şekilde düşünmemiştim. Ama bu koskoca bir sayfaydı! Bir saat içinde bir sayfayı anlamayı başarmıştım. Ekleri sayılmazsa kitap yalnızca 108 sayfaydı! Bu hızla gidersem bütün kitabı bir ay gibi bir sürede bitirip, kuramı anlayan on üçüncü kişi olabileceğimi hesapladım. Bu yöntem, aşağıdaki denklemle karşılaştığım altıncı sayfaya kadar şöyle böyle işe yaradı. Kendimi nasıl hissettiğim konusunda bir fikriniz olması için denklemi burada tekrarlayacağım. Tabii bazılarınız ileri düzey matematik

dersi almış olabilir bu durumda benim nasıl olup da o kadar cahil olduğumu düşüneceksiniz. Yine de işte denklem bu:

$$\Delta x'_\nu = \sum_\alpha \frac{\partial x'_\nu}{\partial x_\alpha} \Delta x_\alpha + \frac{1}{2} \sum_{\alpha\beta} \frac{\partial^2 x'_\nu}{\partial x_\alpha \partial x_\beta} \Delta x_\alpha \Delta x_\beta \cdots$$

Şaşırıp kalmıştım. Hiçbir sözlük bana yardımcı olamazdı. Planım suya düşmüştü. Şimdi bunca yıldır Einstein'ın kuramı üzerinde çalışmış biri olarak, matematiğin aslında işin en kolay kısmı olduğunu anlıyorum. Bu kitapta ileri düzey matematik, yani bir lise öğrencisinin karşılaşmamış olacağı bir matematik kullanmayacağım. Yine de, eğer işimi iyi yapabilirsem bu kitabı okumayı bitirdiğinizde görelilik kuramının temel fikirlerini ve daha da fazlasını anlamış olacaksınız. Tabii o denkleme rastladığımda bunların hiçbirini bilmiyordum. Ümitsizliğe kapılmıştım. Yardım istemek için Profesör Cohen'e gittim. Yaşamımın akışını değiştiren bir öneride bulundu. Bunun için kendisine ömrümün sonuna kadar müteşekkir olacağım. Bahar döneminde Philipp Frank isimli bir adamın yalnızca modern fiziğe değinen bir ders -biraz daha ileri bir doğa bilimleri dersi- açacağını belirtti. Profesör Frank'in Einstein'ın iyi bir arkadaşı olduğunu ve *Einstein: Yaşamı ve Devri* adlı yaşamöyküsünü yeni yayımlamış olduğunu söyledi. Profesör Cohen, bir öğrencinin hem onun dersini hem de daha ileri düzey bir dersi aynı anda almasının sıradışı olduğunu, ama göreliliği anlamaya bu kadar hevesli olduğuma göre denemem gerektiğini söyledi. Hemen gidip Profesör Frank'in kitabını aldım ve derse kaydoldum.

Profesör Frank'in nasıl biri olduğunu çok merak ediyordum. Şüphesiz o on üç kutsal kişiden biri olmalıydı. Dersin fizik binasındaki büyük bir amfide yapılacağını

öğrendim. Bir fizik binasında ilk bulunuşumdu ve bana oldukça moral bozucu geldiğini söylemeliyim. Karanlıktı ve koridorlarda içleri görünüşe göre gelişigüzel toplanmış, tozlu eski alet parçalarıyla dolu dolaplar vardı. Simgelemeleri beklenen tarih bana bir şey ifade etmiyordu. Yine de sınıfa girdim ve bekledim. Saat üçte Profesör Frank sınıfa aksayarak girdi. Aksayarak diyorum, çünkü daha sonra çocukluğunda memleketi Viyana'da geçirdiği bir tramvay kazasından kaynaklandığını öğrendiğim belirgin bir topallığı vardı. Kısa boylu, yumurta şeklindeki kel kafasının yanlarında birkaç tel beyaz saçı olan bir adamdı. Son derece akıllı bir av köpeğininkine benzediğine karar verdiğim sevecen, kurnaz bir yüzü vardı.

Aksanından nereli olduğuna anlamak zordu. Zamanla sayısız dil konuştuğunu öğrendim. Fransızca, Almanca, İngilizce, İtalyanca, İspanyolca, Rusça, Çekçe, biraz İbranice ve Arapça bunlardan bazılarıydı. Çekçe bilgisi, 1912 yılında Einstein'ın bir yıl çalıştığı Prag Alman Üniversitesi olarak bilinen yerde onun ardından fizik profesörü olarak çalıştığı zamandan kalmaydı. İngilizce bilgisi 1938 yılında Çekoslovakya'dan Amerika Birleşik Devletleri'ne göç etmiş olmasından kaynaklanıyordu. Farklı diller, tıpkı şehir kalıntıları gibi birbiri üzerine yığılmıştı. Profesör Frank'in aksanının açıklaması işte buydu.

Profesör Frank'in çok iyi bir mizah yeteneği olduğu ortaya çıktı. Sonradan bana Einstein'ın da öyle olduğunu söyledi. Einstein'ın gençken, kendisinin o taklit edilemez aksanıyla "espri" dediği (Profesör Frank bunu söylediği zaman "eşpri" gibi duyuluyordu) küçük şakalar patlatmaya bayıldığını anlattı. İkisini hayal edebiliyorum; o zamanlar yirmili yaşlarında olan iki genç adam devamlı gittikleri kahvehanelerde şakalar yapıp

gülüyorlar. Bu genelde insanın aklına gelen beyaz saçlı bilge Einstein imgesi değil. İnsan onun gençken nasıl görünmüş olabileceğini unutuyor.

Ders Eski Yunan geometrisiyle başlayarak Cohen'in de kapsadığı konulardan bazılarını içeriyordu. Tuttuğum notlar artık eski, yıpranmış, deri kaplı bir defterde hâlâ duruyor. Profesör Frank gerçek bir tarihçi değildi, bu nedenle verdiği tarihler ve yerler ne kadar güvenilir bilemiyorum. Ama bir şeylerin anlamlarını ortaya çıkarabiliyordu. Sıra Newton'a geldiğinde, elmanın düşmesiyle ilgili ünlü hikâyenin gerçek anlamını ilk kez anlamamı sağladı. Newton'un, kişinin gerçekte yapılması imkânsız olan ama ilkesel olarak olası bir durumu hayal ederek fizikte yeni bir fikir ortaya çıkarmasını sağlayan bir "düşünce deneyi" (Einstein'ın ustası olduğu bir şey) yapmakta olduğunu anlattı. Newton gençken yaşadığı yerin yakınlarında bir meyve bahçesinde bir elmanın yere düşüşünü gözlemlemiş. Profesör Frank bize, Newton'un ağacın buradan Ay'a uzanacak kadar büyümeye devam ettiğini hayal ettiğini anlattı. O zaman Ay'ı kocaman bir ağacın dalındaki bir elma olarak düşünebilirdi. O da meyve bahçesindeki elma gibi, Dünya'nın kütleçekiminden etkilenerek düşecekti. Bu Newton'u kütleçekiminin "evrensel" olduğu, yani kütleçekiminin her şey üzerinde, her yerde etkili olduğu ve Ay'ın hareketinin bileşenlerinden birinin, tıpkı düşen bir elma gibi sürekli Dünya'ya doğru "düşmek" olduğu fikrine götürdü.

Profesör Frank bize Yunanların hayal etmediği geometriler olduğunu ve bunların Einstein'ın kütleçekimine bakışı üzerinde önemli bir rol oynadığını öğretti. İşlediği konularda hiçbir zaman ileri düzey matematik kullanmaz, onun yerine özenle adım adım anlamamızı amaçlardı. Bu konulardan bazılarını kitap ilerledikçe size su-

nacağım. Ama aynı zamanda başka bir şey daha fark etmiştim. Daha fazla matematik ve fizik öğrenmediğim sürece görelilik kuramını asla tam olarak anlayamayacaktım. Dünyada göreliliği anlayan yalnızca on iki kişi olduğu sözünün bir tür şaka olduğunu artık anlamıştım. Çalışan her fizikçinin kuramı iyi kavramış olması gerekiyordu ve yaşamlarını bu konuda çalışarak geçirmiş birçok fizikçi vardı -onlara "görelilikçiler" deniyordu. Kuramı daha iyi anlayabilmak için işe temelden başlamam gerekecekti; bu da çok zor bir işti.

Fizikçi olma kararından hâlâ çok uzak olmakla beraber, kuramı daha iyi anlayabilmek için ikinci yılımda gerektiği kadar matematik ve fizik öğrenmeye karar verdim. Diferansiyel ve integral hesap dersinin yanı sıra birinci sınıf fizik dersleri aldım. Ayrıca Profesör Frank'ten bir ders daha aldım ve onu biraz daha yakından tanımaya başladım. İkinci yılımın bahar döneminde yeni bir çılgınca fikre kapıldım. Princeton'daki Yüksek Araştırma Enstitüsü'ne gidecek ve Einstein'la konuşacaktım. Onunla ne hakkında konuşacağımı düşündüğümü hatırlamıyorum. Şimdi o şansa sahip olsam ona sormak istediğim o kadar çok şey var ki, nereden başlayacağımı bilemem. Ona bir mektup yazdım. Eminim bunun gibi yüzlercesini alıyordu. Einstein'ın yanıt vereceğini sanmıyordum, ama Profesör Frank o sırada Princeton'a gidiyordu ve konuyu Einstein'a açacağını söylemişti. Haziran başlarında Einstein'dan bir mektup alınca çok şaşırdım. Onu çerçevelettim ve bunları yazarken de ona bakıyorum. 3 Haziran 1949 tarihli mektup, daha o hayattayken dünya çapında ünlü olan ve 1955'teki ölümünden birkaç yıl sonra benim de ziyaret ettiğim Princeton'daki Mercer Sokağı 112 numaralı evden yollanmış. Şöyle diyor:

Sevgili Bay Bernstein:

Ekte bazı görüşleri epistemolojik bakış açısıyla sunduğum bir makale yolluyorum. ["Epistemolojik"in ne demek olduğunu tam olarak bilmiyordum, ama makale onun bilim felsefesiyle ilgiliydi.] Yanlış anlaşılmaları önlemek için sözlü görüşme yapmıyorum.

İçtenlikle,

A. Einstein

İşte Einstein'la nasıl tanışamadığımın hikâyesi böyle.



Albert Einstein beş yaşındayken kız kardeşi Maria ile. Ağabeyiyle ilgili kısa bir yaşamöyküsünde Maria küçük Einstein'ın arada bir gelen huysuzluk krizlerini anlatıyordu.

1.
BÖLÜM

Einstein'ın Gençliği

Albert Einstein 15 Mart 1879'da Güney Almanya'da, Suabiya Alplerinin eteklerindeki Ulm şehrinde doğdu. Doğduğu ev olan Bahnhofstrasse 135 Numara, II. Dünya Savaşı sırasındaki bir bombardımanda yıkıldı. Ebeveynleri Hermann ve Pauline Koch Einstein dinlerinin gereklerini sıkı sıkıya uygulamasalar da birer Yahudiydi. Oğulları Albert'e ve iki yıl sonra doğan kızları Maria'ya Eski Ahit'ten Abraham veya Sarah gibi adlar yerine geleneksel Alman isimleri vermiş olmaları ortodoks Musevilikten uzaklaşmış olduklarını gösteriyor. Yine de üyesi oldukları din, yani Musevilik, Einstein'ın doğum belgesinde yazılıydı. Bu bilginin ışığında, Einstein'ın aynı Alman şehrinde yarım asır önce veya yarım asır sonra doğmasının modern bilim tarihi için ne anlama gelebileceği üzerine fikir yürütmek ilginç olabilir.

Einstein'ın doğumundan yalnızca sekiz yıl öncesine yani 1871 yılına kadar Yahudiler tam Alman vatandaşı sayılmıyorlardı; diğer Almanlarla aynı hak ve fırsatlara sahip değillerdi. Hatta yüzyılın başlarında gettolarda yaşamaya ve özel sarı kumaş rozetler takmaya zorlan-

mışlardı. Bu uygulama Einstein'ın doğumundan yaklaşık 50 yıl sonra Naziler tarafından tekrar uygulamaya kondu. Yahudiler üniversiteye gidemiyor, çok sınırlı sayıda mesleği uygulayabiliyorlardı. Yani, eğer Einstein kadar yetenekli birisi o dönemde bir gettoda doğmuş olsaydı ya fark edilmezdi ya da din bilgini olurdu. 19. yüzyılın ortalarına kadar Avrupa'da Yahudi bilim adamları, en azından çalışmaları geniş çapta tanınan Yahudi bilim adamları yoktur. Bu nedenle Einstein'ın ne annesinin ne de babasının ailesinde bilimsel başarılarıyla öne çıkmış herhangi bir kimsenin kaydının olmaması şaşırtıcı değil.

Tabii diğer yandan eğer Einstein 50 yıl sonra doğmuş olsaydı doğumu Almanya'da Nazilerin yükselişine denk gelecekti ve eğer başka bir ülkeye göç edebilecek kadar şanslı olan az sayıda Yahudiden biri olmasaydı bir toplama kampında ölecekti. Yine de 1932'de Almanya'yı bir daha dönmemek üzere terk etmek zorunda kaldı. Bunun dışında 1879'da doğmak, Isaac Newton'un ve takipçilerinin geleneksel "klasik" fiziğinin yıkılmaya başladığı yüzyılın başında yirmili yaşlarda olmak demekti. Fiziği düzeltmek için bir devrim gerekiyordu ve genelde devrimler, en azından fizik alanındakiler, 30 yaşın altındaki kişiler tarafından yapılır. Yani Einstein tam da olaylara taze bir bakış açısıyla bakabilecek yaştaydı. Yerleşik fizikte kazanacağı ya da kaybedeceği bir şey yoktu.

Einstein ünlendikten sonra Maja takma adlı kardeşi Maria çok yakın olduğu ağabeyiyle ilgili kısa bir yaşamöyküsü yazdı. İkisi de küçükken Einstein'ın ona nasıl göründüğünü anlattı. Zaman zaman "yüzünün solduğu, burnunun ucunun beyazlaştığı ve kendini kaybettiği" huysuzluk krizleri geçirdiğini hatırlıyordu. Küçük Albert'in konuşmaya oldukça geç başladığı konusunda herkes hemfikirdir. İleri yaşlarında Einstein bu konuda

asistanlarından birine, iki ya da üç yaşlarında tam cümleler halinde konuşma hevesine kapıldığını ve cümleleri doğru söyleyebildiğine emin olana kadar sesli söylemediğini, kendi kendine sessizce çalıştığını anlatmıştı. Çok az yetişkin konuşmayı nasıl öğrendiğini hatırlayabilir. Ama yetişkinliğe ulaşıp Newton'dan sonraki en büyük bilimsel deha olduğu herkes tarafından kabul edildiğinde Einstein'a zihinsel süreçlerinin diğer insanlarınkinden nasıl bir farkı olduğu o kadar sık sorulmuştu ki, o da bu süreçlerin nasıl geliştiği hakkında uzun uzun düşünmüş olmalı. Konuşmayı nasıl öğrendiğini hatırlamasının ya da hatırladığını sanmasının nedeni büyük olasılıkla budur.

Einstein'ın annesi müziği çok seviyordu, bu nedenle çocuklarının ikisine de çok küçükken müzik dersleri aldırdı. Einstein 6 yaşındayken keman çalmaya başladı ve 13 yaşına kadar ders aldı. Çalmanın artık onun için çok zor olduğunu hissettiği ileri yaşlarına kadar düzenli olarak çaldı. Ne kadar iyi bir kemancı olduğu pek açık değil. Her türden ünlü müzisyen ona eşlik etmek istedi ve etti de, ama büyük ihtimalle müzisyen Einstein değil de fizikçi Einstein olduğu için.

Einstein'ın müzik merakı ilginç arkadaşlar edinmesini de sağladı. Zengin ve biraz eksantrik bir sanayici olan Belçikalı Ernest Solvay, 1911'den başlayarak Belçika'nın başkenti Brüksel'de ara sıra bazı konferanslar düzenliyor ve bunların masraflarını kendi karşılıyordu. Solvay'ın bazı garip bilimsel fikirleri vardı ve büyük ihtimalle yeterli ücreti öderse bir grup seçkin bilim adamını kendisini dinlemeleri için toparlayabileceğini düşünüyordu. Ama bir araya gelen bilim adamları birbirlerini dinlemeyi tercih ediyorlardı. Einstein'ın Belçika Kralı ve Kraliçesiyle tanışması bu toplantılar sırasında oldu.

Onlardan sanki soyadları oymuşçasına "Krallar" diye bahsediyordu. 1930'da Brüksel'den karısına şöyle yazıyordu:

> Saat 3'te Krallara gittim ve beni çok duygulandıran bir samimiyetle karşılandım. Bu insanlar az bulunan bir saflığa ve iyiliğe sahip. Önce bir saat kadar konuştuk. Sonra bir İngiliz kadın müzisyen geldi ve dörtlü ve üçlü gruplar halinde çaldık (çalmayı bilen bir nedime de vardı). Bu böyle saatlerce neşe içinde sürdü. Sonra hepsi ayrıldılar ve ben Krallarla tek başıma yemeğe kaldım; vejetaryen usulü, uşakların servis yapmadığı bir yemek. Katı yumurta ve patatesle ıspanak, o kadar. (Yemeğe kalacağım beklenmiyormuş.) Burayı çok sevdim ve bu duygunun karşılıklı olduğuna eminim.

Einstein'ın babası Hermann ticarette çok başarılı değildi. Oğlu Albert bir yaşındayken, mühendislik okumuş olan küçük erkek kardeşi Jakob'la bir elektrik mühendisliği ve su tesisatı işi başlatmaya karar verdi. Pauline Einstein'ın ailesinin maddi desteğiyle Almanya'nın büyük şehirlerinden Münih'te işe başladılar. Genç Albert yaşamının sonraki on dört yılını burada geçirdi ve ilkokul eğitimini burada aldı. O zamanlar Almanya'da devlet okullarının çoğunun dini bağlılığı vardı. Yahudi okulları, Katolik okulları vb. Ailesi Katolik okulunda daha iyi bir genel eğitim alabileceğine karar verince Einstein oraya gitti. Okulundaki tek Yahudi oydu, ama bu durum onun için bir sorun yaratıyormuş gibi görünmüyordu.

Ancak bu okulların askeri gelenekleri ve genelde de askeri bir ortamları vardı ve bu da Einstein'ın başından



Einstein (ön sırada sağdan üçünü) 1889'da Münih'teki sınıf arkadaşlarıyla. Einstein bu okulun sert, askeri ortamından nefret ediyordu.

beri nefret ettiği bir şeydi. Çocukken hiç oyuncak askerlerle oynamamıştı, askeri geçitleri acıma ve küçümseme duygularıyla izlerdi. Yaşamının büyük kısmında bu duyguları korudu. I. Dünya Savaşı sırasında Einstein'ın savaş karşıtı eylemci olarak başı derde bile girdi. Yalnız 1930'larda Almanya'da Adolf Hitler'in yükselişiyle birlikte, onun ancak zorla durdurulabileceği sonucuna ulaştığında fikrini değiştirdi.

Einstein'ın Münih'teki yıllarında özel yetenekler göstererek öğretmenlerini etkilediğine dair bir kanıt yok. Birçok büyük kuramsal fizikçi çok küçük yaşlarda, genellikle de matematik alanında dikkate değer bir beceri sergilemiş, örneğin genç yaşta diferansiyel ve integral hesap öğrenmiş veya akıldan aritmetik hesap yapma konusunda üstün başarı göstermiştir, ama Einstein bunlardan herhangi birini yapmışa benzemiyor. Tam tersine ilk öğretmenlerinde özel bir gelecek vaat etmeyen, düş dünyasında yaşayan bir çocuk izlenimi uyandırmıştı. Yine de Einstein bize ilk belirgin bilimsel anılarının o

zamanlara dayandığını söylüyor. Einstein şimdilerde birçok bilim adamının yazdığı, evliliklerini, çocuklarını ve hatta aşk ilişkilerini ve bazen de bilimsel çalışmalarını anlattıkları türden bir özyaşamöyküsü yazmadı. İki kez evlendiği, üç çocuğu olduğu ve büyük ihtimalle aşk ilişkileri yaşadığı halde bunların yalnızca kendisini ilgilendirdiğine çok kuvvetle inanmış olmalı ki 67 yaşında özyaşamöyküsel bir deneme kaleme aldığında özel yaşamı hakkında hiçbir şey yazmadı. Evli olup olmadığını bile söylemedi. Deneme neredeyse tamamen bilimsel fikirlerinin temeliyle ilgiliydi. Bilimin Einstein'ın yaşamına ne zaman ve nasıl girdiğini bu "özyaşamöyküsü"den öğreniyoruz.

Bu denemede Einstein bize bilimle ilgili iki tane belirgin çocukluk anısını anlatıyor. Daha sonra yapacağı bilimle oldukça ilgililer. Bu anıları onda yarattıkları merak duygusu bakımından anlatıyor. "Merak" burada çok önemli bir sözcük. Çevremizdeki doğada gözlemlediğimiz şeyleri hepimiz merak ederiz. Bulutları yukarıda tutan nedir? Neden mevsimler vardır? Suyu kaynatan, bitkileri yeşil, gökyüzünü mavi yapan nedir? Bilim insanını diğerlerinden ayıran şey, onun bu gibi soruların yanıtlarını bilmemeye dayanamamasıdır. Böyle bir kişi sorusu yanıtlanana kadar bütün gece -hatta birçok gece- uykusuz kalabilir. Einstein bu dürtüyü o kadar yoğun hissediyordu ki ondan "meraktan kaçış" olarak bahsediyordu. Yani bilim insanının meraktan (bir şeyi anlayamama duygusundan), bir bilim insanı için ürkütücü hatta korkunç olan ve ancak o şeyi anlayınca geçen duygudan kaçması.

Einstein'ın ilk bilimsel anısı beş yaşlarındayken babasının ona bir pusula göstermesiyle ilgili. Pusulanın iğnesine hiçbir şey dokunmuyor gibi göründüğü halde iğne-

nin nereyi işaret etmesi gerektiğini "bilmesi" gibi, görünüşte garip bir olguyu betimlerken şöyle yazıyor: "İğnenin bu kadar kararlı bir şekilde hareket etmesi, bilinçaltındaki kavramlar dünyasındaki olayların doğasına uymuyordu."

"Bu deneyimin bende derin ve kalıcı bir etki yaptığını hâlâ hatırlıyorum ya da en azından hatırlayabildiğimi sanıyorum. Olayların ardında, derinlerde gizli bir şey olmalıydı..." diye devam ediyor. Böyle bir deneyim büyüden farklı olacaksa, bilim insanı onun neden olduğunu ve bizim için daha tanıdık olan şeylerle nasıl bir bağlantısı olduğunu bulmak zorundadır. Einstein'ın ilk bilimsel anısının manyetizmayla ilgili olması dikkat çekici, çünkü yıllar sonra görelilik kuramının kazandığı başarılardan biri manyetizmanın ve elektriğin aslında elektromanyetizma adı verilen tek bir olgu olduğunu göstermesiydi.

Ama Einstein bu deneyimi yaşadığı sırada modern elektromanyetizma kuramı da kendi çocukluk çağındaydı. 25 yıl önce büyük İskoç fizikçi James Clerk Maxwell tarafından geliştirilmişti ve Einstein yüzyılın sonunda bilimsel eğitim alırken elektromanyetizma hâlâ o kadar yeni ve o kadar az insan tarafından anlaşılabilen bir kavramdı ki, okullarda öğretilmiyordu bile. Einstein bu konuyu kendi kendine öğrenmek zorunda kaldı.

Einstein'ın anımsadığı ikinci bilimsel deneyim oldukça farklı bir yapıda. Geometriyle ilgili ve o 12 yaşındayken olmuş. Einstein o sırada ilkokuldan Gymnasium* olarak bilinen okula geçmişti. Bu okul aslında bir liseydi, ama eğitim düzeyi çok yüksekti. Gymnasium öğretmenlerinden bazıları kitap yayımlamış veya önemli bilimsel deneyler gerçekleştirmiş bilim adamlarıydı. Eins-

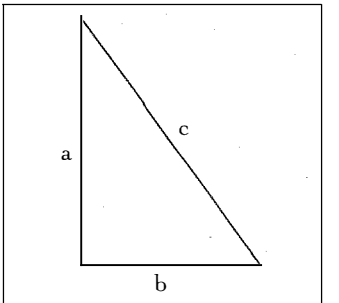
*Almanya'da, yükseköğrenime öğrenci yetiştiren, devlet destekli ortaöğretim kurumu (ç.n.)

tein Münih'te Luitpold Gymnasium adında, ilkokulundan bile daha fazla askeri disipline sahip görünen bir Katolik okuluna gidiyordu. Hepsi erkek olan sınıf arkadaşlarıyla çekilmiş bir fotoğrafta bütün öğrenciler üniformalı. Askeri bir okul da olabilirmiş pekâla. Einstein ilkokulunda öğretmenlik yapan "çavuşlara" karşılık, buradaki öğretmenlerinden "teğmenler" diye söz ediyor. Fotoğrafta yüzünde yapmacık bir gülümseme var ve öğretmenlerini çıldırtabilecek bir oğlan çocuğu gibi görünüyor. Bu da gerçekten çok uzak değil.

Bu ilk bilimsel deneyimleri edindiği sırada Einstein popüler bilim kitapları okumaya başlamıştı bile. Bunları kendisine Max Talmud adında, Rusya'dan gelen fakir bir Yahudi öğrenci tavsiye etmişti. Einstein'ın ailesi biçimsel açıdan çok dindar olmamakla beraber, Yahudilerin fakir bir öğrenciyi yemeğe davet etme geleneğini uyguluyorlardı. Talmud'u da her perşembe öğle yemeğine davet ediyorlardı. Talmud'un Einstein'a tavsiye ettiği kitaplar arasında *Doğa Bilimleri Üzerine Popüler Kitaplar* adlı bir dizi kitap yazmış olan Aaron Bernstein'ın da birkaç kitabı vardı. Talmud ve Einstein bu kitapları tartışarak saatler geçiriyorlardı.

Bunun yanı sıra, amcası Jacob Einstein'ın matematiğe gittikçe artan ilgisini destekliyor ve çözmesi için ona sık sık cebir ve geometri problemleri veriyordu. Bu problemlerden biri, düzlem geometrisinde bir dik üçgenin iki kenarının karesinin toplamının hipotenüsün karesine eşit olduğunu ifade eden Pythagoras teoreminin ispatıydı. Daha sonra amcası Einstein konuyu daha iyi anlayabilsin diye ona geometri hakkında bir kitap verdi. Daha sonraları Einstein şöyle yazdı: "12 yaşında, okul yılının başında elime geçen Eukleidesçi düzlem geometrisiyle ilgili bir kitapçıkla birlikte, tamamen farklı ikinci

bir "merak" yaşadım. Bu kitapçıkta öyle iddialar vardı ki -hiç aşikâr olmamalarına rağmen- herhangi bir şüpheye yer bırakmayacak kadar kesinlikle kanıtlanabiliyorlardı. Bu açıklık ve kesinlik benim üzerimde anlatılamayacak bir etki bıraktı. Aksiyomun kanıtlanmadan kabul edilecek olması beni rahatsız etmedi. Geçerliliği kuşkulu görünmeyen önermelere kanıtlar bulabilirdim... "



Şekil 1

Burada Einstein muhtemelen hepimizin geometri hakkında düşünmüş olabileceği bir şeyden bahsediyor. Herhangi iki noktayı bir çizgiyle birleştirebilmemiz ya da tüm dik açıların birbirine eşit olması gibi birkaç görünüşte apaçık önermeden -aksiyomdan- yola çıkarak, dikkate değer teoremler ispatlayabilme olgusunun şaşırtıcılığı. Hepimize aksiyomların kendilerini "ispatlayamayacağımız" öğretilmiştir. Onları geometri önermelerinin yapı taşları olarak kabul etmeliyiz. Einstein bunu Pythagoras teoreminde de uygulamaya çalıştığını anlatarak devam ediyor. Şöyle diyor: "Kutsal geometri kitapçığı elime geçmeden önce, amcamın [Jakob'un] Pythagoras teoremini bana anlattığını hatırlıyorum. Epey çabaladıktan sonra, bu teoremi üçgenlerin benzerliği temelinde 'ispatlamayı' başardım; bunu yaparken dik açılı üçgenin kenarları arasındaki ilişkinin tamamen dar açılardan biri tarafından belirleniyor olması gerektiği bana 'aşikâr' görünüyordu. Yalnızca buna benzer şekilde 'aşikâr' olmayan bir şey bence kanıt gerektiriyordu..." 27.-29. sayfalarda Einstein'ın ispatının ne olmuş olabileceği gösteriliyor; ama bu yalnızca bir tahmin, çünkü kendisi daha fazla ayrıntı vermiyor.

Hermann Einstein 1894'te Albert hariç tüm ailesini İtalya'ya, Milano şehrine taşıdı. Münih'te işler pek iyi

gitmemişti ve firmanın İtalyan temsilcisi Einstein kardeşlerin şanslarını İtalya'da denemelerini önermişti. Albert Gymnasium eğitimini bitirmek için Münih'te kaldı. Uzak bir akrabanın işlettiği bir pansiyonda kalıyordu. Artık okulun ortamı Einstein'ın sinirlerini iyice bozmaya başlamıştı. Bazen Einstein'ın kötü bir öğrenci olduğu söylenir. Öyle değildi. Aslında mükemmel bir öğrenciydi; belki sürekli sınıf birincisi değildi, ama çok iyi notlar alıyordu. Fakat çok saygılı bir öğrenci değildi ve öğretmenleri de bunu anladılar.

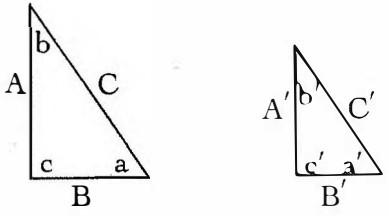
Sonuçta Einstein Münih'te tek başına altı ay yaşadıktan sonra kaçmaya karar verdi. Bir doktordan ruhsal bunalım geçirmekte olduğuna dair bir yazı almayı başardı. Bir matematik öğretmeninden de üstün matematik bilgisinin onu daha ileri düzey çalışmalara hazırlamış olduğunu belirten bir yazı aldı. Ama bunların hepsi bir öğretmen tarafından çağırılıp okuldan ayrılmasının istendiği bildirilince resmileşti. Nedenini sorduğunda "Sınıftaki davranışlarınız diğer öğrencilere kötü örnek oluyor." cevabını aldı. Öğretmenin ne demek istediğini anlamak için Einstein'ın sınıfıyla çektirdiği fotoğrafa bakmak yeterli. Ama bu Einstein'ın işine geldi. Eğer bütün yıl okula devam etseydi askere alınacak kadar büyümüş olacaktı.

Einstein okuldan ayrılışını ailesine önceden haber vermediği için, İtalya'da ortaya çıkıvermesi şaşkınlık yaratmış olmalı. Alman vatandaşlığından vazgeçeceğini söylemesi ise daha da büyük bir şaşkınlık yarattı. Bu konuda çok ısrarlıydı. Hiçbir koşulda Alman vatandaşı olarak kalmayacaktı. Uygulamada bunun ne anlama geldiği tam olarak belli değildi, ama sonraki altı ayda Einstein tek başına İtalya'yı gezerek harika vakit geçirdi. Ama o zaman 16 yaşında olan Einstein için gezmek,

EINSTEIN'IN PYTHAGORAS TEOREMİNİ İSPATI

Burada size Einstein'ın Pythagoras teoremi hakkında dediklerinden ne anladığımı göstereceğim. Bu bize daha sonra Einstein'ın görelilik kuramının bazı öngörülerini incelerken kullanacağımız teoremi gözden geçirme şansı da verecek.

Aşağıda iki tane farklı büyüklükte dik üçgen var: Biri büyük, biri küçük.



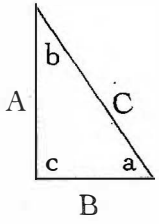
Şekil 2

Üçgenlerin kenarlarını sırasıyla A, B, C ve A', B' ve C' olarak adlandırdım. C ve C' kenarları iki üçgenin hipotenüsü. A, B ve C kenarlarının karşısındaki açılara a, b ve c; küçük üçgendeki kenarların karşısındakilere de a', b' ve c' dedim. Yukarıdakilerin ikisi de dik üçgen olduğuna göre hem c hem c' 90°dir. Herhangi bir üçgenin iç açılarının toplamının 180° olduğunu hatırlayın. Dolayısıyla, örneğin a açısı a' açısına eşitse, b açısı da b' açısına eşit olmalıdır. Bu $a+b=90°$ ve $a'+b'=90°$, demek ki $a+b=a'+b'$ denkleminden çıkar. Dolayısıyla, eğer bir dik üçgenin dar açılarından biri, diğer bir dik üçgenin dar açılarından birine eşitse tüm açılar eşittir ve iki üçgen "benzer" dediğimiz üçgenlerdir. Benzer üçgenlerin bu tanımı bir diğer tanım belirtir. Eğer tüm açılar eşitse, birbirine karşılık gelen kenarlar birbirleriyle orantılıdır. Denklem olarak bu şöyledir:

$$\frac{A}{A'} = \frac{B}{B'} = \frac{C}{C'}$$

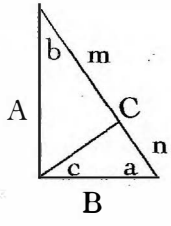
Biraz trigonometri biliyorsanız, a ve a' açılarının eşit olmasına izin verdiğiniz durumda, bu açıların sinüs ve kosinüslerinden bunu kolayca görebilirsiniz. Bir açının sinüsünün, açının karşısındaki kenarın uzunluğunun hipotenüse oranı olduğunu, kosinüsünün de açıya bitişik kenarın uzunluğunun hipotenüse oranı olduğunu hatırlayın. Einstein'ın 12 yaşındayken trigonometri bilip bilmediğini bilmiyorum, ama "dik açılı üçgenin kenarları arasındaki ilişkinin tamamen dar açılardan biri tarafından belirleniyor olması gerektiği bana 'aşikâr' görünüyordu" yazması bu anlama geliyor.

Doğru şekli çizdiğimiz anda buradan Pythagoras teoreminin ispatına ulaşmak çok uzun sürmüyor. Bir kez daha kenarları ve açıları şu şekilde adlandırılmış bir dik üçgen düşünüyoruz:



Şekil 3

Sonra aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi C'yi dik açıyla kesen bir çizgi çiziyoruz.



Şekil 4

Şimdi üç tane üçgenimiz var: İki küçük üçgen, bir de başlangıçtaki büyük üçgen. Ama bu üç üçgen de birbirine benzer. İkinci şekilde bütün açıları gösterdim ve küçük üçgenlerin tabanlarını oluşturan çizgileri m ve n olarak isimlendirdim. Bu üçgenlerin ilişkisinden, m+n=C olduğu belli. Şimdi benzer üçgenlerin çeşitli kenarlarının orantılılığını şu denklemlere ulaşmak için kullanabiliriz:

$$\frac{A}{C} = \frac{m}{A} \quad \text{ve} \quad \frac{B}{C} = \frac{n}{B}$$

Ama bu denklemler Pythagoras teoreminin kılık değiştirmiş hali yalnızca. Bunları çarpıp şöyle tekrar yazabiliriz:

$$A^2 = m \times C$$

ve

$$B^2 = n \times C$$

Eğer denklemleri toplarsak Pythagoras teoremini elde ederiz:

$$A^2 + B^2 = (m+n)\,C = C^2$$

Son aşama şu olguya dayanıyor:

$$m+n = C$$

Bence, Einstein'ın "Epeyi çabaladıktan sonra bu teoremi üçgenlerin benzerliği temelinde 'ispatlamayı' başardım." derken kastettiği buydu.

devamlı bir yerden bir yere giderek kültürü özümserken, bir yandan da İtalya'daki kafelerde gitar çalıp şarkı söylemek ve birkaç liret kazanmak değildi. "Fizik virüsünü" kapmıştı bir kez. Doğanın nasıl işlediğini öğrenmek istiyordu. Büyük ihtimalle profesyonel fizikçilerin varlığından haberi yoktu, ama fizik öğretmeni olmak gibi bir fikri vardı. Babası en azından yaşamını kazanabileceği bir mesleği olması için elektrik mühendisi olmasını istiyordu.

Avrupa'da Almanya dışında bilim ve mühendislik okumak için en iyi yerin Zürich'teki İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü olduğu anlaşıldı. Bu okul Almanca adı *Eidgenossische Technische Hochschule*'nin kısaltması olan ETH olarak anılır. Okulun, Almanya'da olmamasından başka da birçok tavsiye edilecek yönü vardı. Kadrosunda dünyaca ünlü birçok bilim adamı ve matematikçi vardı, ki bu her zaman iyi bir izlenim uyandırır. Giriş için lise diploması koşulu da aranmıyordu; onun yerine adaylar zor bir sınavı geçmek zorundalardı. Son olarak, kadınlar da okula alınıyordu; bu Einstein'ın yaşamının bir sonraki aşamasında önemli rol oynayacaktı.

Einstein giriş sınavına girdiğinde yalnızca 16,5 yaşındaydı, diğer öğrencilerden ortalama bir buçuk yaş küçüktü. Ayrıca sınava hazırlanmak için özel bir çaba harcamamıştı; o dönem için tam ona özgü bir davranış. Bu nedenle sınavın yabancı dillerle ilgili bölümünde başarısız olması şaşırtıcı değil. Hem Einstein'ın hem de fizik dünyasının şansına, Einstein'ın akademik kariyerini kurtardığı için hepimizin minnettar olması gereken ETH'nin müdürü Albin Herzog, Einstein'da bir matematik yeteneği olduğunu fark etti ve ETH'ye girmesini sağlayacak bir plan önerdi. Bu plana göre Einstein Zürich'e birkaç kilometre uzakta, Aarau'daki bir lisede bir



Einstein 1893'te Münih'te öğrenciyken

yıl boyunca dil ve bilim dersleri alacaktı. Bu okul bilimsel eğitim konusunda çok iyi bir şöhreti olan modern bir okuldu. Yapılan plan mükemmeldi; Einstein Aarau'da yaşamının en mutlu ve verimli yılını geçirdi.

Einstein'ın bilimle uğraşma tutkusunun iyice açığa çıktığı yer o okul oldu. Bir ara, muhtemelen Fransızca dersi için gelecek planları hakkında kısa bir yazı yazdı. Bu kısa yazı hâlâ duruyor. Einstein'ın öğrenci Fransızcasından çevrildiğinde şöyle diyor:

> Gelecek için planlarım
>
> Mutlu bir adam, şu andan geleceği fazla düşünmeyecek kadar hoşnuttur. Öte yandan genç insanlar cesur planlarla kendilerini oyalamayı severler. Ayrıca, ciddi bir genç adamın amaçlarıyla ilgili kesin fikirlerinin oluşması doğaldır.
>
> Sınavlarımı geçecek kadar şanslı olsam, Zürich'teki ETH'ye giderdim. Orada matematik ve fizik okumak için dört yıl kalırdım. Bu bilimlerin kuramsal yönlerine yoğunlaşan bir doğa bilimleri öğretmeni olmayı hayal ediyorum.
>
> Beni bu tasarıya yönlendiren nedenler şunlar: Her şeyden önce eğilimim soyut ve matematiksel düşünceye doğru; hayal gücüm ve uygulama yeteneklerim eksik. İsteklerim de bana bu kararı aldırdı. Bu son derece doğal; insan her zaman yetenekli olduğu şeyleri yapmayı sever. Bir de bilim-

sel mesleklerde çok hoşuma giden belirli bir bağımsızlık var.

Aarau'daki okulun uygulamalı bilimsel deneyler yapma olanağı sağlayan teşvik edici ortamının dışında, Einstein'ın çok uygun yatılı olanakları vardı. Winteler ailesiyle birlikte kalıyordu; evin "babası" Winteler-Jost Einstein'ın saygı duyduğu ve sevdiği biriydi, o da öğretmendi. İşin ilginç yanı, Einstein'ın kız kardeşi Maja 1910'da ailenin oğullarından biri olan Paul Winteler'le evlendi. Okul yılı ilerlerken Einstein sonunda babasını Alman eyaleti Württemburg'daki makamlara -o dönemde tüm ülkenin değil, bir eyaletin vatandaşı olunuyordu- vatandaşlığının iptali için başvurmaya ikna etti. Başvuru yapıldı ve 1896'nın başında üç Alman Markı karşılığında Einstein vatandaş olmadığını onaylayan belgeleri aldı. İsviçre vatandaşlığına geçtiği 1901'e kadar vatansız olarak -resmen herhangi bir ülkenin vatandaşı olmadan- kaldı. İsviçre yirminci yüzyılın savaşlarında tarafsız kalmış olsa da, erkekler için askerlik zorunludur. Aslında İsviçreli erkekler yaşamlarının büyük bir kısmında yarı zamanlı olarak orduya hizmet ederler. Ama bu Einstein'ı rahatsız etmişe benzemiyor. İsviçre vatandaşı olduğunda herkes gibi orduya hizmet etmeye hazırdı, ama düztaban olduğu için reddedildi. 1869 sonbaharında, Aarau'daki okuldan mezun olduktan sonra ETH'ye kabul edildi ve matematik ve fizik öğretmeni olmasını sağlayacak dört yıllık bir eğitim programına başladı.

Bunca yıl sonra geri dönüp bakıldığında insan Einstein'ın ETH'deki dört yılının ne büyük bir başarı, ne de büyük bir başarısızlık olduğunu düşünüyor. Buna benzer bir izlenim Einstein'ın özyaşamöyküsündeki anılarına da sızıyor. ETH'deyken "Mükemmel öğretmenlerim

vardı (.....) yani çok sağlam bir matematik eğitimi alabilirdim. Ama çoğunlukla doğrudan deneyim edinmenin büyüsüyle fizik laboratuvarında çalıştım. Kalan zamanı da genelde evde çalışarak geçirdim." diye yazıyor. Ne var ki, sınavlar zorunluydu. Einstein bu konudaki hoşnutsuzluğunu şöyle ifade ediyor: "Buradaki tek pürüz (.....) insanın istese de istemese de bunların hepsini sınav için aklına tıkıştırmak zorunda olmasıydı. Bu baskının benim üzerimde öyle caydırıcı bir etkisi vardı ki, son sınavları geçtikten sonra bütün bir yıl herhangi bir bilimsel problem üzerinde düşünmek tatsız geliyordu." Yine de "Haksızlık etmemek için eklemeliyim ki (.....) İsviçre'de tüm bilimsel güdüleri boğan bu tür baskılardan, diğer birçok yere göre çok daha az çektik. Toplam olarak yalnızca iki sınav vardı; bunların dışında insan istediğini yapabiliyordu sayılır. Özellikle de insanın, benim olduğu gibi, dersleri aksatmayan ve konulara özenle çalışan bir arkadaşı varsa bu iyice böyle oluyordu. Bu, insana sınava birkaç ay kalana kadar istediği uğraşı seçme özgürlüğünü veriyordu. Bu benim sonuna kadar kullandığım, beraberinde getirdiği vicdan azabını seve seve, kötü ihtimallerin iyisi olarak kabullendiğim bir özgürlüktü." diyor.

Zorunlu çalışmanın baskıcı etkisini tartışırken Einstein "Modern öğretim yöntemlerinin o kutsal araştırma merakını hâlâ öldürmemiş olması bir mucize sayılır; çünkü bu narin, küçük bitki teşvikin yanı sıra özellikle özgürlük arayışındadır, özgür bırakılmazsa harap olup gideceği kesindir. Görme ve araştırma zevkinin baskıyla ve görev duygusuyla geliştirilebileceğini düşünmek büyük bir hatadır." der.

Bu bir bakıma derin bir gözlem sayılabilir, ama bir bakıma oldukça seçkinci olarak da algılanabilir. Çok az

insan kendilerine öğretildiğinden daha fazla fiziği kendi başlarına öğrenebilir, özellikle de başlarda. Fizik çok zor bir konudur ve öğrenmek için birçoğumuz yönlendirme ve disipline ihtiyaç duyarız. Diğer araştırmacılarla ve deneysel gerçeklerle iletişim halinde olmamız gerekir, yoksa kolayca yönümüzü kaybederiz.

ETH'de derslere giren ve özenli notlar alan "arkadaş"ın kim olduğunu Einstein söylemiyor, ama kız arkadaşı ve ilerideki eşi Mileva Maric olabilir. (Bir başka aday da, titiz notlar aldığı bilinen ve sonradan görelilik kuramını doğuran matematik çalışmalarında Einstein'la işbirliği yapan Marcel Grossman'dır.) Einstein'ın yaşamöyküsünü yazmakla yükümlü yazarın karşılaştığı en büyük zorluklardan biri onun kadınlarla olan ilişkileridir. Yaşamının çoğunda, özellikle de genç yaşlarında Einstein kadınlara çekici gelen, çok yakışıklı bir adamdı. Onunla yaşamak bir kadın için büyük bir ihtimalle hiç de kolay değildi. Einstein için önce fizik geliyordu ve bireysel ilişkiler onun kadar önemli değildi. İnsanlığı oluşturan bireylerdense, genel olarak insanlıkla daha çok ilgiliydi. Bu Einstein âşık olma yeteneğinden yoksundu demek değil. Tersine, daha sonra göreceğimiz gibi Mileva Maric'e en azından başlangıçta sırılsıklam âşıktı. Ama neredeyse bir tür vicdani rahasızlık, onu kadınlarla olan ilişkileri konusunda yaşamı boyunca tedirgin etti.

Bunun bariz bir kanıtı Einstein'ın yazdığı son mektuplardan birinde görülüyor. 18 Nisan'daki ölümünden yaklaşık bir ay kadar önce, 21 Mart 1955 tarihinde yazdığı bir mektup. Einstein'ın en yakın arkadaşı olduğu anlaşılan Michele Besso adındaki İsviçre doğumlu mühendisin oğluna ve kız kardeşine yazılmış. Bu kayda değer mektupta Einstein şöyle diyor:

Sevgili Vero ve Sayın Bayan Bice:

O çok acılı günlerinizde bana Michele'in ölümüyle ilgili o kadar çok ayrıntı vermeniz çok nazikti. Onun sonu, tüm yaşamı ve onu çevreleyen insanların onun hakkındaki izlenimiyle uyum içerisinde oldu. Onun gibi keskin zekâlı insanlar nadiren onun yaşadığı kadar ahenkli bir hayat yaşar. Ama Michele'de en çok hayran olduğum bunca yıl aynı kadınla yalnız huzur içinde değil, sürekli birlik içinde yaşayabilmiş olmasıdır; bu benim acınası bir şekilde iki kez başarısızlığa uğradığım bir şey...

Nasıl sona ermiş olursa olsun, Einstein'ın Mileva Maric'le olan ilişkisi bir aşk ilişkisi olarak başladı. Mileva 1875'te Macaristan'da doğmuştu, Einstein'dan dört yaş büyüktü. Aynı zamanda Katolikti ve bu fark Einstein ve Maric'in ailesi için önemli olmasa da Einstein'ın ailesi için çok önemliydi ve Mileva'yı sevmeme nedenlerinden biriydi. ETH'nin bir kadının Avrupa'da bilim okuyabileceği nadir yerlerden biri olması dışında, Mileva'yı Zürich'e gelip fizik okumaya iten neydi bilinmiyor. Fizik okumak günümüzde bile kadınların yaygın olarak yaptığı bir şey değil, o yüzyılın sonlarında ise kahramanlığa yakın bir adanmışlık olmalı. Einstein'la Mileva'nın ilişkisi hakkında, boşanmayla sona erdiği dışında, yıllarca hiçbir şey bilinmedi. Ama geçtiğimiz on yıl içinde, Einstein ve Mileva'nın, 1897'den başlayarak Einstein'ın ETH'ye girmesinden bir yıl sonrasına kadar birbirlerine yazdıkları mektupların tamamı bulundu ve yayımlandı.

1897 sonbaharında Einstein ve Mileva görünüşe göre iyi arkadaş olmuşlardı bile. Macaristan'daki ailesini zi-

yarete giden Mileva o yılın Ekim ayında şöyle yazıyor: "Babam sana vermem için biraz tütün verdi, küçük kanunsuz ülkemize iştahını uyandırmayı o kadar istiyor ki. [Einstein yaşamının sonlarına doğru doktoru tütün almasını yasaklayana kadar, sıkı bir pipo içicisiydi. Doktor yasağını da meslektaşlarından "otlanarak" deldi.] Ona seni anlattım; bir gün mutlaka benimle buraya gelmelisin. Burada öyle güzel sohbetler yapabilirsiniz ki! Ben çevirmen rolünü üstlenirim. Ama tütünü şimdi gönderemem, gümrük ödemek zorunda kalırsın, o zaman da hediyemle beraber bana da lanet edersin..."

Görünüşe göre Mileva Macaristan'da Einstein'ın beklediğinden daha uzun süre kaldı; hatta Einstein'ın yazdığı Şubat 1898 tarihli mektuba bakılırsa hiç dönmemiş de olabilir. Bu mektupta Einstein "Buradaki çalışmalarına devam etme niyetine çok sevindim. Eminim pişman olmayacaksın. Gördüğümüz temel derslerdeki eksiklerini görece kısa zamanda tamamlayabileceğine eminim. Tabii eğer ben hangi konuları işlediğimizi sana anlatmak zorunda kalırsam mahcup olabilirim. Düzgünce tutulmuş ve açıklamalı ders notlarını yalnızca burada bulabilirsin..." diye yazıyordu. Sonraki Ağustos ayına gelindiğinde ilişki ilerlemişti. Einstein'ın mektupları artık "Sevgili Bayan" değil "Sevgili D" diye başlıyordu ("D" Einstein'ın bir sevgi ifadesi olarak kullandığı "Doxerl" sözcüğünün kısaltması). Mektuplar Einstein'ın fizik üzerine geliştirmekte olduğu fikirleri yansıtmaya da başlamıştı.

Ekim 1898'de Einstein Mileva'yla aynı evi paylaşıyorlarmış gibi "bizim ev" diye yazıyordu. Bir yıl sonra, Einstein'ın Mileva'yla evlenmeye karar vermiş olduğu belli oluyor ve Mileva'ya bir mektubunda annesiyle arasında sık sık yaşanan kavgalardan birini anlatıyor.

Eve geliyoruz, ben doğru annemin odasına gidiyorum (yalnızca ikimiz). Önce ona sınavdan bahsetmek zorundayım [Bu Einstein'ın iyi, ama çok da parlak olmayan notlarla geçtiği ETH'nin mezuniyet sınavı. Mileva bu sınavdan iki yıl üst üste kaldı; bir daha da ETH'nin mezuniyet sınavına girmemiş gibi görünüyor.] Sonra bana oldukça masum bir şekilde "Peki, Dockerl [Doxerl'in başka bir yazılışı] ne olacak?" diye soruyor. Aynı masumiyetle "Karım olacak." diye cevap veriyorum, ama gerçek bir "olaya" hazır olarak. Hemen sonrasında şunlar oldu. Annem kendini yatağa attı, başını yastığa gömdü ve çocuk gibi ağladı. İlk şokun etkisinden kurtulunca hemen çaresiz ve saldırgan bir tona büründü: "Geleceğini mahvediyor ve yaşamdaki yolunu tıkıyorsun. O kadın mazbut bir ailenin parçası olamaz. Hamile kalırsa berbat bir duruma düşersin." Bu sefer benim de sabrım tükendi. Günah içinde yaşadığımız iddiasını bütün gücümle reddettim, annemi gerektiği gibi azarladım ve tam odayı terk etmeye hazırlanırken annemin arkadaşı, ufak tefek, hareketli, hayat dolu, en iyi türünden bir kocakarı olan Bayan Bar odaya girdi. Bunun üzerine hemen hararetle havadan, yeni kaplıca konuklarından, yaramaz çocuklardan ve benzeri konulardan konuşmaya başladık. Sonra yemeğe gittik, ardından biraz müzik yaptık. Yalnız kaldığımızda birbirimize iyi geceler dilerken aynı olay baştan başladı, ama "piu piano" [daha sessizce].

Einstein'ın yazdığına göre ertesi gün işler biraz düzelmişti: "Annem 'Eğer daha (o kadar korktuğu türden)

samimi ilişkiye girmedilerse ve beklerlerse, bir yol bulunur' demiş. Onun için bu kadar korkunç olan şey sonuna kadar beraber olmak istememiz. Beni vazgeçirme denemeleri şöyle konuşmalar üzerine kurulu: 'O sana benziyor, ama senin bir karın olmalı.' 'Sen otuz yaşına geldiğinde o yaşlı bir kocakarı olacak' vs. Ama bunların beni kızdırmak dışında bir işe yaramadığını görünce 'tedaviye' şimdilik ara verdi."

Bu mektup yazıldığı sıralarda Einstein'ın annesine Mileva'yla cinsel yakınlık kurmadıklarını söylerken yalan söylediğinden şüphelenmeye sebep yok. Mektup Temmuz 1900'de yazılmıştı. Bir buçuk yıl sonra işler kökten değişmişti. Einstein ve Mileva hâlâ evlenmemişlerdi, bunun temel nedeni Einstein'ın bir iş bulamamış olmasıydı. Ama 12 Aralık 1901'de Mileva'ya yazdığı bir mektupta Einstein onun hamile olduğunu bildiğini belli ediyor. Neredeyse öylece aklına gelivermiş gibi "Kendine iyi bak ve neşeli ol ve (Doxerl fark etmesin diye) benim gizlice Hanserl [Hans adının sevgiyle söylenişi] olarak düşünmeyi tercih ettiğim sevgili Lieserlimizin [Lise isminin sevgiyle söylenişi] varlığına sevin." diye yazıyor. Einstein bu mektubu ve daha sonraki mektupları, Mileva'nın doğum yaptığında ailesiyle beraber olmak için gittiği Macaristan'a yollamış. Einstein'ın ailesinin ve yakın arkadaşlarının, hatta Besso'nun bile durumdan haberi olduğunu gösteren bir ipucu yok. Aslında Einstein'ın yazdığı mektuplar 1980'lerin sonunda ortaya çıkana kadar, Mileva'nın ailesi dışında kimse bu konuyla ilgili bir şey bilmiyordu.

Kızları 1902'de Ocak sonu veya Şubat başında doğmuş olmalı, çünkü o yılın 4 Şubatında Einstein Mileva'ya şöyle yazıyor:

Benim canım sevgilim!

Zavallı tatlı sevgilim, bana kendin yazamadığına göre çok acı çekiyor olmalısın! Ve sevgili Lieserlimiz de dünyayı başından bu yüzüyle tanımak zorunda! Umuyorum ki mektubum eline geçtiğinde ayağa kalkmış olursun. Babanın mektubunu aldığımda korkudan aklım başımdan gitti, çünkü zaten bir sorun olduğundan şüpheleniyordum... Ama görüyorsun, senin arzuladığın gibi bir Lieserlimiz oldu. Sağlıklı mı, doğru dürüst ağlayabiliyor mu? Küçük gözleri ne renk? Hangimize daha çok benziyor? Ona kim süt veriyor? İştahlı mı? Tamamen kelmiş, öyle mi? Onu daha görmedim, ama o kadar çok seviyorum ki! Sen sağlığına tamamen kavuştuktan sonra fotoğrafı çekilemez mi? Yakın zamanda gözlerini belli bir tarafa çevirebilecek mi? Şimdi bazı gözlemler yapabilirsin. Kendim de bir kereliğine bir Lieserl yapabilmek isterdim, çok ilginç olmalı! Ağlayabiliyordur, ama gülmeyi çok sonra öğrenecek. Bunda derin bir gerçeklik var. Kendini biraz daha iyi hissettiğinde onun bir resmini yapmalısın...

Einstein'ın burada ifade ettiği duyguların içtenliğini sorgulamaya gerek yok. Ama öte yandan mektup İsviçre'den Macaristan'a yazılmış ve duyguları ne olursa olsun Einstein kendini Macaristan'a gitmek zorunda hissetmemiş. Aslında iz bırakmadan yok olmuş olan Lieserl'in bir fotoğrafını bile görmemiş olabilir. Lieserl hastalanıp öldü mü? Evlatlık olarak mı verildi? Eğer öyleyse sonra ona ne oldu? Kimse bu soruların yanıtlarını bulamadı.

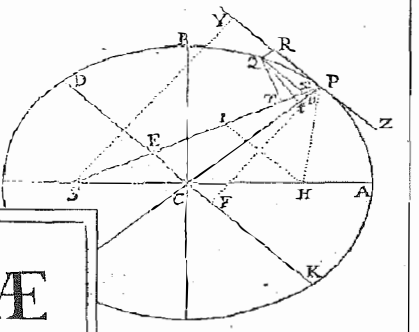
SECT. III.

De motu Corporum in Conicis Sectionibus excentricis.

Prop. XI. Prob. VI.

Revolvatur corpus in Ellipſi: Requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum Ellipſeos.

Eſto Ellipſeos ſuperioris umbilicus S. Agatur *SP* ſecans Ellipſeos tum diametrum *DK* in *E*, tum ordinatim applicatam *Qv* in *x*, & compleatur parallelogrammum *Qx*P*R*. Patet *EP* æqualem eſſe ſemiaxi majori *AC*, eo quod acta ab altero Ellipſeos umbilico H linea *HI* ipſi *EC* parallela, (ob æquales *CS*, *CH*) æquentur *ES*, *EI*, adeo ut *EP* ſemiſumma ſit ipſarum *PS*



adæquant. Ad *SP* demittatur eos latere recto principali (ſeu *QR* ad *LxPv* ut *QR* ad *Pv*; & *LxPv* ad *Gv*P ut *L* ad *Gv*; &

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.

Autore *JS. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheſeos Profeſſore *Lucaſiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Juſſu *Societatis Regiæ* ac Typis *Joſephi Streater*. Proſtat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

İsaac Newton'un 1686'da yayımlanan Principia'da öne sürdüğü bilimsel ilkeler iki yüz yıl boyunca fiziğe egemen oldu, ta ki Einstein ortaya çıkana kadar.

2.
BÖLÜM

Mucize Yıl

Fizikte ilk *annus mirabilis*, yani mucize yıl 1665'ti. Bu yıl Isaac Newton'un Londra ve Cambridge gibi kalabalık nüfuslu şehirleri kırıp geçiren veba salgınından kaçmak için Cambridge Üniversitesi'nden ayrılıp annesinin İngiltere'nin Lincolnshire kasabasındaki evine çekildiği yıldı. 24 yaşındaydı ve sonradan anımsadığı gibi "o günlerde buluş yapmak için en uygun" yaşlarındaydı ve "bir daha hiç olmadığı kadar matematik ve felsefe [doğa bilimleri] üzerinde" düşünüyordu. Newton sonraki 18 ay, gelecek 250 yıl boyunca bilimi egemenliği altına alacak olan fiziği ve onun için gerekli matematiği yarattı. Newton'un o dönemde yaptığı birçok keşif yıllar sonrasına kadar açığa çıkmadı. Newton çalışmalarının çalınmasından ve alkışları başka bir kişinin toplamasından çok korkan, ağzı sıkı bir adamdı. Sonunda 1686'da şaheseri *Principia* yayımlandı. Latince yazılmış olan ve çok karmaşık geometrik savlar içeren çok zor bir kitaptı. Yine de yeterli sayıda insan *Principia*'yı daha az bilgili insanlara Newton'un bir dünya sistemi kurmuş olduğunu açıklayabilecek kadar anladı. Birkaç temel ilkeye daya-

nan Newton yasaları evrenin bütün geçmişini ve geleceğini açıklamaya yeterli görünüyordu. Fizikçiler sonraki 250 yıl Newton sistemini geliştirmekle uğraştılar. Newton yasalarının aslında yanlış olabileceği kimsenin -en azından Einstein'a kadar- aklına gelmedi.

Eğer Newton ve Einstein bugün karşılaşsalardı birbirlerine söyleyecek ne bulurlardı? Birkaç ortak noktaları vardı. İkisi de temel buluşlarını yaklaşık aynı yaşta yaptılar. Newton 24 yaşındaydı, Einstein da "mucize yıl" 1905'te 26 yaşındaydı. İkisinin de "deha"larına ek olarak, pes etmeyi reddederek aynı probleme yıllarca odaklanma yeteneği vardı. Newton'un Ay'ın hareketleriyle ilgili yaptığı hesapları içine sindirmesi yıllar aldı. Einstein'ın sonunda Newton'un kuramının yerini alacak kuramı oluşturması on yılını -1905'ten 1915'e- aldı. Dahası, iki adam da adsız sansız insanlarken zamanlarının simgeleri oldular. Ama iki insan ancak bu kadar farklı olabilir.

Mesela din konusunu ele alalım. Einstein'ın kurumlaşmış dinle ilk karşılaşması Münih'teki Katolik okulunda oldu. O dönemde Yeni Ahit'te yazan her şeye inanarak ailesinden daha dindar hale gelmişti. Derken bilimi keşfetti. Sonra ne olduğunu özyaşamöyküsünde kendi anlatıyor: "Popüler bilim kitaplarını okudukça kısa zamanda Kitabı Mukaddes'teki hikâyelerin çoğunun doğru olamayacağı gibi bir kanıya ulaştım. Bunun sonucu, kesinlikle radikal bir özgür düşünme ve devletin yalanlarla gençleri bilerek kandırdığı şeklinde bir izlenim oldu: Bu her şeyi değiştiren bir izlenimdi. Bu deneyimin sonucunda her tür otoriteye karşı şüphem arttı, herhangi bir sosyal çevredeki kanaatlara karşı şüpheci bir tavır benimsedim. Sonraları neden sonuç ilişkilerini daha iyi kavradığım zaman, keskinliği biraz azalsa da bu tavır beni bir daha hiç terk etmedi."



İsaac Newton 1905'e kadar fiziğe egemen olacak ilkeleri biçimlendirmeye başladığı "mucize yıl"ı 1665'te yalnızca 24 yaşındaydı. 1905 de, o tarihte yalnızca 26 yaşında olan Einstein'ın kendi "mucize yıl"ıydı.

Bir başka deyişle, Einstein'ın bilimle ilişkisi onun dinsel otorite de dahil her türlü otoriteyi sorgulamasına neden oldu. Bu dindar bir insan olmadığı anlamına gelmiyor; ama belki "manevi" yanı güçlüydü demek doğru olabilir. Ünlü olduktan sonra Einstein'a sık sık Tanrı'ya inanıp inanmadığı soruldu. Bu soruyu yanıtlarken her seferinde dualarımızı dinleyen ve yanıtlayan "kişisel" Tanrıyla, evrenin düzeniyle -yani evrenin belli yasalara uyuyor gibi görünmesi olgusu ve bu yasaların insanlar tarafından anlaşılabilmesi- simgelenen Tanrı arasında ayrım yaptı. Bu ayrımın ışığında Einstein kişisel bir Tanrıya inanmıyordu, ama evrende büyük bir düzenleyici ruhun varlığına kuvvetle inanıyordu. Einstein bazen "Yaşlı Adam" diye adlandırdığı bu ruhtan sıkça bahsederdi. Sık sık fiziğin asıl işinin Yaşlı Adam'ın sırlarını keşfetmek olduğunu söylerdi; sonunda bu sırların çok basit ve evreni yöneten yasaların da çok güzel olduğunun anlaşılacağını düşünüyordu. Tanrının çirkin yasalar yapacak kadar fena olmayacağına inanırdı; bir keresinde "Tanrı kurnazdır, ama kötü niyetli değildir." demişti.

Newton'un dinsel görüşleri hem döneminin hem de kişiliğinin ürünüydü. Newton Galileo'nun öldüğü yıl, 1642'nin Noel gününde doğmuştu. Galileo yaşamının son 10 yılında, en son Floransa'nın dışındaki tepelerde bulunan kendi evinde olmak üzere İtalya'da bir tür ev hapsindeydi. Dünya'nın hareketiyle ilgili dinsel doktrin-

lere aykırı görüşlere sahip olduğu için, 1633'te Roma Katolik Kilisesi'nin Engizisyon Mahkemesi tarafından yargılanmıştı. Suçu Polonyalı gökbilimci Kopernik'in Dünya'nın Güneş'in etrafında döndüğü tezini savunan, Kitabı Mukaddes'le ters düşen kuramına inanmaktı. O dönemde insanlar, bilim adı altında böyle dinsel inançlara aykırı görüşlere sahip olmaktan dolayı hapse girebilir ya da daha kötü şeylerle karşılaşabilirlerdi. Newton'un zamanında bilimle ilgilenme özgürlüğü daha fazlaydı, ama bilimle dinin farklı konular olduğu fikri Newton'a herhalde saçma gelirdi. Newton'a göre Kitabı Mukaddes'te yazanlar kelimesi kelimesine doğruydu ve diğer tüm bilimsel gözlemler gibi bilimsel kanıt olarak kullanılabilirdi. Newton evrenin ne zaman yaratıldığını ve sonunun ne zaman sona geleceğini öğrenmek için zamanının çoğunu Kitabı Mukaddes'i inceleyerek geçirdi. Yaşam boyu süren incelemelerden sonra, Dünya'nın sonunun 2060'tan önce gelmeyeceğine karar verdi (bu kitabın birçok okuyucusu bu iddiayı bizzat doğrulayacak kadar uzun yaşayabilecek). Newton için bu tür bir kehanet de bilimdi. Onun Tanrısı evrendeki her eylemde mevcuttu, uzay ve zamandaki hareketleri ölçmek için asıl çerçeveyi oluşturuyordu. Aynı zamanda sert bir Tanrıydı ve Newton da sert bir insandı. Bilimsel çalışmalarının doruk noktasında olduğu dönemde Newton'un beş yıl yanında çalışan asistanı onu yalnızca bir kez, o da birisi kendisine geometri çalışmalarının uygulamadaki faydasını sorduğunda gülerken gördüğünü söylemişti. Newton hiç evlenmedi ve hatta kanıtlar da onun öldüğünde bakir olduğunu gösteriyor. Bu iki adamın bilim dışında konuşacak neyi olabilirdi?

Einstein'ın mucize yılı 1905'e gelmeden önce, yaşamöyküsel hikâyemizi kaldığımız yerden devam ettire-

lim. Einstein'ı 1900 yılında bıraktığımızda ETH'deki çalışmalarını bitirmiş ve bitirme sınavlarını üstün olmasa da makul notlarla geçmişti. ETH'deki profesörlerden birinin yanında asistan olarak iş bulmayı umuyordu, kariyerinin bir sonraki aşamasına doğal olarak yön verecek bir işti bu. Ama profesörlerden hiçbiri Einstein'a iş önermedi. Aslında Einstein 1902 Haziranına kadar iş bulamadı. Ancak o tarihte, deneme süresine tâbi olarak İsviçre Ulusal Patent Bürosu'na yıllık 3500 İsviçre frangı maaşla üçüncü sınıf teknik uzman olarak girdi. (Ayda 70 İsviçre frangına güzel bir oda tutulabileceği düşünülürse bu düşük bir maaş değildi.) İşe girmeden önce Einstein üniversitede geçici öğretmenlik yaparak ve ailesinden gelen, ama bir kısmını 1901'de İsviçre vatandaşlığına geçiş bedeli olarak harcadığı aylık harçlıklarla kıt kanaat geçiniyordu. Einstein'ın bir işe girmekte neden bu kadar zorlandığını Mileva Maric 1901'in sonlarında arkadaşı Helene Savic'e yazdığı bir mektupta açıklıyor. Mektupta şöyle yazıyor: "Şimdi ortam biraz duruldu, örneğin Albert'in ailesi artık ona o kadar kızgın değil. Albert'in hâlâ bir iş bulamamış olması da talihsizlik; şu anda Schaffhausen'de öğretmen olarak çalışıyor. Bu kadar bağımlıyken kendini pek iyi hissetmediğini tahmin edebilirsin. Üstelik yakın zamanda sağlam



Einstein 1905'te, Bern'deki patent bürosundaki masasında

bir iş bulması da pek olası değil; biliyorsun sevgilimin çok keskin bir dili var ve üstelik de Yahudi..."

Yahudi olmak kesinlikle bir engeldi, ama daha da kötüsü Einstein'ın ETH'deki ona yardımcı olabilecek kıdemli profesörler üzerinde bıraktığı izlenimdi. Onu ukala denebilecek bir öğrenci olarak görüyorlardı, yani derslere ara sıra devam eden ve tavırları saygılı olmayan bir öğrenci. Einstein'ın derslerde öğrenemediği fiziği kendi başına öğrenmek için ne kadar yoğun çalıştığından haberleri yoktu. ETH'de Einstein'ın öğretmenlerinden biri olan parlak matematikçi Hermann Minkowski'nin görelilik kuramını oluşturan kişinin Einstein olduğunu öğrendiğindeki tepkisi, insana bu konuda fikir verebilir. Minkowski 1908'de göreliliğin bugün de kullanılmakta olan ve dört boyutlu uzay ve zaman geometrisi içeren formülasyonunu geliştirdi. Kuramı oluşturan kişinin Einstein olduğu kendisine söylendiğinde Minkowski buna inanamadı. O Einstein'ı büyük ihtimalle önemli herhangi bir şey yapmaktan aciz "tembel bir adam" olarak hatırlıyordu.

Ekim 1902'de Hermann Einstein İtalya'da öldü ve onu izleyen Ocak ayında Albert Mileva'yla evlendi. Aynı yılın başlarında Bern'deki Olympia Akademisi'nin kurulmasına katkıda bulundu. Akademi üç üyeyle başladı ve bitti: Maurice Solovine, Conrad Habicht ve Einstein. Habicht matematik öğretmenliği eğitimi alıyordu. Solovine Einstein'la bir ilan aracılığıyla tanışmıştı. Einstein bir Bern gazetesine saati üç franktan özel fizik dersleri verdiğini söyleyen bir ilan vermişti; Solovine bu ilan için aradı. İlk derste Solovine Einstein'la kendisinin aynı felsefecilere, özellikle de bilim felsefesiyle ilgili yazanlara ilgi duyduklarını keşfetti. Felsefe ve bilim tartışmak için düzenli olarak buluşmaya

karar verdiler; Habicht de onlara katıldı. Şaka olsun diye buluşmalarını "Akademi" olarak adlandırdılar ve bu toplantılar Einstein evlendikten sonra da sürdü. Solovine'in bu toplantıları betimlemesi, özellikle de Einstein'ın doğum gününe denk gelen bir tanesini anlatması çok hoştur. Romen kökenli olan Solovine nadir bulunan ve pahalı bir yiyecek olan havyarı ailesinin evinde tatmıştı. O ve Habicht doğum gününde Einstein'ın da havyar tatması gerektiğine karar verip, ona bir miktar havyar aldılar. Ama o gece Einstein onlara Galileo hakkında bir ders anlatacaktı. Einstein dersinin konusuna kendini o kadar kaptırmıştı ki, ne yediğine dikkat bile etmeden havyarın hepsini yedi. Kendilerine hiç havyar kalmamış olsa da, hem Solovine hem Habicht başından beri Einstein'ın özel biri olduğunu biliyorlardı. Einstein'ın "mucize yıl" 1905'te yaptıklarına en az şaşıran onlar olmalı.

Akademinin önemi, Einstein'ın dikkatini Newton'un çalışmalarını tekrar incelemek için gereken akıl yürütme tarzına odaklamasını sağlamak oldu. Akademinin üç üyesinin incelediği 18. yüzyıl İskoç felsefeci David Hume veya 19. yüzyıl Avusturyalı fizikçi-felsefeci Ernst Mach Einstein'ın ihtiyaç duyduğu belirli fizik konularını bildiklerinden değil. Einstein'ın ihtiyacı olan onların şüpheci tavırları ve öncelikle Mach'ın Newton fiziğinden, en azından Newton'un formüle ettiği şekliyle, hoşnut olmamasıydı. Mach hiçbir zaman Newton fiziğinin aslında yanlış olduğunu iddia etmedi. Onu endişelendiren, Newton'un fiziğini Tanrının tek referans sistemi olduğu teolojiyle bilimi karıştırarak ifade etmesiydi. Mach bu fikirlerini 1883'te yayımlanan ve Olympia Akademisi tarafından sıkça tartışılan *Mekanik Bilimi* adlı kitabında ifade etmişti.

Bazı bilim adamları gösterdikleri gelişmeleri ya da tıkanmaları günü gününe kaydedebilmek için günlük tutarlar. Bildiğimiz kadarıyla Einstein günlük tutmadığına göre, görelilik kuramına varan adımları parçalardan yola çıkarak yeniden kurmaya çalışmak zorundayız. Bu parçalardan bir kısmını Einstein'ın kuramı oluşturduktan çok sonra anımsayıp anlattığı kişisel anılar oluşturuyor. Diğer parçalar o zamanlar yazmış olduğu, bazıları anlattığı anılarla tam olarak uyuşmayan mektuplardan oluşuyor. Ortaya çıkan sonuç Einstein'ın görelilik kuramını nasıl oluşturduğunu anlamayı zorlaştırıyor. Ama bu durum, bütün sanatsal ve bilimsel yaratılara eşlik eden "yaratıcı atılımların" kaderi gibi görünüyor. Eğer şu anda bildiklerimi bilerek Einstein'la karşılaşma şansım olsaydı ona düzinelerce soru sorardım, ama yanıtlarını aldıktan sonra bile yaratıcı süreci daha iyi anlamış olacağımı sanmıyorum.

Philipp Frank yazdığı Einstein yaşamöyküsünde Einstein'ın görelilik kuramına nasıl vardığına dair -Einstein'ın "özyaşamöyküsünde" kendisinin de anlattığı, o yüzden büyük ihtimalle Einstein'dan duymuş olduğu- bir hikâye anlatıyor. Frank'in hikâyesine göre, Einstein göreliliğe yol açan bazı temel soruları kendine 16 yaşında Aarau'da lise öğrencisiyken sormaya başladı. Bu sorular bir "düşünce deneyi" etrafında dönüyordu. Düşünce deneyleri, laboratuvarda yapma olanağı olmadığı için kafamızda yaptığımız fizik deneyleridir. Deney teknikleri sürekli geliştiği için, bazen bir kuşak için düşünce deneyi olan bir şey bir sonraki kuşakta gerçek deneye dönüşür. Bu olayda da böyle oldu.

Einstein'ın düşünce deneyi, kendisi veya başka bir cisim ışık hızında veya daha hızlı gidebilse dünyanın nasıl görüneceğini hayal etmekti. Bundan on yıl önce,

1886'da Ernst Mach ses hızından daha hızlı hareket eden -dışarıdan uygulanan bir kuvvetle harekete geçirilen- cisimlerle deneyler yapmıştı. Bu deneyler sonucunda, bir cismin hızını belirten "Mach sayıları" ortaya çıkmıştı: Havada ses hızıyla hareket eden bir cisim "Mach 1"e, bundan daha hızlı hareket eden cisimler 1'den büyük Mach sayılarına ulaşmış oluyordu. Newton fiziğine göre, bir merminin veya başka bir cismin ilkesel olarak herhangi bir hıza (ses hızı veya ışık hızı gibi ne kadar büyük olursa olsun) ulaştırılamaması için bir neden yoktu. Cismi ivmelendirmeye devam ettirmek için gereken kuvvetin sürekli sağlanması yeterliydi. Einstein da böyle düşünüyordu: Işık hızına ulaşana kadar kendini ivmelendirdiğini hayal ediyordu.

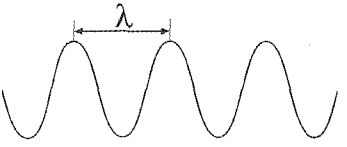
Einstein'ın "deneyinin" ışığında, hiç sallanmadan ve sarsılmadan ideal bir ray düzeneğinde ilerleyen bir trende olduğunuzu hayal edin. İçinde bir lavabo da olan bütün bir kompartımanı kapatacak kadar zengin olduğunuzu varsayalım. Hava karanlık ama siz saçınızı taramaya karar veriyorsunuz. Başınızın arkasında bir lamba ve birkaç adım ötenizde de bir ayna var. Lambayı açtığınız zaman ışık aynaya ulaşacak, oradan da gözlerinize yansıyacak ki yüzünüzü görebilesiniz. Bunun olması yalnızca bir an sürecek çünkü ışığın hızı çok yüksek. Genellikle *c* harfiyle gösterilen bu hız saniyede 299.792.458 metredir (10^8=100.000.000 iken, bunu $2{,}99792 \times 10^8$ olarak yazmak daha kolaydır). *c* ışığın boşluktaki hızıdır. Işığın boşlukta hareket edebilmesi dikkate değer bir durumdur ve sesin yayılma biçimine benzemez. Sesin yayılması için bir ortamdaki, örneğin bir davulun yüzeyindeki veya havadaki moleküllerin titreşmesi gerekir. Ses boşlukta yayılmaz. Işık, hava veya su gibi bir ortamda yayıldığında bu ortamdaki atomlarla çarpıştığı için yavaşlar. Ama

böyle bir ortamın olmadığı durumda bile ışık yayılmaya devam eder.

Düşünce deneyimize dönersek, siz saçınızı taramak için ayağa kalkmadan hemen önce makinistin motorun hızını artırarak treni ışık hızına (c) çıkardığını varsayalım. Şimdi lambayı yakıyorsunuz. Aynada yine de kendi yüzünüzü görecek misiniz? Bu Einstein'ın düşünce deneyinde kendine sorduğu sorulardan biriydi. Konuyu o zamanki genel düşünceye oturtmak bakımından ekleyelim, Einstein'ın bu soruları kendine sormaya başladığı zamanlarda fizikçilerin genel görüşü, ışığın ve sesin -kendilerini bir yerden bir yere taşıyacak bir ortama ihtiyaç duymaları bakımından- aynı şekilde iletildiğiydi. Ama yıldızların ışığının Dünya'ya boşluk gibi görünen bir ortamdan ulaştığı da bir gerçekti. Ama ışık dalgalarının boşlukta ilerlediği fikri fizikçiler tarafından kabul edilemez olduğu için tüm uzayı kaplayan bir ortam uydurdular. Bu ortama "esir" adını verdiler. Böylece, bir kibritin çakılmasının esirde dışarıya doğru ilerleyen titreşimler oluşturduğu -tıpkı bir tokmakla davula vurulduğunda oluşan titreşimler gibi- düşünülüyordu. Böyle titreşimler kaynaklarından içinde ilerledikleri ortamın yapısına göre belirlenen bir hızda uzaklaşıyorlardı. Ses örneğinde ortam ne kadar yoğunsa sesin hızı da o kadar düşük oluyordu. Böyle bir dalga yaratıldığında -en azından klasik Newton fiziğine göre- onun yanında koşmamıza, hatta onu geçmemize bir engel yoktur. Mach'ın dönemindeki Einstein öncesi fizikçiler, bunun ses kadar ışık için de geçerli olacağına inanıyorlardı. Tren örneğimize dönersek, böyle bir fizikçi, trenin tam ışık hızıyla esirin içinde ilerlediği durumda başınızın arkasındaki ampulden gelen ışığın aynanın hızına yetişemeyeceğini ve yüzünüzü göremeyeceğinizi öngörürdü. Bu düşünce

Einstein'ı rahatsız ediyordu ama o dönemde ondan başka kimseyi rahatsız etmiyor gibiydi.

Trendeki aynayla ilgili düşünce deneyimizin analizi, ışığın dalga gibi mi yoksa parçacık gibi mi davrandığına bağlı değildir. İki durumda da ışığı yakalayıp, hatta geçip yüzümüzü görmeyebiliriz. Ama Einstein'ın ikinci düşünce deneyi ışığın dalga özellikleriyle ilgiliydi. Aşağıda çok basit bir dalga görülüyor.



Şekil 5

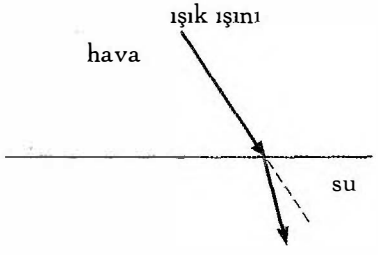
Dalga hakkındaki önemli bilgi şeklin kendini periyodik olarak tekrarlamasıdır. Dalganın izlediği yoldaki tepe noktalarından birini seçip bir sonraki tepe noktasıyla arasındaki uzaklığı ölçersek "dalga boyu" adı verilen ve Yunanca lambda harfi (λ) ile ifade edilen mesafeyi bulmuş oluruz. Dalganın bir dalga boyunu kat etmesi yani bir tepe noktasından diğerine ulaşması T zaman alıyorsa, o dalganın yayılma hızı λ/T'dir. Bunun nedeni hızın uzaklığın zamana bölünmesine eşit olmasıdır, yani:

Hız=Uzaklık/Zaman olmasıdır.

Varsayın ki şimdi dalganın yanı sıra koşmaya karar veriyorum. Eğer dalganın yayılma hızına eşit bir hızla gidersem dalganın tepe noktalarından biriyle (yani *maxi-*masıyla), çukur noktalarından biriyle ya da bu iki nokta arasındaki herhangi bir noktayla aynı hızda koşabilirim. Ama bunu yaparsam artık dalga bana dalga gibi görünmez. Bana yalnızca sabit büyüklükte bir uyarılma gibi görünür ve yanımdan periyodik olarak bir şey geçmediği için dalga özelliklerini gözlemleyemem. Bu gerçekleştiği zaman dalganın hızında hareket ettiğimi anlarım, tıpkı ayna örneğinde artık kendi yüzünüzü göremediğiniz-

IŞIK KURAMININ KISA BİR TARİHÇESİ

17. yüzyılın ikinci yarısında fizik alanında nüfuzu olan iki kuramsal fizikçi vardı: Isaac Newton ve ondan biraz daha yaşlı olan Hollandalı fizikçi ve gökbilimci Christiaan Huygens. Huygens ışığın dalga olarak yayıldığına inanıyordu. İki dalga karşılaşınca, özelliklerini etkileşen bu iki dalgadan alan bir dalga oluşturur. Kesişen dalgaların yüksek olduğu durumlarda, sonuçta oluşan dalga daha da yüksek olur. Öte yandan, bir dalganın çukuru diğerinin tepe noktasıyla örtüşüyorsa bunun olduğu noktalarda iki dalga birbirini yok eder; bu olguya *yok edici girişim* denir. Bu olguyu bir havuza bilyeler atıp dalgaların birbirleriyle nasıl çarpıştığını ve birbirlerinin içinden geçerken şekillerini nasıl değiştirdiklerini izleyerek gözlemleyebiliriz. Huygens ışığın gözlenen özelliklerini, örneğin suyun içinden geçerken sapmasını (ışığın "kırılması") ışık dalgalarının oluşturduğu etkiler olarak açıklamayı önerdi.



Şekil 6

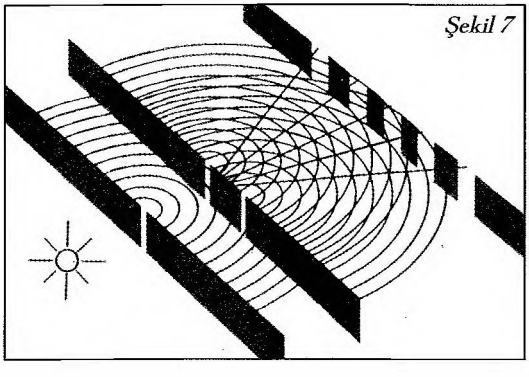
Newton'un ışık hakkındaki görüşleri daha karmaşıktı. O bir "atomcuydu." *Opticks* adındaki ışıkla ilgili kitabında "Tanrının başlangıçta maddeyi katı, kütleli, içine girilemez, hareketli ve hiçbir zaman aşınmayacak ve kırılmayacak kadar sert parçacıklardan yaratmış olması bana olası geliyor; Tanrının ilk Yaratılışta tek olarak yarattığını hiçbir sıradan güç bölemez." diye yazmıştı. O halde Newton'un ışığın da parçacıklardan oluştuğunu düşünmesi doğal olacaktı. Ama ışığın parçacık kuramını savunmayı zorlaştıran bazı olgular vardı. Newton bunlardan biri olan Newton halkalarını, yani sabun köpüğünde veya kaldırımdaki yağ damlalarında görülen gökkuşaklarını inceledi. Parçacıkların yayılması kuramı bu olguları açıklayamıyordu; nitekim Newton da *Opticks*'te yansıma ve kırılma örüntülerinden bahsediyordu, ki bu da dalga yayılması kavramına benziyordu. Ama Newton ışığın parçacıkların yol alacağı şekilde, düz çizgiler halinde yayıldığını da kabul ediyordu. Dolayısıyla Newton ışığın hem dalga

hem parçacık özelliği taşıdığını söylüyor gibiydi. Bu, ileride göreceğimiz gibi Einstein'ın 1905'te yaptığı diğer buluşun, ışığın dalga olduğu gibi parçacık da olduğu buluşunun temelindeki fikirdi.

Newton'un takipçileri bu ince ayrımları kavrayamadılar ve ışığın parçacık kuramını desteklemeyi sürdürdüler. Bu nedenle 19. yüzyılın başında birbirlerine karşı duran dalga kuramcıları ve parçacık kuramcıları vardı. Ama kısa süre sonra sorun kesinlikle dalga kuramının lehine sonuçlanmış gibi oldu. Bu kuramı güçlendiren ilk deneyler İngiliz dâhi Thomas Young'un çalışmalarıydı. 1773'te doğan Young iki yaşındayken okumayı öğrendi; altı yaşına geldiğinde Kitabı Mukaddes'i baştan sona iki kez okumuş ve Latince öğrenmeye başlamıştı. İleriki yaşamında Mısır hiyerogliflerinin çözümüne büyük katkılarda bulundu. Young 1800'de ışığın yapısıyla ilgili ilk makalesini yayımladı. Işık dalgalarının "üst üste binerek" birleştiklerini ilk öne süren oydu. Huygens bunun yalnızca sınırlı durumlarda böyle olduğunu iddia etmişti. Young bu fikirleri fizikte yapılmış en ünlü deneylerden birine uyguladı. Bu deney "kırılma" olgusu hakkındaydı.

Bir perdenin üzerine birkaç milimetre aralıkla iki delik delip uzaktaki bir kaynaktan perdeye ışık gelmesini sağlayarak kırınımı gösterebiliriz.

Eğer ilk perdenin arkasına deliklerden geçen ışıkla aydınlanacak şekilde ikinci bir perde koyarsak, ilk perdedeki delikler büyük olduğu zaman bu perdede iki ışık lekesi belirir. İlk perdedeki delikler küçültülünce doğal olarak ikinci perdedeki görüntülerinin de küçülmesini bekleriz. Işık parçacıklarının düz çizgiler halinde yol aldığını varsayarak, ikinci perdedeki ışık lekelerinin ne kadar küçüleceğini tahmin edebiliriz. Başta beklenen olur, ama Young ilk perdedeki delikler yeterince küçültüldüğü zaman ikinci perdedeki ışık lekelerinin aslında *büyüdüğünü* gösterdi!


Şekil 7

Bu sonuç, düz çizgiler halinde hareket eden parçacıklardan oluşan ışık kavramına göre tamamen anlaşılmaz görünüyor; çünkü o zaman birinci perdedeki deliklerle aynı büyüklükte ışık lekeleri oluşması beklenir. Işık lekesinin büyümesi, ışığın bir kısmının birinci

perdedeki delikten geçerken bir anlamda "köşe dönmesi" demek oluyor; bir dalga için olası ama düz çizgiler halinde hareket eden parçacıklar için görünüşte imkânsız bir durum. İki delik biraz daha küçültülünce parçacık kavramına göre daha da anlaşılmaz bir şey olur. Işık lekeleri üst üste biner ve ince siyah şeritlerle kesilir. Young bu sonuçların ışık dalgalarının girişiminden kaynaklandığını söyledi.

Young'un çalışmalarını Fransız fizikçi Augustin-Jean Fresnel'in yaptığı daha da kesin deneyler takip etti. Einstein'ın bu fikirlerle tanıştığı dönemde, ışığın bir dalga olgusu olduğu konusunda kimsenin aklında bir şüphe kalmamıştı. Nitekim 1868'de James Clerk Maxwell ışığın, kuvveti periyodik olarak değişen elektromanyetik bir dalga olduğunu -elektriksel bir kuvvetle manyetik bir kuvvetin bileşimi olduğunu- gösterdiği "Işığın Elektromanyetizma Kuramı Üzerine Bir Not" adlı bir makale yayımladı. Maxwell bu elektromanyetik dalgaların esirin içinde titreştiğini-yani aşağıya ve yukarıya doğru hareket ederken ileriye doğru yol aldığını düşünüyordu. 1896'da Aaru'da lisedeyken Einstein'ın aklındaki ışık tanımı buydu.

de ışık hızıyla hareket ettiğinizi anladığınız gibi. Peki bu Einstein'ı neden rahatsız ediyordu? Görelilik kuramını bulduktan elli yıl sonra özyaşamöyküsünde Einstein dalga örneğini anımsıyor ve ondan bir "paradoks" -kendi kendisini yalanlayan bir ifade- olarak bahsediyor. Göreliliği ilk olarak işte bu paradoksta göreceğiz.

Fizikte görelilik fikri, o zamanlar böyle adlandırılmasa da, 17. yüzyılda Galileo'ya dayanan bir tarihe sahiptir. Galileo'nun Kopernik kuramını savunurken karşılaştığı sorulardan biri, eğer Dünya gerçekten dönüyorsa kuşların neden her yerden havalanışlarında Dünya'dan geride kalmadıklarıydı. Bu soruyu yanıtlamak için Galileo şu deneyi yaptığını savundu. O zamanlar, bir liman olduğu için teknelerin yaygın olduğu Venedik'te yaşıyordu. Galileo hızla hareket eden bir geminin direğinden ağırlıklar bıraktığını söyledi. Bu ağırlıkların direğin hemen dibine mi düştüğünü, yoksa Kopernik karşıtlarının iddia ettiği gibi geride mi kaldıklarını görebiliyordu. Sonradan ağırlıkların -deneyi yapmadan önce bile emin olduğu üzere- gemi direğinin dibine düştüğünü yazdı. Neden bu kadar emindi? Hepimiz kendi deneyimlerimizden, bir taşıt sabit hızla ilerliyorsa o taşıtın içinde tüm faaliyetlerimizi taşıt dururken olduğu gibi sürdürebildiğimizi biliyoruz. Hatta aslında aracımızın durduğunu, yerin onun altında hareket ettiğini düşünebiliriz. Galileo'nun gemi deneyinde geminin hareketsiz olduğunu, denizin geminin altında sabit bir hızda hareket ettiğini düşünebiliriz. Bu açıdan bakıldığında, direkten bırakılan ağırlıkların gemi hareket etmediğinde olacağı gibi direğin dibine düşmesi şaşırtıcı değil. "Görelilik" sözcüğü burada devreye giriyor, çünkü ancak geminin ve denizin göreli hareketlerinin bir anlamı var. Geminin hareketsiz, denizin hareketli olduğunu veya gemi-

nin hareketli, denizin hareketsiz olduğunu düşünebiliriz. İki durum da tamamen aynı. Önemli olan ikisinden birinin diğerine göre göreli olarak hareket etmesi. Eğer geminin ambarına inip lombozdan dışarı bakmazsak, ivmelenme olmadığı yani sabit hızda gittiğimiz sürece, hareket edip etmediğimizi anlayamayız. Okyanusun ortasında duruyor veya hiç sarsıntısız ilerliyor olabiliriz. Aşağıda, ambardayken farkı ayırt edemeyiz.

Şimdi Einstein'ı neyin rahatsız ettiği konusunda bir fikir edinmeye başlıyoruz. Galileo'ya atfen Galileo görelilik ilkesi adı verilen görelilik ilkesi, Newton'un hareket kuramına dahildir. Bu kuram kuvvetlerin -Newton'un F'nin kuvvet, m'nin ivmelenen cismin kütlesi ve a'nın ivme olduğu meşhur F=ma yasasına göre- ivmeyi yarattığını söyleyen kuramdır. Bu yasanın bir sonucu, kütleçekimi gibi kuvvetler için, duran bir cisimle sabit hızla ilerleyen bir cisim arasındaki farkın toplar fırlatarak veya yere cisimler atarak bulunamayacağıdır. Tren örneğimize dönersek, kompartımanımda bir bilardo masası kurup bilardo oynayabilirim, ama hızlanmadığı ve yavaşlamadığı müddetçe trenin hareket halinde olduğunu anlamam. Özellikle de kompartımanımın içinde, perdeleri kapatarak, raylara göre ne kadar hızla ilerlediğimizi gösterecek mekanik bir deney yapamam. Görelilik açısından tren hiç hareket etmiyor. Raylar hareket ediyor.

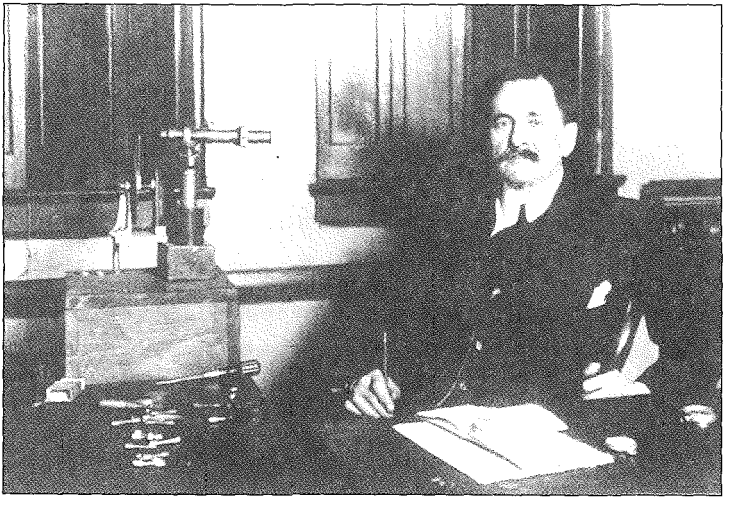
Peki ya ışıkla ilgili deneyler? Tabii ki gerçek trenler ışık hızıyla hareket edemez. Ama Einstein'ın düşünce deneyinde edebilirler. Şimdi Einstein'ın düşünce deneyini ışık için yapabiliriz. Ama bakın, görelilik ilkesine uymuyora benziyor! Eğer aynada yüzümü göremiyorsam ışık hızında ilerliyorum diyebilirim. Pencereden dışarıya, raylara bakmama gerek yoktur. Perdeleri kapalı tutup hızımı tahmin edebilirim. Einstein bunun onu çok

rahatsız ettiğini anımsıyor. Özyaşamöyküsünde "İnsan bu paradoksta özel görelilik kuramının tohumlarını görebilir." diye yazıyordu.

Olayı şöyle ele alabiliriz. Newton'un hareket yasaları ışık hızıyla hareket edebilmemize izin veriyor. Ama ışık hızıyla hareket edebiliyor olsak, ışıkla ilgili görelilik ilkesini alt üst eden bir deney -en azından bir düşünce deneyi- yapabilirdik. Demek ki, hem Newton hareket yasalarına hem görelilik ilkesine sahip olamayız. Birinin değişmesi gerekiyor. Einstein bu ikilemin temellerini 16 yaşında anlamış olduğunu iddia ediyor. Dahası, doğru olanın görelilik ilkesi olduğunun kendisi için "sezgisel olarak aşikâr" olduğunu söylüyor. İki yüzyıldır doğruluğu sorgulanmamış olan Newton mekaniğinin yanlış olması gerektiğini düşünüyormuş yani! Bu kadar radikal fikirleri olan Einstein'ın kendisini dinleyen herkese bunları anlatmış olacağını düşünüyor insan. Aslında Einstein'ı dinlemekten son derece memnun olacak en azından bir kişi vardı, dayısı Caesar Koch. Bu dayı Einstein'la özel olarak ilgilenmişe benziyor. Bahsettiğimiz zamanda, 1895 yazında Einstein dayısına bir araştırma önerisine benzeyen bir belge de eklediği bir mektup göndermişti. Esirin özelliklerini araştırmakla ilgili bir şeydi. Bu yazıda Einstein ışığın sanki bir ses dalgasıymışçasına hava gibi esnek bir ortamda iletildiğini düşündüğünü söylüyor. Bu belgeyi 19. yüzyıldaki herhangi bir geleneksel fizikçi de yazmış olabilirdi. Göreliliğin ışık hızına uygulanışının Newton mekaniğine nasıl bir paradoks getirdiğine dair tek sözcük içermiyor. Bu çok şaşırtıcı, çünkü tam da Einstein'ın sonradan, yani esir kuramıyla ilgili şüphelere -daha önce değindiğimiz paradokslar- kapılmaya başladığını iddia ettiği döneme denk geliyor.

Göreliliğin bulunmasıyla ilgili bir başka gizem de Einstein'ın neyi ne kadar bildiği sorusuyla ilişkili. O günlerde bu konuları düşünen tek insan o değildi. Diğer çalışmalar hakkında ne biliyordu? Biliyor olabileceği en önemli çalışma fizik tarihindeki en ünlü deneylerden biri olan Michelson-Morley deneyi olabilir. 1887'de Amerikalı fizikçi Albert Michelson'un kimyager Edward Morley'in desteğiyle gerçekleştirdiği deney, Dünya'nın esir içindeki hareketinin ışık hızı üzerindeki etkisini ölçme girişimiydi. Einstein'ın insanın kendini hızla hareket eden bir trendeki aynada görmeye çalışması şeklindeki düşünce deneyinin çok karmaşık bir uyarlamasıydı; tabii Michelson ve Morley o zamanlar sekiz yaşında olan Einstein'ın adını hiç duymamışlardı.

Diğer yandan Einstein'ın Michelson-Morley deneyinden ne kadar haberi vardı? Bu bilim tarihçileri arasında hâlâ bir tartışma konusudur. Einstein'ın kendisi bu konuda bize biraz yardımcı olabiliyor, ama çok da değil. Farklı zamanlarda Michelson'un çalışmalarını duyduğunu, duymadığını, duymuş olsa bile bunun bir önemi olmadığını söylemiş. Her durumda Einstein'ın



1887'de Amerikalı fizikçi Albert Michelson (sağda), kimyacı Edward Morley'in desteğiyle Dünya'nın hareketinin ışık hızı üzerindeki etkisini ölçmek için karmaşık bir deney yaptı. Michelson'un vardığı sonuçlar Einstein'ın görelilik kuramına katkıda bulundu.

1905'teki görelilik kuramıyla ilgili makalesinde bu çalışmaya atıf yok. Ölümünden kısa süre önce yazdığı bir mektupta "Benim kendi geliştirdiğim kuramda Michelson'un sonuçlarının önemli bir etkisi olmadı." diyor. Peki neden?

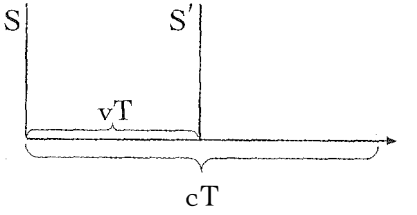
Michelson-Morley deneyinde Dünya'yı sabit hızda hareket ediyor sayabiliriz. Dünya'nın saniyede 30 kilometre hızla Güneş çevresinde döndüğünün farkında değiliz. Dolayısıyla bizim bakış açımızdan Michelson'un düzeneği hareketsizdir. Ama eğer görelilik ilkesine inanıyorsak, Michelson deneyi ya da başka herhangi bir deney sabit hızdaki bir hareketin esirdeki etkilerini ölçemez; yalnızca görelilik ilkesi lehine deneysel bir kanıt sunabilir. Ama Einstein ilkenin doğru olduğuna baştan inandığı için böyle bir kanıta ihtiyacı yoktu. Ona göre asıl sorunlar başka yerlerde yatıyordu.

Eğer Einstein görelilik kuramına yol açan paradoksların farkına 16 yaşındayken vardıysa neden kuramı 10 yıl sonrasına kadar oluşturamadı? Bunun yanıtı, zamanın yapısını incelemesinin 10 yıl sürmüş olmasıdır.

Bu konuda düşünürsek iki tür zaman olduğunu fark ederiz. Bir yaşlanma hissimiz gibi şeyleri kapsayan "öznel zaman" vardır, bir de "nesnel zaman" diyebileceğimiz ve saatlerle ölçülen zaman vardır. Saat kullanarak bir dizi olayın zamanını belirleyip sıralarını verebildiğimize göre, bu iki zaman bağlantılıdır. Bu konularla ilgili birbirimize bir şeyler aktarabildiğimize göre, en azından bir dereceye kadar hepimizin ortak bir zaman kavramı var. Bu ortak zaman kavramı ilk kez Newton tarafından ifade edilen bir "mutlak zaman" ilkesi olarak ifade edilebilir. *Principia*'da Newton "Mutlak, doğru ve matematiksel zaman kendiliğinden ve yapısı gereği hiçbir dış etkiden etkilenmeden aynı şekilde akar ve diğer

bir adı da süredir." der. Ne kadar anlaşılması güç görünse de bu mutlak zaman tanımının önemli sonuçları vardır ve bunlardan biri Newton fiziğine göre insanın ışık dalgasıyla aynı hızda gitmesine olanak vermesidir.

Bunu anlamak için 8. şekli ele alalım.



Şekil 8

Einstein'ın zamanından önceki bir fizikçinin bir ışık dalgasıyla aynı hızda gitmenin mümkün olduğunu nasıl iddia edebileceğini anlamak için 8. şekle bakalım. S diyeceğimiz hareketsiz bir gözlemci var. Bu gözlemci bir ışık dalgası yolluyor. Bu gözlemciye göre bu dalga T zamanda cT uzaklığını kat ediyor. Ama bir de hareket halinde bir gözlemcimiz var, yani S'nin hareket halinde olarak gördüğü bir gözlemci. Bu gözlemciye de S′ diyelim. T zamanı boyunca, bu gözlemci sağa doğru vT kadar ilerliyor. Dolayısıyla, bu gözlemciye göre, aynı noktaya ulaşmak için ışığın yalnızca cT-vT=T(c-v) kadar ilerlemesi gerekiyor. Einstein öncesi bir fizikçiye göre, hareket halindeki bu gözlemci için ışığın hızı sadece c-v olurdu. Eğer bu gözlemci c hızıyla ilerleseydi ışık dalgasına yetişebilirdi. Eğer c-v ifadesine v=c'yi eklerseniz sıfır elde edersiniz, bu da ışığa yetiştiğinizi gösterir. Ama buraya bir varsayım "sıkıştırılmış" durumda. İki gözlemcinin de T zamanla ne kastedildiği konusunda hemfikir olduğunu varsayıyoruz. Eğer bu varsayımdan vazgeçilirse, c hızıyla hareket eden gözlemcinin ışık dalgasına yetişebileceği sonucuna varamayız. Hızlar Newton'un iddia ettiği şekilde toplanamaz. İşte Einstein bu

varsayımdan vazgeçti. Bunu yaparkenki mantığını dikkatle incelemeliyiz.

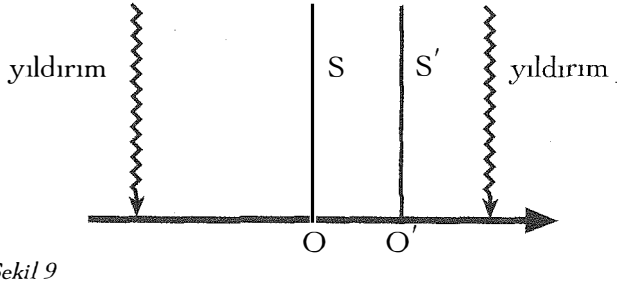
Einstein çalışmalarıyla ilgili bir günlük tutmadığı için, görelilik kuramına varan günlük veya yıllık gelişmeleri bilmiyoruz. Mileva'ya yazdığı mektuplar bir şey üzerinde çalışmakta olduğuna dair küçük ipuçları veriyor, ama atıfların çoğu 1905'ten sonra Einstein'ın düşüncesinden çıkan esire de değinmeler içeriyor. Görünüşe göre Einstein görelilik kuramına son halini 1905 baharında hızla vermiş gibi. Bu konudaki makalesini Haziran 1905'te yazmıştı, ondan beş veya altı hafta öncesine kadar kuramın aklında tam olarak belirmemiş olması yüksek bir olasılık.

Einstein bu son gelişmenin, o bahar arkadaşı Michele Besso'ya yaptığı bir ziyarete denk geldiğini söylüyor. Besso 1904'ten beri Bern'deki patent bürosunda çalışıyordu; iki adam ve aileleri sık sık görüşüyorlardı. Einstein ileride, birkaç fikrini tartışmak için mükemmel bir denek olan Besso'nun evine gittiğini anlatacaktı. Einstein birden her şeyi anladı. Zaman hıza bağlıydı!

Einstein'ın kavrayışının temelinde, kesin bir zaman anlayışının kesin bir eşzamanlılık kavramına bağlı olduğunu anlaması yatıyordu. 1905 tarihli makalesinin başında şöyle yazıyordu: "Zamanla ilgili tüm yargılarımızın aslında *eşzamanlı olayların* yargısı olduğunu hesaba katmamız gerekiyor. Mesela 'tren saat 7'de buraya varıyor' derken aslında şöyle bir şey demek istiyorum: 'Saatimin akrebinin 7'yi göstermesiyle trenin varışı eşzamanlı olaylar.' "

Eğer iki olay uzayda aynı yerde gerçekleşirse, bu olayların eşzamanlı olmasının ne anlama geldiği konusunda sezgisel bir anlayışımız vardır. Zorluk birbirinden uzak noktalarda olan iki olayın eşzamanlı olmasının

ne anlama geldiğini sorunca başlıyor. Böyle bir durumda, bu iki olayın eşzamanlı olarak gerçekleştiğini nasıl biliyoruz? Eğer ışığın hızı çok yüksek olmasaydı da sonsuz olsaydı sorunumuz olmazdı, çünkü olayları olurken "görebilir" ve gözlemimizi yakınımızdaki herhangi bir saatin gösterdiği sayıyla karşılaştırabilirdik. Newton ve takipçileri dolaylı olarak ışık hızının sonsuz olduğunu varsaymışlar ve bu konuyu hiç dikkatlice düşünmemişlerdi. Bunun ortaya çıkardığı konuları anlamak için Einstein'ın çok sevdiği, raylarda sabit bir hızda ilerleyen trenle ilgili örneği ele alalım. Burada trendeki gözlemciyi S′, raylara bağlanmış gözlemciyi de S olarak adlandıralım. Şimdi ortadaki bir gözlemciye eşit uzaklıktaki iki noktada raylara yıldırım düştüğünü düşünelim.



Şekil 9

Bu iki yıldırım açısından düştükleri noktalara *eşzamanlı* olarak düşmek ne demektir? Şöyle bir durum düşünebiliriz. Rayların kenarında gözlemcilerimiz var; bunlardan biri bir yıldırımın düşüşünü kaydettiği anda Şekil 9'da gösterilen O merkez noktasındaki gözlemciye bir işaret ışığı gönderiyor. Eğer iki işaret O'ya aynı anda gelirse iki yıldırımın gözlemcilerin bulunduğu noktalara eşzamanlı olarak düştüğü sonucuna ulaşabiliriz. Aslında bunu birbirinden uzak iki olayın eşzamanlı olması derken ne kastettiğimizin tanımı olarak kabul edebiliriz. Şu ana kadar bir zorluk yok.

Peki O′′deki -S′ koordinatlarının orijinindeki- gözlemci ne gözlemleyecek? Bu aşamada O′′deki gözlemcinin, S sistemindeki sabit gözlemciye göre göreli hareketini hesaba katmalıyız. O′′deki gözlemci sağdan gelen ışığa doğru ve soldan gelen ışıktan uzağa hareket ediyor. Bu nedenle bu iki ışık demetinin O′′ye ulaşana kadar kat ettikleri mesafe farklı. Sağdan gelen demet O′′ye soldan gelen demete göre daha kısa bir mesafe kat ederek ulaşıyor. Bu yüzden iki ışık O′′ye aynı anda ulaşmayacak. O′′deki gözlemci, belki de kilometrelerce öteye düşmüş olan yıldırımları "göremediği" için eşzamanlı olarak düşmedikleri sonucuna varmak zorunda kalacak. Aslında O′′deki gözlemci gayet mantıklı olarak, sağ tarafa düşen yıldırımın sola düşenden daha önce düştüğü sonucuna varacak. Buna bağlı olarak, O'daki ve O′′deki gözlemciler bu yıldırımların düştüğü zamanı tanımlarken anlaşmazlığa düşecekler. O'daki gözlemci ikisinin de mesela öğlen düştüğünü söylerken, ikinci gözlemci kendi saatine göre soldaki yıldırımın 12'den bir saniye sonra düştüğünü, sağdaki yıldırımın da 12'ye bir saniye kala düştüğünü söyleyecek. Hangisi haklı peki?

Bu durumda iki gözlemci de haklı. Saatlerin kaçı gösterdiği, S sisteminden mi yoksa S′ sisteminden mi bahsettiğinize göre değişir. Newtoncu fizikçiler de benzer bir sav öne sürebilecekleri halde bunu yapmadılar; ama Einstein'dan önceki birkaç fizikçi zamanın yapısının tekrar düşünülmesi gerektiği konusunda bazı genel yorumlar yapmıştı. Bu mantıkla düşünen bir Newtoncu, yıldırımların O′′ye farklı zamanlarda ulaşmasının bir nedenini daha bulabilirdi. Tren sağdaki yıldırımın düşmesiyle gönderilen işaret ışığına doğru hareket ettiği sırada, O′′deki bir gözlemci ışık hızını c+v olarak, tren işaret ışığından uzaklaşırken ise c-v olarak tanımlardı.

Ama yeni zaman çözümlememizle, bir ışık dalgasıyla bir cismin hızlarının bu şekilde toplanacağını varsaymak zorunda değiliz. Sabit hızlar için $v'=x'/T'$. Ama artık T ve T''nün aynı şey olmadığını biliyoruz, bu yüzden $v'=x'/T$ yazamayız. Hız zamandaki farklılıklara göre değişebilir. Zaman aralıkları, hareketsiz duran ve hareket eden gözlemciler için aynı değildir, bu da hızları etkiler.

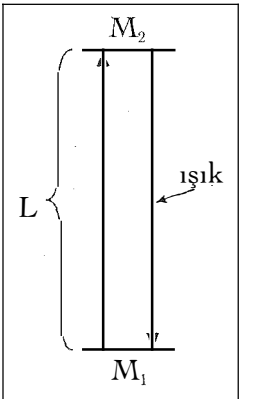
Bu noktada, Einstein görelilik ilkesinden bile daha cüretkâr bir varsayımda bulundu. S'de ve S''de ışığın hızının aynı olduğunu varsaydı. Işık demetinden uzaklaşıyor veya ona yaklaşıyor olmanız fark etmez, onun hızıyla sizin hızınızın toplamı hep aynı olacaktır. Bunu iyice kavramak için bir dakika düşünmeliyiz. Bu çok radikal bir varsayımdır. Durumu gözünüzde canlandırmak için, bir yıldızdan gelen ışığın yarı hızıyla o yıldıza doğru gitmekte olan bir uzay gemisinde olduğunuzu farz edin. Yıldızdan gelen ışık size doğru hangi hızda geliyor? Yanıt c'dir! Eğer uzay geminizin hızını ışık hızının dörtte üçüne çıkarırsanız yanıt yine c olur. Bu Einstein'ın "sabitlik ilkesi" olarak adlandırdığı şeydir. Bu ilke, zamanın mutlak olduğunu yani $T=T'$ olduğunu varsayan hızları toplama yasamıza uymuyor. Ama artık T ve T''nün aynı olmadığını bildiğimize göre, ışık hızının sabitliği gibi yeni yasalar geçerli olabilir.

Einstein görelilik konusundaki makalesinde sabitlik ilkesini açıkladığında bunun doğrudan bir deneysel kanıtı yoktu. Kimse daha önce dikkat etmemişti, ama bu aslında Maxwell'in elektromanyetizma kuramının bir özelliğiydi. Maxwell'in kuramıyla Newton'un kuramı çeliştiğinde, Einstein Maxwell'i tercih etti.

Şimdiye kadar gördüklerimiz, sizi zamanı hızın bir fonksiyonu olarak düşünmenin çılgınca bir şey olmadığına ikna etmiş olmalı. Peki zaman hıza tam olarak na-

sıl bağımlıdır? Makalesinde Einstein bunu herhangi bir tür saatten bahsetmeden ele alıyor. Ona göre saat, periyodik davranış gösteren herhangi bir sistemdir. Bu bir sarkacın ileri geri sallanması da olabilir, bir atomun titreşmesi de. Mekanizması kolay incelenen bir tür saat düşünelim. Bu gerçek bir saat değil de "düşünsel" bir saat.

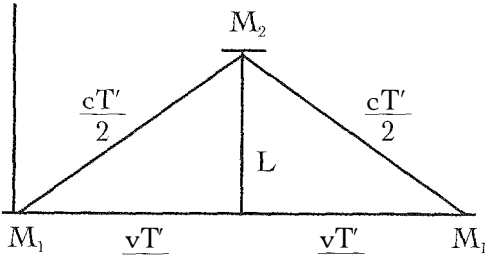
İki ayna alıp bunları Şekil 10'da gösterildiği gibi yerleştirdiğimizi düşünelim.



Şekil 10

İki ayna arasındaki uzaklık L ise, ışık saatinin bir aynadan ötekine ve sonra tekrar ilkine gitmesi T=2L/c kadar sürer. Bu ışık saatinin hareketsiz durumdaykenki normal periyodudur. Saatin bir "tik"i 2L/c'dir. Ama şimdi "saati" v hızıyla sağa doğru harekete geçiriyorum. Sonraki sayfadaki şekil (Şekil 11) ışığın izlediği yolun S'deki, yani "hareketsiz sistem"deki gözlemciye şimdi nasıl göründüğünü gösteriyor.

Bu sistemde ışığın saate gidip gelirken izlediği yolun üçgen olduğunu görüyoruz. Bahsettiğimiz üçgenlerin kenarlarının uzunluklarını şekilde belirttim. Hareket halindeki saatin S'deki sabit gözlemci tarafından ölçülen periyodunu T′ olarak adlandırdım. T′'nün ne olduğunu daha bilmiyoruz, ama bu sürede saat sağa doğru vT′ kadar bir mesafe gitmiş olacak. Bu da üçgenlerin tabanlarına verilmiş olan uzunlukları açıklıyor. Üçgenin yüksekliğine L uzunluğunu verirken, ışık saatinin herhangi bir üçgenin kenar uzunluğuna etkisi olacaksa yalnızca hareket yönünde olacağını varsaymış olduk. Bu mantıklı görünüyor, ama yalnızca uygun denklemleri çı-



Şekil 11

karıp deneylerle sınarsak kanıtlanabilir. Diğer kenarları vT′/2 ve L olan üçgenin hipotenüsüne cT′/2 uzunluğu verildi. Bunu yaparken sabitlik ilkesine, yani ışık hızının (c) tüm gözlemciler için aynı değere sahip olması ilkesine uydum. Şimdi bu nicelikleri ilişkilendirmek için Pythagoras teoremini kullanabiliriz:

$$\frac{c^2T'^2}{4} = L^2 + \frac{v^2T'^2}{4}$$

Önceden olduğu gibi T=2L/c olduğu durumda, verilen denklemi T′ için çözersek:

$$T' = 2\frac{L}{C} \times \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{T}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

elde ederiz. Bu noktada $1/\sqrt{(1-(v/c)^2)}$ çarpanının dikkatlice incelenmesi faydalı olur.

Eğer v/c değerlerine ışık hızının yarısı veya onda dokuzu gibi sayısal birkaç değer verirsek ve 1'i bunun kare köküne bölersek sonucun her zaman 1'den büyük olduğunu görürüz. Bir başka deyişle, T′ her zaman T'den büyüktür. v hızı c'ye yaklaştıkça T ile T′ arasındaki fark daha da artar. Bu, fizikçilerin "zamanın genişlemesi" dedikleri şeydir. Hareket halindeki saatler hareketsiz duran saatlerden daha yavaştır. İşte bu anlamda zaman hızın bir fonksiyonudur.

Bu o kadar garip bir kavram ki hakkındaki bazı yanlış anlamaları açıklığa kavuşturmak önemli. Bunların ilki S''nün hareket halindeki sistem veya gözlemci olarak görülmesi gerekmediğidir. S''deki gözlemcinin kendisinin hareketsiz durduğunu, S'deki gözlemcinin geriye doğru hareket ettiğini iddia etmeye hakkı var. S''deki gözlemci üçgenleri de aynı mantıkla değerlendirip S'deki saatlerin yavaş işlediği sonucuna varabilir. Göreliliğin doğası gereği, önemli olan tek şey göreli harekettir. Bana göre hareket halinde olan bir saat geri kalacaktır, size göre hareket halinde olan bir saat de geri kalacaktır. Einstein'ın öngördüğü budur. İkinci bir yanlış anlama da bu geri kalmanın saatin düzeneğiyle ilgili bir şey olduğu görüşüdür. Belki saati hareket ettirerek bir şekilde sarstık ve yavaş çalışmasına neden olduk. Ama saati bir direğe bağlayıp yanından koşup geçersek, gayet mantıklı bir şekilde kendimizi hareketsiz ve saati hareket halinde sayabiliriz. Bize göre, bu saat taşıdığımız saate göre daha yavaş çalışacaktır. Einstein'la ondan öncekiler arasındaki büyük fark, onların böyle etkileri açıklamak için saat düzeneklerine bakması, Einstein'ın ise bu etkilerin düzeneklerle değil de zamanı nasıl ölçtüğümüzle ilgili olduğunu göstermesiydi.

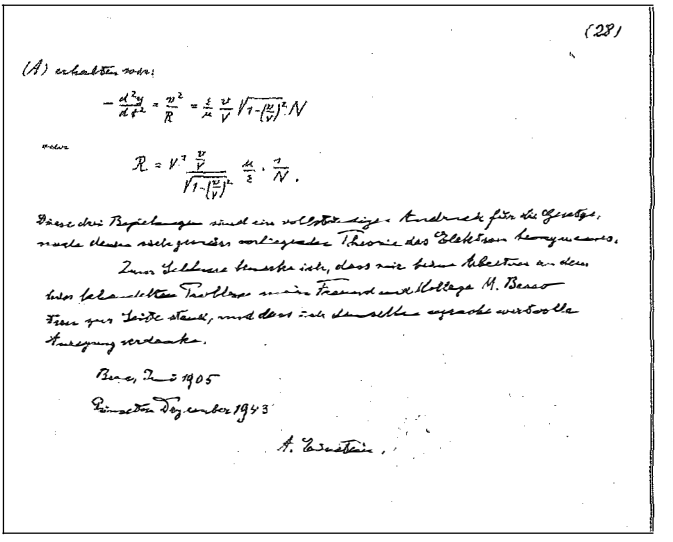
Einstein'ın 1905 tarihli makalesinde zamanın yapısıyla ilgili vardığı bu sonuçları doğrudan sınamanın bir yolu yoktu. Ama Einstein gerçek bir deneydense, daha çok bir şaka olarak ortaya atmış olabileceği bir tür deney yapmayı önerdi. İki eş saatten biri Kuzey Kutbu'na, diğeri de ekvatora konacaktı. Dünya bu noktanın çevresinde döndüğü için Kuzey Kutbu'ndaki saat hareketsizdir. Ama ekvatordaki saat hareket halindedir. Eğer Dünya'nın çevresini, bir gündeki -Dünya'nın kendi çevresinde bir kere dönmesi için gereken süre- saniye sayı-

sına bölersek, ekvatorun Kuzey Kutbu'na göreli hızı saniyede 0,46 kilometre çıkar. Işık hızına kıyasla bu çok düşük bir hızdır. Aslında eğer Einstein'ın denklemini uygularsak, ekvatordaki saatin Kuzey Kutbu'ndaki saate göre günde saniyenin on milyonda biri kadar geri kalması beklenir!

Peki ya 1905'te İsviçreli bir saatçi bu deneyi yapabilecek kadar doğru çalışan saatler yapabilseydi ne olurdu? Einstein bir sürprizle karşılaşırdı. Deney bu saatlerden birinin geri kaldığını göstermez, tersine bir farklılık olmadığını gösterirdi. Bu, görelilik kuramını çöpe atmamız gerektiğini mi gösteriyor? Hayır. Einstein'ın 1905'te bilmediği ama birkaç yıl sonra keşfettiği şey, kütleçekiminin de saatleri etkilediğiydi. Bu örnekte özel görelilik etkisi ve kütleçekim etkisi birbirlerini götürüyorlar. Bu durum 1970'lerde inanılmaz doğrulukta çalışan atom saatleri uçakla farklı yüksekliklerde uçurularak denendi. Deneyler hem özel görelilik kuramı hem de kütleçekiminin etkisi ile ilgili öngörüleri doğruladı.

Ama bundan çok uzun zaman önce, zaman genişlemesi kavramı parçacık hızlandırıcılarında yaratılmış veya dış uzaydan kozmik ışın olarak gelmiş, çok hızlı hareket eden parçacıklarla yapılan deneylerle doğrudan sınanmıştı. Bu parçacıkların çoğu kararsızdır ve başka parçacıklara bozunurlar. Bu süreç parçacığın ortalama ömrü olarak bilinen belirli bir zaman alır. Bu zaman çok kısadır ve genellikle mikrosaniye ile ve hatta ondan da küçük birimlerle ölçülür. Parçacıkların ortalama ömrü bir tür saat oluşturduğu için, hareketsiz haldeki bir parçacığın ortalama ömrüyle, aynı parçacığın hızla hareket ederkenki ortalama ömrü arasında (hatta farklı parçacık hızları arasında) fark gözlemlemeyi bekleriz. Bu etki yüksek enerji fizik laboratuvarlarında parçacıkların de-

tektörlerde bıraktıkları izler incelenerek sayısız kez gözlenmiştir. İzler, parçacıklar hareketlendirilerek ömürleri uzatılmamış olsa kalacak olan izlerden çok daha uzundur. Öğretmenim Philipp Frank bir keresinde görelilikte zamanın yavaşlaması hakkında şöyle bir yorumda bulunmuştu: "Yolculuk yap ve genç kal."


(28)

(A) erhalten wir:

$$-\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{v^2}{R} = \frac{1}{\mu}\frac{v}{V}\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}\,N$$

woraus

$$R = V^3\frac{\frac{v}{V}}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{V}\right)^2}}\cdot\frac{\mu}{\varepsilon}\cdot\frac{1}{N}.$$

Diese drei Beziehungen sind eine vollständige Aussage für die Gesetze, nach denen sich die langsamen Elektronen bewegen müssen. Zum Schlusse bemerke ich, daß mir beim Schreiben dieser Arbeit mein Freund und Kollege M. Besso treu zur Seite stand, und daß ich manche wertvolle Anregung verdanke.

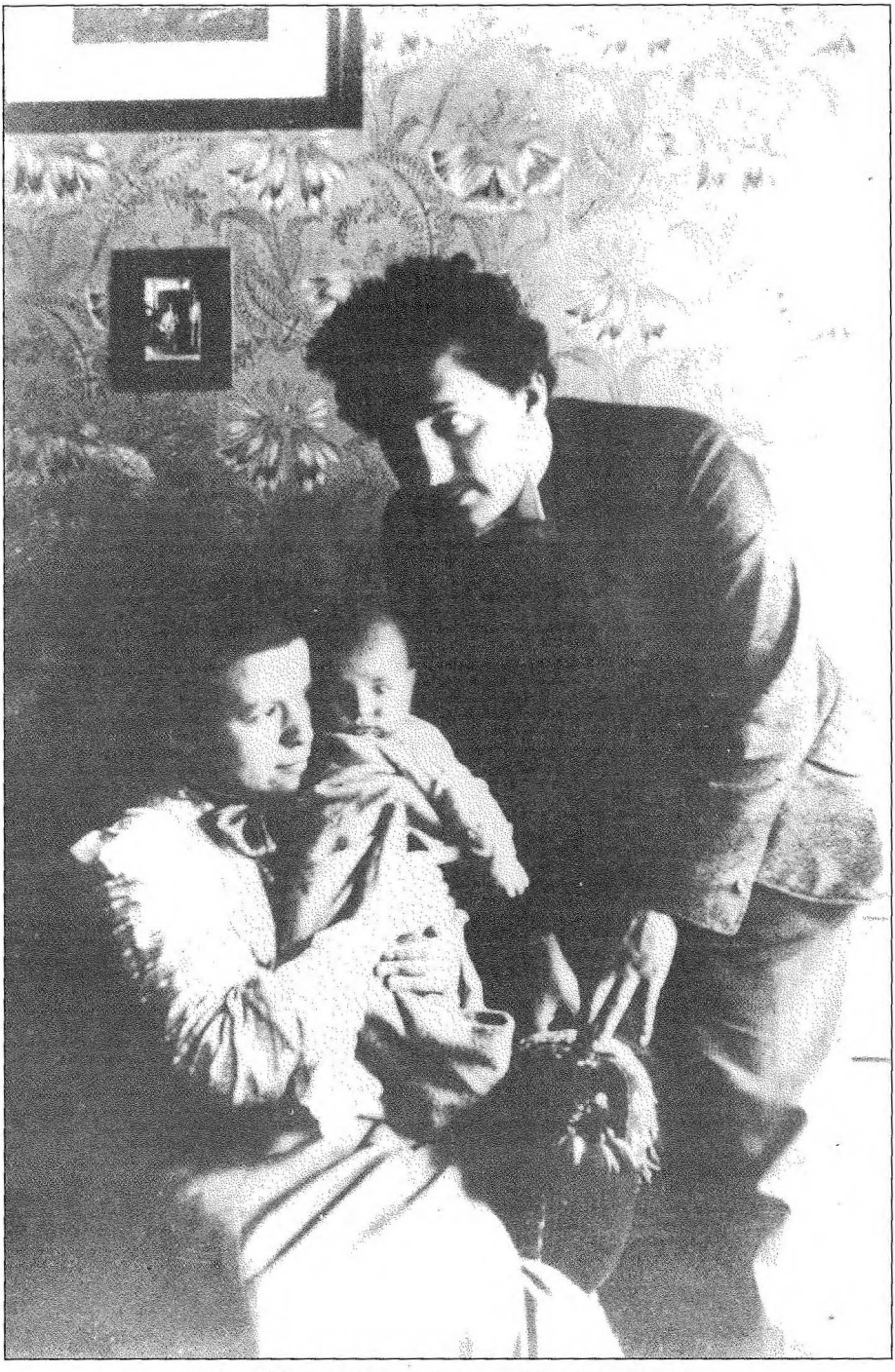
Bern, Juni 1905

Princeton, Dezember 1943

A. Einstein

Einstein'ın görelilikle ilgili makalesinin elyazması 1943'te 5 milyon $ değerinde savaş senedi karşılığında bir sigorta şirketine satıldı.

Bir sonraki bölümde bu fikrin ve Einstein'ın 1905'te yarattığı diğer fikirlerin başka bilim adamları tarafından nasıl karşılandığını anlatacağım. Bu ilginç bir hikâye. Ama bu bölümü Einstein'ın Princeton'daki sekreteri Helen Dukas'ın bana anlattığı bir anıyla bitirmek istiyorum. 1943'te Einstein'dan görelilikle ilgili makalesini açık artırmada satarak İkinci Dünya Savaşı'ndaki müttefiklerin çabalarına destek olması istendi. Ne yazık ki Einstein elyazmasını saklamamıştı. Ama aklına bir fikir geldi. Eğer Bayan Dukas ona makaleyi okursa o da makaleyi kâğıda döker ve böylece bu elyazması açık artırmada satılabilirdi. Makale 5 milyon dolar değerinde savaş senedi karşılığında bir sigorta şirketine satıldı ve sonradan Washington'daki Meclis Kütüphanesi'ne konuldu. Bayan Dukas Einstein'a makaleyi okurken bir noktada Einstein onu durdurup gerçekten öyle mi yazmış olduğunu sormuş. Öyle yazdığı söylenince de, her şeyi aslında ne kadar daha basit anlatabileceğini artık gördüğünü söylemiş.



Einstein 1904'te ilk karısı Mileva ve oğulları Hans Albert'le

3.
BÖLÜM

Kuantumun Garip Hikâyesi

Geçen bölümde gördüğümüz gibi Einstein ve Mileva Ocak 1903'te evlendiler. Evliliklerinin mutlu bir birliktelik olarak başladığına ve çiftin Hans Albert adını verdikleri ilk oğullarının Mayıs 1904'teki doğumuna sevindiklerine şüphe yok. O yılın Eylül ayında Einstein İsviçre Patent Bürosu'nda sürekli kadroya terfi etti. Einstein bu dönemde fizikle ilgili o kadar çok temel çalışma yaptı ki -sadece 1905'te beş mükemmel makale ve doktora tezini yazdı- insan patent bürosundaki işinin pek zaman almadığını düşünüyor. Ama aslında öyle değildi.

Einstein buluşlar için yapılan patent başvurularını inceleme işini çok ciddiye alıyordu. İşi seviyordu, çünkü buluşları ve mucitleri seviyordu. 1920'lerin sonlarında kendi de Macar fizikçi Leo Szilard'la ortak birkaç patent aldı. Bunlardan biri sessiz çalışan bir buzdolabı içindi. Projeleri uygulanabilirliği olan bir projeydi, ama daha kolay yöntemler bulundu. Einstein 1905 civarında, yani modern fiziği yaratmakta olduğu dönemde, çocuk-

lu bir evi geçindirmekle ve bir ofiste tamgün çalışmakla meşguldü. Fiziği boş zamanlarında yapıyordu.

Einstein'ın 1905'te yazdığı görelilikle ilgili makalenin uzay ve zaman kavramlarımızı nasıl değiştirdiğini gördük. Şimdi kütle kavramımızı nasıl değiştirdiğini görelim. Bu tartışmaya Newton'un daha önce gördüğümüz ama detaylı olarak incelemediğimiz temel hareket yasası F=ma'dan (kuvvet kütleyle ivmenin çarpımına eşittir) başlamak en iyisi. Newton sezgisel olarak kuvvetin rolünün bir cismin hareketini *değiştirmek* olduğunu görmüştü. Üzerine bir kuvvet uygulanmayan bir cisim ya hareketsiz kalacak ya da sabit hızda hareket etmeye devam edecektir. Bu fikir Newton'dan öncekiler için, en azından günümüzde zamanın hıza bağlı olduğu fikri kadar, kabul edilmesi zor bir fikirdi. Bunun nedeni, uygulamada üzerine hiçbir kuvvetin etki etmediği fiziksel bir sistemin olmamasıdır. Örneğin, eğer bir topu yuvarlarsak eninde sonunda durur. Bunu sürtünme kuvvetinin topa etki ederek onun yavaşlamasına neden olduğunu söyleyerek açıklarız. Sürtünmenin etkili olmadığı bir durum günlük deneyimlerimizde yer almaz. Bazı yüzeyler, örneğin buz, beton ve ahşap yüzeylerden daha az sürtünme gösteriyor olabilir; ama herhangi bir kuvvet olmadığında topun Newton'un yasasının öngördüğü şekilde sonsuza kadar yuvarlanmaya devam edeceği fikri hayal gücünü epey zorlamayı gerektiriyor.

Newton yasalarında üç temel nicelik var: Kuvvet yani F, ivme yani a ve kütle yani m. Ama Newton mekaniği bize kuvvetin, yani F'nin ne olduğunu söylemiyor. Bu deney yaparak öğrenmemiz gereken bir şey. Belirli bir durumda ivmeye neden olanın elektriksel bir kuvvet mi, kütleçekim kuvveti mi, yoksa başka bir tür kuvvet mi olduğunu görmemiz gerekiyor. Newton'un yasası bize

yalnızca böyle bir kuvveti bir cisme uyguladığımızda cismin ivmeleneceğini, yani hızının değişeceğini söylüyor. Ama nesnelerin aynı kuvvete farklı tepki verdiğini genel deneyimlerimizden biliyoruz: Bir futbol topunu ve Empire State Binası'nı aynı kuvvetle tekmelerseniz futbol topu binadan çok daha uzağa gider! Empire State Binası futbol topundan çok daha "kütleli" olduğu için böyle olduğunu söylüyoruz. Standart bir cismi -herhangi bir cisim olur- ele alırsak, başka bir cismin kütlesini üzerlerine aynı kuvvet etki ettiğinde bu iki cismin nasıl ivmelendiğini karşılaştırarak ölçebiliriz. Bu şekilde ölçülen kütleye -bir cismin üzerine bilinen, ölçülmüş bir kuvvet uygulandığında cismin ivmelenmeye direnme miktarının ölçümü olduğuna göre- cismin "eylemsizlik kütlesi" demek daha doğrudur.

Eğer göreliliğin doğru olduğunu varsayarsak, yukarıda F=ma olarak ifade edilen Newton yasası kesinlikle yanlış olmalı. Bunun nedeni oldukça açık: Newton'un yasası sabit bir kuvvet uygulanan bir cismin ivmelenmeye devam edeceğini öngörüyor. Cisim gitgide hızlanacak ve Newton'un yasasına göre eninde sonunda ışık hızından da daha hızlı hareket etmesini engelleyecek bir şey yok. Ama görelilik buna izin vermiyor; aynı anda hem Newton'un söylediği şekliyle Newton yasasına hem de göreliliğe sahip olamayız. Bir şeyin değişmesi gerek. Değişmesi gereken şey -Einstein'ın da 1905 tarihli makalesinde gösterdiği gibi- kütle *kavramı*. Newton'un yasasında bir cismin kütlesi hareket hızına bağlı değildir; ister hareketsizken ister hareket halindeyken ölçelim cismin kütlesi aynıdır. Ama Einstein'ın görelilik kuramı kapsamındaki hareket yasasında, bir cismin kütlesi hızına bağlıdır. Bu nedenle hareketsiz durumdaki bir cismin kütlesi -durgun kütlesi- genelde özel bir simgeyle yani

m_o ile gösterilirken, aynı cismin hareket halindeykenki kütlesi m simgesiyle ifade edilir. Bir cismin hareketsizlik kütlesine göre hareket halindeykenki kütlesi, yani m şöyledir:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Buradaki v hızı c'ye (c'nin ışığın boşluktaki hızı olduğu durumda) yaklaştıkça paydanın gitgide daha da küçüldüğüne ve böylece m kütlesinin daha da büyüdüğüne dikkat edin. Yani cismi hızlandırmak gitgide daha da zorlaşıyor. Bu tam da görelilik kuramından bekleyeceğimiz bir şey: Kütlesi olan bir cismi ışık hızına ulaşana kadar hızlandıramayacağımız anlamına geliyor. Bunu yapmak için gereken kuvvet gitgide artıyor ve sonunda sonsuza yaklaşıyor.

Bu yeterince şaşırtıcıydı, ama göreliliğin kütle üzerine etkileri bakımından en şok edici bilgi Einstein'ın 1905 sonbaharında yayımladığı üç sayfalık makaledeydi. Bu makalenin "Bir Cismin Eylemsizliği Enerji İçeriğine Bağlı mıdır?" gibi hantal bir başlığı vardı. Einstein sonradan yalnızca kendisini değil atom çağını da simgeleyecek olan ünlü $E=m_oc^2$ denklemini bu makalede türetti. Bu nedenle bunun temellerini incelemek önemli. $E=m_oc^2$ bağlantısı ilk görelilik makalesinde de yer aldığı halde Einstein o zaman dikkatleri özel olarak onun üzerine çekmemişti.

$E=m_oc^2$ hakkında göz önüne alınması gereken ilk şey, eğer ortaya nasıl çıkarabileceğimizi bulabilirsek her madde parçacığında *çok büyük* miktarda enerji olduğunu öngörmesidir. Bu enerjinin ne kadar fazla olduğu konusunda fikir edinmek için bir gram maddedeki tüm kütleyi serbest bırakabileceğimizi farz edelim. Bir gram pek fazla bir madde miktarı değil. Ama ışığın hızı çok yüksek olduğu ve Einstein'ın denkleminde karesi alındı-

ğı için ortaya çıkan enerji çok büyük. Bir gram maddeden çıkan enerji yüz milyon ampulü bir saat boyunca yanık tutabilir. Uygulamada evimizde bulunan herhangi bir gram maddeyi enerjiye çevirecek bir yöntem bilmiyoruz. Bunu yapmanın en verimli yolu 1 gram *antimaddeye* (bütün elektrik yüklerinin tersine çevrilmiş olması dışında normal maddeye benzeyen madde) denk gelmek ve onu bizim 1 gram maddemizle bir araya getirmektir. Bir araya geldiklerinde patlayarak hem maddenin hem antimaddenin durgun kütle enerjisini (yani $2m_{\bullet}c^2$) içeren ışınıma dönüşürler. Ne yazık ki (ya da neyse ki) evrende çok fazla antimadde yok. Onu yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılarında üretmek zorundayız. Çok ufak miktarlarda olsa da parçacık fiziği laboratuvarlarında bu sürekli yapılıyor. Bu laboratuvarlar sürekli olarak Einstein'ın öngörüsünü sınıyorlar.

1905'te Einstein görelilik kuramını geliştirdiği sırada antimadde bilinmiyordu. 1930'ların başına kadar da keşfedilmedi. Daha da önemlisi, radyoaktivite Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından yalnızca dokuz yıl önce keşfedilmişti. İnsanlar radyoaktivitenin yeni bir enerji kaynağı sunduğunu *fark etmiş* olmalılar, ama bu enerjinin nereden geldiğini bilmiyorlardı. Einstein'a kadar da kimse bunu açıklayamadı. Einstein'ın denklemiyle bu açıklama çok kolaydı. Belli bir miktar maddenin son radyoaktif bozunma ürünleri, bozunan her ne ise ondan daha az kütleye sahip olmalıydı. Bu kütlesel fark radyoaktif bozunmayla ne kadar enerji salınabileceğini belirliyordu. Einstein makalesinde böyle bir radyoaktif bozunmayı örnek olarak kullanıyor. Ama o zamanlar radyoaktivite hakkında o kadar az şey biliniyordu ki, yaptığı açıklamadan tam olarak emin değildi. Sadece böyle örneklerle kuramının "doğru olup olmadığının sı-

nanabileceğini" belirtiyordu. Aslında kuram, radyoaktif bir atomun her bozunuşunda sınanıyor.

Einstein'ın görelilik makalesi ve mucize yıl 1905'te yayımladığı diğer makalelerle ilgili en çarpıcı şeylerden biri nasıl karşılandıklarıdır. Fizikle ilgili birkaç makale yayımlamış olsa da Einstein'ın o zamanlar hiç tanınmadığını unutmamalıyız. Bir üniversitede görevli değildi. Hatta doktora derecesi bile yoktu. Çok gençti, yalnızca 26 yaşındaydı. Görelilik makalesinin ilk başta hiçbir etki yaratmamasına şaşırmamak lazım. Gençlerin çoğunlukla yaptığı gibi, sıra dışı bir şey öne sürdüğü için çok büyük bir tepkiyle karşılaşmayı bekleyen Einstein hayal kırıklığına uğradı. Beklediği tepki çok sonra gelecekti.

Makalesinin birçok kişi tarafından anlaşılmasının bu kadar uzun sürmesi en azından kısmen makalenin yazılış şekliyle ilgiliydi. Einstein çalışmasını daha önce başkaları tarafından yapılmış çalışmalarla ilişkilendirmek için neredeyse hiç çaba göstermedi. Görelilik makalesinde bir tane bile fizik makalesine atıf yoktu! Einstein'ın görelilik makalesinde atıfta bulunduğu tek kişi, makalenin sonunda hakkında "Burada değinilen problemle uğraşırken arkadaşım ve meslektaşım M. Besso'nun desteğini aldım ve değerli önerleri için ona gönülden borçluyum." dediği arkadaşı Michele Besso'ydu.

Böyle bir makale güncel bir fizik dergisine kesinlikle kabul edilmezdi. Öyle dergilerin hakemleri, yani o alanda çalışan ve dergiye sunulan makaleleri okuyan kişiler vardır. Bırakın 26 yaşında tanınmayan birinin, bir Nobel sahibinin bile makalesinin hakemler tarafından değerlendirilmesi gerekir. Hakemlerin aradığı özelliklerden biri de bir makalenin başkalarının çalışmalarına gereken atıfları yapıp yapmadığıdır. Einstein'ın durumunda, bir hakem büyük olasılıkla Einstein'dan Michelson ve Mor-

ley gibi kişilerin çalışmalarına atıfta bulunmasını isterdi. Einstein makalesini Almanya'da yayımlanan, o zamanlar Avrupa'nın ve muhtemelen dünyanın en prestijli dergisi olan *Annalen der Physik*'e (Fizik Yıllığı) gönderdi. Berlin'de yayımlanan bu dergide gerçek bir hakem sistemi yoktu, bir editörler kurulu vardı. Ama eğer bir kişi daha önce *Annalen*'de yayımlandıysa -ki Einstein yayımlanmıştı- o kişinin sonraki makaleleri genellikle değerlendirilmeden yayımlanıyordu. Einstein'ın makalesinin "'Işığı geçiren esir' fikrinin kullanılmasının gereksiz olduğu görülecektir; çünkü burada geliştirilecek olan fikir, özel niteliklerle donanmış 'mutlak hareketsiz bir uzay' kavramını kullanmayacak..." gibi bir cümleye rağmen kabul edilmiş olma nedeni budur. Einstein'ın makalesinin hakemi olduğunuzu, ömrünüzü "sevgili esir" üzerine çalışarak geçirmiş olduğunuzu ve şimdi 26 yaşında, tanınmamış birinin size ömür boyu yaptığınız çalışmaların "gereksiz" olduğunu söylediğini farz edin. Kendinizi nasıl hissederdiniz? Einstein'ın bu cümleyi geliştirmesi, esir konusunda (artık hiçbir alakası olmadığını biliyoruz) birçok atıf eklemesi için ısrar etmez miydiniz? Şu anki haliyle Einstein'ın makalesi öyle mükemmel kurulmuş ki, günümüzde, yani yazılışından 90 yıl sonra bile insan onu okuyup göreliliğin nasıl işlediğini öğrenebilir. Yazıldığı günkü kadar taze bir belge: Bir şaheser.

Bir fizik dergisinde Einstein'ın görelilik makalesine yapılan ilk atıf 1905 sonbaharında Alman deneysel fizikçi Walter Kaufmann'ın yazdığı bir makalede görüldü. Kaufmann yıllardır radyum elementinin radyoaktif bozunması sırasında yayılan, hızlı hareket eden elektronların davranışlarını incelemekteydi. Bir radyum örneğinin atomları arasında kendiliğinden bozunanlar vardır. Böyle radyoaktif atomlar bozunurken elektron olarak

bilinen ufacık parçacıklar yayarlar. 1897'de İngiliz fizikçi J. J. Thompson tarafından bulunan elektron, bilinen en küçük kütleli yüklü parçacıktır ve eksi elektrik yükü taşır. Kütlesi küçük olduğu için bir elektronu elektrik veya manyetik bir alanda hızlandırmak görece daha kolaydır; Kaufmann'ın yaptığı da buydu. Hollandalı büyük fizikçi Hendrik Lorentz'in önerdiği bir elektron modelini deniyordu. Lorentz bu modelde elektronu çok küçük, elektrik yüklü bir küre olarak düşünüyordu. Lorentz'e göre böyle bir küre hareket halindeyken, yine kendisinin ışık hızıyla ilgili çalışmalarında esir kavramını korumak için gerekli olduğunu söylediği bir büzülmeyle "yassılaşıyordu." Ama Lorentz elektronun harekete geçirildikten sonra kütlesinin artacağını da düşünüyordu. Bütün bu kavramları özel elektromanyetik kuvvetler modelini sunarken ortaya koymuştu. Lorentz yaptığının Einstein'ın kuramının çok özel bir örneği olduğunu fark etmemişti. Kaufmann Lorentz'in kuramının iddia ettiği kütle artışını sınamak istiyordu. Yazdığı makalede "Einstein-Lorentz" kuramı olarak adlandırdığı şeyin yanlış olduğu sonucuna vardı! Kuram deneysel sonuçlarla uyuşmuyordu. Lorentz bu sonuçları öğrendiği zaman kuramından vazgeçmeye hazırdı. Ama Einstein sonuçları duyduğu zaman Kaufmann'ın deneyinin yanlış olduğuna emindi. Kendi kuramı o kadar uyumluydu ve o kadar çok şeyi açıklıyordu ki, doğru olmak zorundaydı. Bu olağanüstü tavır, Einstein'ın yaşamı boyunca koruduğu bir tavırdı.

Bu tavrın çok güzel bir örneği Einstein'ın asistanlarından biri olan Ilse Rosenthal-Schneider'in anlattığı bir olayda görülebilir. Olay 1919'da gerçekleşmiş ve bir sonraki bölümde anlatacağımız, yeni gözlemlerin Einstein'ın kütleçekimi kuramını kanıtladığı haberiyle ilgili. Rosent-



Alman fizikçi Max Planck kuantum kuramının babası sayılıyor. O ve Einstein daha sonra Berlin'de meslektaş oldular.

hal-Schneider "Gözlemlerin sonuçlarının onun hesaplarıyla örtüşmesine ne kadar sevindiğimi ifade ettiğimde o gayet sakin 'Ama ben kuramın doğru olduğunu biliyordum zaten' dedi. Eğer tahmini doğrulanmasaydı ne olacağını sorduğumda 'O zaman sevgili Tanrı için üzülürdüm, çünkü kuram doğru' diye yanıtladı." diye yazıyor. Fizikle yoğun olarak ilgilendiği yıllarda Einstein'ın neyin doğru olduğu konusundaki içgüdüsü temelde hiç yanılmadı. Deneyleri göz ardı etmiyordu, ama hangilerinin güvenilir hangilerinin güvenilmez olduğunu hissetme konusunda gizemli bir yeteneği vardı. Örneğin Kaufmann'ın ilk deneyleri konusunda da, bu deneylerin yanlış yorumlanmış olduğu ve yeni deneylerin görelilik kuramını doğruladığı bilim adamlarının geneli tarafından kabul edilene kadar yıllar geçti.

Kuramına güveni olan tek kişi Einstein değildi. O zamanlar Berlin Üniversitesinde olan ve muhtemelen Einstein'ın makalesinin el yazmasını görmüş olan büyük Alman kuramsal fizikçi Max Planck kuramdan o kadar etkilendi ki, oradaki öğrencilerinden biri olan Max von Laue'den 1905-1906 kış döneminde o konuda bir konferans serisi hazırlamasını istedi. Von Laue de kuramdan o kadar etkilendi ki Einstein'la tanışmak için Bern'e gitti. Einstein'la kendisinin aynı yaşta olduklarını görünce çok şaşırdı. Kıdemli bir bilim adamıyla karşılaşmayı bekliyordu. Einstein sonradan von Laue'nin aslında şahsen tanıştığı ilk gerçek fizikçi olduğunu belirtti. (Sırası gelmişken, von Laue Einstein Nobel Ödülü'nü kazanmadan yedi yıl önce, 1914'te Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü.) Einstein Bern'de öyle soyutlanmıştı ki kayda değer bir fizik kütüphanesine bile erişimi yoktu.

Konferanslardan kısa süre sonra Planck görelilik kuramı üzerine dersler vermeye başladı; bu konuyla bağlantılı bir problemi incelediği için doktora derecesi verilen ilk öğrenci de onun öğrencisiymiş gibi görünüyor.

Sonuçta Einstein'ın mucize yıl 1905'te en çok tartışmaya yol açan çalışması Planck'ın başlattığı çalışmaları geliştirerek kuantum kuramını, yani ışığın parçacık özelliği kuramını yaratması oldu. Göreceğimiz gibi kuantum kuramı bizi görelilikten çok daha derin sulara çekiyor, aslında öyle derin ki sonunda Einstein o sularda kendi de yüzmemeye karar verdi. Ama Einstein'ın 1905'teki çalışmalarının çağdaşlarının çoğuna göre en tartışmaya açık kısmı, bizim bakış açımızdan saçma görünebilir: Atomların "varolup olmadığı" sorusu. Böyle bir soru ne demekti. Atomların varolduğuna inanmayan Ernst Mach, buna inananlara "Hiç yakınlarda atom gördünüz mü?" diye soruyordu. Günümüzde atomların çok güçlü özel mikroskoplarla çekilmiş "resimleri" olsa da, bu resimler ne anlama geldikleri açıklanmadıkça günlük yaşantımızdan son derece uzak. Çoğumuz atomların varolduğuna kitaplarda atom modeli gördüğümüz ve yaygın kitle iletişim araçları onlar hakkında bir sürü şey anlattığı için inanıyoruz. Anlaşmazlık da bu noktadaydı. Hem inananlar hem inanmayanlar maddenin atomlardan oluştuğunu düşünmenin birçok şeyi açıkladığı konusunda hemfikirdi, ama Newton'un söylediği gibi "katı, kütleli, içine girilemez, hareketli parçacıklar" gerçekten var mıydı?

Aslında 19. yüzyılın sonlarında atomla ilgili iki model vardı: Biri kimyacılar için, biri fizikçiler içindi. Kimyacılar kimyasal elementlerin birbirleriyle neden belirli oranlarda birleştiğini açıklayan bir model kullanıyorlardı. Örneğin, eğer su molekülünün iki hidrojen ve bir ok-

sijen atomundan oluştuğunu düşünürsek, hidrojen ve oksijen atomlarının elektriksel özellikleri neden iki birim hidrojenin bir birim oksijenle birleşip bir birim su oluşturduğunu anlamamızı sağlar. Bu açıdan atomların büyüklüğü, şekli ve kütlesi fark yaratmaz. Öte yandan, 19. yüzyıl fizikçilerinin atom modeli bütün bu nitelikleri, hem de tüm detaylarıyla kapsamak zorundaydı. Örneğin bir fizikçi bir hidrojen atomunun kütlesinin yaklaşık 10^{-24} gram olduğunu bilmek zorundaydı. Bizi sonunda atomların gerçekliğine inandıran bu tür niteliklerin ölçülmesi olmuştur.

19. yüzyılda fizikçi James Clerk Maxwell ve Avusturyalı büyük kuramsal fizikçi Ludwig Boltzmann mevcut atom modelini, bir gazın sıcaklığı ve basıncı gibi "termodinamik" nicelikleri, gazı oluşturdukları varsayılan moleküllerin ortalama davranışıyla ilişkilendirmek için kullanıyorlardı. Sabit hacimli bir gaz örneğinde, gazın sıcaklığındaki artışa eşlik eden basınç artışı, gaz moleküllerinin gazın içinde bulunduğu kabın duvarlarına çarpmasıyla açıklanıyordu. Sıcaklıktaki artış moleküllerin enerjisini ve ortalama hareket hızını artırır. Sonuçta hem moleküllerin kabın duvarlarına saniyedeki çarpma sayısı hem de her çarpışlarında duvarlara aktardıkları momentum ve dolayısıyla kabın duvarlarına uygulanan basınç da artar. Sıcaklık arttıkça basıncın da artması olgusunun moleküler açıklaması budur. İnsan her bir santimetre küp gazdaki 10^{19} civarı molekülün her birinin hareketini izleyemez. Bilim adamlarının yaptığı bu moleküllerin ortalama davranışlarını incelemektir; bu "istatistiksel mekanik" adında bir dal haline gelmiştir. İstatistiksel mekanik Einstein'ın büyük tutkularından biriydi. Kariyeri boyunca bu konuya tekrar tekrar geri döndü. Hatta 1905'ten önce *Annalen*'de yayımladığı makalelerden üçü

bu konudaydı. Eğer kariyeri o noktada sona erseydi bu konunun tarihinde yalnızca bir dipnot olarak yer alacaktı, çünkü kendisi farkında olmasa da çalışmalarının çoğu başkaları, özellikle de Yale Üniversitesi'ndeki Amerikalı usta Willard Gibbs tarafından önceden yapılmıştı.

Einstein'ın mucize yılda yazdığı makalelerden ikisi istatistiksel mekanik ve atomların varlığıyla ilgiliydi. Einstein'ın aklında atomların varlığına ilişkin bir şüphe yoktu. Einstein'ın bir düşünür olarak Mach'a derin saygısı olsa da, insan Mach'ın atom kuramına yaptığı itirazları biraz aptalca bulduğu izlenimine kapılıyor. Einstein'ın 1905'te istatistiksel mekanik üzerine yayımladığı iki makale günümüzde "Brown hareketi" adı verilen şeyle ilgiliydi. İskoçyalı bitkibilimci Robert Brown 1827 yazında çeşitli bitkilerden aldığı çiçektozlarının suya atıldıklarında ne olduğunu incelemeye başlamıştı. Ortalama bir çiçektozunun uzunluğu bir milimetrenin ufak bir kısmı kadar olduğu için, Brown çiçektozlarının davranışlarını mikroskopla gözlemlemek zorundaydı. Çiçektozlarının suda sürekli kıpırdadığını fark etti. Brown önce bunların canlı olabileceğini düşündü. Ama deneyi yirmi yıldır saklanmakta olan kurutulmuş çiçektozlarıyla tekrarlayınca onların da kıpırdadığını fark etti. Başka maddelerin yanı sıra çam sakızı reçinesinin, kömür katranının, manganezin, nikelin, bizmutun ve arseniğin mikroskobik zerreleri de kıpırdıyordu. Aslında ufak zerreler halinde suya atılan *her şey* kıpırdıyor gibiydi. Bu görünürde gelişigüzel harekete günümüzde "Brown hareketi" deniyor.

En azından bazı 19. yüzyıl atomcularına göre Brown hareketinin açıklaması basitti: Bu hareket çarpışmalardan, görünmeyen su molekülleriyle bir maddenin görünen mikroskobik zerrelerinin saniyede sayısız defa çar-

pışmasından kaynaklanıyordu. Ama bu konuyu ilk olarak nicel bir bilime dönüştüren Einstein'dı.

Bu konuyu nicel yapmak için ne gerekiyor? Tek bir madde zerresinin hareketini izlerseniz "gelişigüzel devinim" denen bir hareket yaptığını görürsünüz. Eğer böyle küçük bir zerre olsaydınız ve rasgele her taraftan gelen daha küçük moleküllerin bombardımanına uğrasaydınız siz nasıl hareket ederdiniz? İlk çarpışma sizi bir yöne doğru bir adım iterdi, bir sonraki çarpışma da başka bir yöne doğru iterdi. İkinci çarpışmanın sizi başladığınız noktaya geri götürmesi ihtimal dışıdır. Sonra üçüncü bir çarpışma sizi başka bir yöne doğru bir adım daha, yine başladığınız yerden daha uzak bir noktaya iterdi. Einstein'ın kuramı, belirli bir sürede başladığınız noktaya göre kat edeceğiniz ortalama uzaklığı (yönü değil) tahmin ediyor. Sonuç biraz şaşırtıcı. Uzaklık doğrudan zamana göre artacağına, zamanın kare köküyle orantılı olarak artıyor. Örneğin iki kat uzaklaşmak için dört kat daha uzun süre beklemeniz gerekiyor. Bu formül, sizi genellikle öne iten bazı çarpışmalarla genellikle arkaya doğru iten çarpışmalar sonucu hareketinizin rasgele yapısını yansıtıyor.

Bu öngörünün deneyle sınanması gerekiyordu. Nitekim 1908'de Fransız fizikçi Jean Perrin'in başlattığı, kendisine 1926'da Nobel Ödülü'nü kazandıran bir dizi deneyle sınandı da. Perrin'in çalışması atomların gerçekten varolduğuna neredeyse tüm fizikçileri inandırdı, ama Mach'ı ikna edemedi. Mach'ın 1916'daki ölümünden kısa süre sonra, oğlu babasının kâğıtları arasında şu paragrafı buldu: "Newton ilkelerinin tamamlanmış ve mükemmel olduklarını düşünmüyorum, ama bu ileri yaşımda görelilik kuramını ancak atomların varlığını ve bu türden diğer dogmaları kabul ettiğim kadar kabul edebilirim."

Einstein'a sonunda Nobel Ödülü'nü kazandıran çalışma, mucize yıl 1905'in Mart ayında yayımlanan ilk makalesinde yer alıyor. Makalenin başlığı biraz cesaret kırıcı: "Işığın Oluşumu ve Dönüşümü Üzerine Sezgisel Bir Görüş". "Sezgisel"in sözlük anlamı, bir sorunun çözümüne katkı ve yön sağlayan ama onun dışında doğruluğu kanıtlanabilir olmayandır. Neden Einstein bakış açısını "sezgisel" yani doğruluğu kanıtlanamayan olarak tanımlasın? Görelilik kuramının savunulamaz olduğunu düşünmediği kesin. Tam tersine, savunulabilir olduğundan o kadar emindi ki, kuramla ters düşen deneyleri görmezden gelmeye hazırdı. Dahası, Einstein Olympia Akademisi'nden arkadaşı Conrad Habicht'e çalışmaları hakkında 1905'te yazdığı bir mektupta, neden o mucize yılda yayımladığı makalelerin arasında en devrimci olanın o makale olduğunu söyleyerek o makaleye yoğunlaştı? Nedenlerden biri Einstein'a göre görelilik kuramının hiç de devrimci olmayışıydı. Ona göre bu kuram, ışığın bir yerden başka bir yere anında ulaşmadığını göz önüne alarak, klasik fiziğin dikkatlice yeniden formüle edilmesinden ibaretti. Einstein büyük ihtimalle koyu bir esir yandaşı olan Maxwell'e bile göreliliği anlatmakta zorlanmazdı. Kesinlikle esir yandaşı olmasına rağmen Lorentz sonunda göreliliği kabullenip benimsemişti. Ama Einstein dahil bu klasik fizikçilerin hiçbiri, ışık hakkındaki bu yeni fikirlerin sonuçlarını tamamen kabullenemiyordu. Neden peki?

Daha önce gördüğümüz gibi 19. yüzyılda yapılan optik deneylerinin çoğu ışığın devamlı bir dalga olduğu düşünülürse kolayca açıklanabiliyordu. Ama 1860'larda deneysel fizikçiler "kovuk" veya "kara cisim" ışınımı olarak bilinen şeyi incelemeye başladılar (ayrıntılar için 86-87 sayfalardaki metine bakın).

On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru kara cisim tayfı ölçülmüştü ve sorun da o yüzden başladı. Kuramcılar bir kovuktan kaynaklanan kara cisim tayfının renk dağılımını tanımlayacak bir formül arayışına girdiler ve sonunda Max Planck çok uygun bir denklem buldu. Sorun bu denklemin doğruluğunun nasıl kanıtlanacağı, yani fiziksel ilkelerden nasıl türetileceğiydi. Planck bir yöntem bulmuştu, ama bu yöntem de kendi kendisiyle çelişiyormuş gibi görünüyordu. Farklı dalga boylarındaki (ki dalga boyu ışığın *devamlı* dalga özelliğinin kullanılması demek oluyor) enerjiyi öngörebilmek için, ışığın ayrı ayrı paketler, yani kuantumlar halinde soğurulup salındığını varsayması gerekiyordu.

Bunun neden bir sorun yarattığını görmek için günlük yaşamdan bir örnek kullanalım. Işınımın yerine bira koyalım ve bira alım satımını düşünelim. İstediğimiz miktarda bira alıp satmamızı engelleyen bir doğa yasası olduğunu düşünmek için bir nedenimiz yok. Birim olarak litre veya galon kullanabiliriz, hangisi kolayımıza gelirse. Hiçbir şey bizi canımız isterse litrenin sekizde birini veya hatta 2 litrenin birinci dereceden kuvvetinin kare kökünü temel birimimiz olarak kullanmaktan alıkoyamaz. Planck'ın formülünü türetebilmek için işte tam da bu özgürlükten vazgeçmesi gerekiyordu. Biranın (ışınımın!) yalnızca temel bir enerji biriminin -sonradan bir enerji kuantumu denen- katları kadar "alınabileceğini" ve "satılabileceğini" farz etmek zorundaydı. Planck'ın doğruluğunu kanıtlayamadığı bu durum, işe yarıyordu. Doğru formülün oluşturulmasını sağlıyordu. "Sezgisel"di.

Ama Planck bu durumdan hoşlanmıyordu. Sonraki on yılı denklemini kuantum kavramını kullanmadan türetmeye çalışarak geçirdi, ama tamamen başarısız oldu.

KOVUK, YANİ KARA CİSİM IŞINIMI NASIL FİZİKTE BİR DÖNÜM NOKTASI OLDU

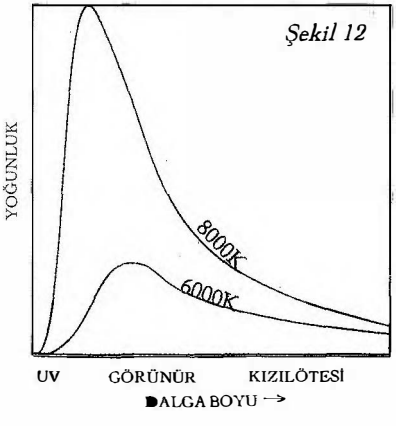
Heidelberg Üniversitesi'nde çalışan ve sonradan Berlin'de Planck'ın öğretmeni olan Alman fizikçi Gustav Kirchhoff 1860'larda ışığın salınması ve soğurulması ile ilgili bir dizi deney yaptı. Bu sürecin fiziksel olarak betimlenmesinden de "kovuk" yani "kara cisim" ışınımı kavramı doğdu.

Fikir çok basit. Herhangi bir metalden oluşan silindir şeklinde bir tüp alın. Bir ucu kapalı olsun, öbür ucunda da ışığın içeri girip çıkabilmesi için küçük bir delik. Eğer tüp oda sıcaklığındaysa içeri giren ışık içerde kalır. Deliğe bakarsanız karanlık gözükür. Dolayısıyla içeride kalan ışınıma genellikle kara cisim ışınımı denir. Ama öte yandan, eğer tüpü ısıtırsanız yüzeyi parlayacaktır. Ama delikten çıkan ışınım daha da parlak olacaktır. Sıcaklık arttıkça rengi koyu kırmızıdan parlak sarıya, ondan da yoğun bir beyaza dönecektir.

İşin olağanüstü yanı, dalga boylarının dağılımıyla ilişkili olan bu renk dağılımı tüpün yapılmış olduğu malzemeye hiçbir şekilde bağlı değildir. Sıcaklık aynı kaldığı sürece kovuğu yapmak için volfram da kullansanız, vanadyum da kullansanız aynı dağılımı elde edersiniz.

Sıcaklığı sabitleyip delikten dışarı çıkan ışığın farklı dalga boylarının yoğunluğunu bir tayfölçerle incelemek özellikle ilginçtir. Her dalga boyundan ışığın temsil edildiğini ama farklı dalga boylarının farklı yoğunluklarda oluştuğunu göreceksiniz. Deliğin, mesela turuncu ışık yaydığını söylediğimizde yalnızca turuncuya denk gelen dalga boylarındaki ışığın çıktığını söylemiyoruz. Demek istediğimiz en yoğun ışığın turuncuya denk gelen dalga boylarında olduğu.

Belirli bir sıcaklıktaki farklı dalga boylarına denk gelen yoğunlukları gösteren bir grafik çizebiliriz (bkz. Şekil 12). Bu bize bir renkte, örneğin turuncuda en yüksek noktasına ulaşan ve dalga boyları kısaldıkça (ya da ışığın frekansı arttıkça) hızla sıfıra giden bir eğri -tayf- verir. Bu grafiğin adı kara cisim tayfı. Eğriye bakan fizikçiler, eğrinin şekline bakarak kara cismin hangi sıcaklıkta olduğunu söyleyebilirler.



Şekil 12

19. yüzyılın sonuna gelindiğinde kara cisim tayfı ölçülebiliyordu. Berlin Üniversitesi'nden bir başka fizikçi, Wilhelm Wien verilere uyuyormuş gibi görünen (sonradan

çok şüpheli temellere dayandığı anlaşılan) bir formül üretti. Max Planck'ın hikâyemize katıldığı nokta da işte bu. Kara cisim tayfı Planck'ın kafasına takılmıştı. Hoşuna giden evrensel özelliğe sahip gibiydi. Bütün maddeler için aynıydı.

Planck'ın ilk düşüncesi Wien'in formülünü türetmenin daha iyi bir yolunu bulmaktı. Böyle bir yol bulduğunu zannetti ve 1899'da *Annalen der Physik*'e bir makale yolladı. Ama basımevi provalarını gözden geçirirken türetimin yanlış olduğunu fark etti. Dahası, Wien'in formülünün daha uzun dalga boyları için yapılan deneylerin sonuçlarına uymadığı gittikçe daha da belirginleşiyordu. Bunun üzerine Planck, Planck kara cisim dağılımı olarak bilinen ikinci bir formül üretti. Sonuçlara gayet iyi uyan bu formül o zamandan beri kullanılmaktadır.

Ama formül nasıl türetilecekti? Bu noktada ışınımın kovuğun içinde nasıl davrandığı konusunda daha çok bilgiye ihtiyacımız var. Duvarları oluşturan metalin elektronları ısıtıldıkları zaman ileri geri titreşirler. Elektron gibi yüklü bir parçacık titreştiği zaman ışır. Titreşen bu elektronlar elektromanyetik ışınım yayarlar. Bu ışınım da titreşen elektronlar tarafından soğurulup sonra tekrar salınabilir ve bu süreç böyle devam eder; arada bir delikten dışarı gözlenebilen ve ölçülebilen miktarda ışınım kaçabilir.

Klasik mekanik ve hatta sağduyu bu ışınım osilatörlerinin herhangi bir dozda ışınım içerebileceğini söylüyor. Ama Planck formülünü türetmek için, bu osilatörlerin yalnızca temel bir enerji biriminin -yani kuantumun- katlarını içerebileceklerini varsayması gerektiğini buldu.

Planck'ın osilatörleri ν dediğimiz temel bir sıklıkta titreşiyorlar. Bunu enerjiye dönüştürmek için Planck'ın bir sabit eklemesi gerekiyordu; buna günümüzde Planck h sabiti diyoruz. Işık hızı veya elektronun yükü gibi, evrenin tanımlayıcı sabitlerinden biri haline gelen yeni bir temel sabitti bu. Planck sabiti bakımından temel enerji birimi, yani kuantum $h\nu$'dir. Yani Planck'ın osilatörleri enerjiyi yalnızca $h\nu$ birimleri halinde soğurup salabilirlerdi. Planck bu görünürde rasgele şarttan yaşamı boyunca rahatsızlık duymuş olsa da, bu şart 20. yüzyıl kuantum mekaniği biliminin temeli olmuştur.

1905'te Einstein'ın karşısına çıkan durum buydu. Einstein'ın bu önceki çalışmadan ne kadar haberi olduğu belli değil, ama epeyce şey biliyor gibi görünüyordu. Işığın yapısıyla ilgili makalesinde Planck yasasını türetmeye çalışmıyor. Onu doğru olarak kabul edip ne anlama geldiğini soruyor. Vardığı sonuç bir devrim yaratıyor. Einstein bu yasanın, kara cisim ışınımının enerji kuantumlarından oluştuğu anlamına geldiğine karar verdi. Makalesinde yazdığı gibi "Işığın oluşumu ve dönüşümüyle ilgili olgular, ışıktaki enerjinin uzaya kesikli olarak dağıldığı varsayımıyla daha rahat anlaşılıyor." Bu kavrama göre "Bir nokta kaynaktan çıkan bir ışık demetindeki enerji, geniş, daha geniş uzay hacimlerine kesintisiz olarak dağılmıyor, uzayda belirli noktalarla sınırlanmış, bölünmeden hareket eden ve yalnızca birimler halinde soğurulan ve salınan sonlu sayıda enerji kuantumlarından oluşuyor." Bir başka deyişle, bira yalnızca litreler halinde tüketilmekle kalmıyor, bira fıçısının içinde, arada hiçbir başka birim olmadan, litrelik paketler halinde hazır bekliyor!

Ama ışık bir dalga değil mi? Işığın kuantumlar halinde hareket etmesi de ne demek oluyor? Bu ışığın parçacık kuramı mı? Durum bundan daha da beter. Einstein'a göre bir kuantum ışık paketindeki enerji (E), $E=h\nu$ denklemine göre ışığın frekansıyla ilişkili. Burada ν ışığın frekansı, h de ilk defa Planck'ın kullandığı yeni bir sabit. Ama Einstein ν frekansındaki herhangi bir ışık demetinin, her biri $h\nu$ enerjisine sahip kuantumlardan oluştuğunu söylüyor. Ama frekans dalga kavramıyla alakalı bir şey. Bir ışık dalgasının frekansını yanımızdan saniyede kaç dalga tepe noktası geçtiğini sayarak ölçüyoruz. Einstein'ın denkleminde kuantumun enerjisini tanımlamak için ışığın dalga özelliğini kullanıyor gibiyiz.

Einstein ışığın dalgalardan mı yoksa kuantum akımlarından mı oluştuğu konusundaki ikilemin farkındaydı. 1905'te dünya üzerinde bunun farkında olan tek kişi oydu demek herhalde yanlış olmaz. Yaşamının geri kalanında hep bu konu üzerine düşündü ve 1951'de Michele Besso'ya yazdığı son mektupların birinde şöyle diyordu: "Bütün bu elli yıllık düşünme taşınma beni 'ışık kuantumu nedir' sorusunun yanıtına daha çok yaklaştırmadı." Kitabın ilerleyen bölümlerinde bu soruya tekrar döneceğiz. Neyse ki Einstein 1905'te bu sorunun onu durdurmasına izin vermedi. Planck dağılımını verili kabul edip anlamını sorguladı. İnsan Einstein gibi nasıl bakılacağını bilirse, ışığın ikili yapısı Planck formülünde açıkça görülüyor.

Einstein tayfın kısa dalga boyu, yani yüksek enerji kısmına odaklandı ve burada çok sevdiği kendi istatistiksel mekaniğini kullanabildi. Tayfın yüksek enerji kısmında ışık kuantumlarının istatistiksel mekaniğin öngördüğü davranış prensiplerini izleyerek bir gazın parçacıklarıymış gibi davrandığını gösterdi. Işık kuantumlarından oluşan bir gazla, elektronlardan oluşan bir gaz arasında küçük farklar olsa da, ikisi de bağımsız parçacıklardan oluşan gazlar gibi davranırlar. Einstein bu fikrin nasıl sınanabileceği konusunda bir fikir öne sürdü. Eğer ışık kuantumları metal bir yüzeyle çarpışırsa metal yüzeyden ışığın dalga boyuna (rengine) bağlı olan bir enerjiyle elektronların fırlayacağını gösterdi. Işık ne kadar "maviyse" fırlayan elektronlar o kadar daha yüksek enerjili olur. Bu "fotoelektrik etki" olarak bilinir ve kendiliğinden açılan kapılar da dahil, günümüzde pek çok alanda kullanılır. Einstein 16 yıl sonra Nobel Ödülü'nü de bu çalışma sayesinde almıştır.

IŞIK KUANTUMU

Her ışık kuantumunun enerjisi E=hν'dir (E enerji, h Planck sabiti, ν frekans). Görelilikte enerji ve momentum arasında bir bağlantı vardır. Bu duruma uygulandığında bağlantı, her ışık kuantumunun p=hν/c denklemiyle ifade edilen p kadar bir momentumu olduğunu söylüyor. Işığın dalga boyu ve frekansı, νλ=c'ye göre bağlantılı olduğuna göre, bunu p=h/λ olarak da yazabiliriz. Bu Einstein için ışık kuantumu bir şeyle çarpıştığında, enerjisini ve momentumunu tıpkı bilardo topları gibi aktarabileceği anlamına geliyordu. (Aslında tam olarak bilardo topları gibi değil, çünkü kuantumlar ışık hızıyla hareket eder.)

Eğer Einstein'ın bir cismin kütlesini hızının bir fonksiyonu olarak gösteren formülüne dönersek, bu formülün -ışık hızında ilerleyen- bir ışık kuantumu için evrensel olarak doğru olmasının tek yolunun kuantumun durgun kütlesinin olmaması olduğunu görürüz! Bir başka deyişle, ışık kuantumları kütlesiz oldukları halde enerji ve momentum taşıyan parçacıklardır; bir klasik fizikçinin akıl ermez bulacağı bir durum. Örneğin bir elektrona çarpan böyle bir kuantum, kütlesi olmadığı halde elektronun geri tepmesine neden olur. Bu ilk olarak 1922'de Amerikalı fizikçi Arthur Compton tarafından serbest elektronlarda gözlendi. Işık kuantumlarının hν/c kadar momentum taşıdığını belirleyen Compton'du. Einstein 1905 tarihli makalesinde metal yüzeylere bağlı elektronlar üzerine yoğunlaşıyordu.

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Işığın böyle yüzeyler üzerindeki etkisi Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından ta 1887'de fark edilmişti. Hertz birbirine yakın tutulan iki metal yüzey arasındaki kıvılcım boşalmasını inceliyordu. Böyle bir durumda genellikle bu iki elektrik iletken arasında potansiyel bir fark -voltaj farkı- olacaktır ve bu fark yeterince büyükse iki iletkenin arasında kıvılcım şeklinde gözlemlenen bir elektrik akımı olacaktır. Hertz böyle bir kıvılcımın ışığının kendisinin de, sanki metale çarpan ışık bir elektrik akımı yayıyormuş gibi ikinci bir kıvılcım ürettiğini fark etti. Buna şimdi "fotoelektrik etki" deniyor. Hertz mor ötesi ışığın bu ikincil boşaltımı yaratmakta özellikle etkili olduğunu fark etti, ama bir açıklama getiremedi ve bu konu bir gizem olarak kaldı.

1902'de Alman fizikçi Philipp Lenard aynı etkiyi karbon bir kemer tarafından üretilen ışığı metal bir yüzeye düşürerek inceledi. (Ne tuhaftır ki, daha sonra ateşli bir Nazi ve Einstein'ın can düşmanı haline gelen Lenard, Einstein'ın mucize yılı 1905'te elektronlar üzerine çalışmalarıyla Nobel Ödülü kazandı.) Le-

nard ışık kaynağının yoğunluğunu değiştirebiliyordu. Bunu yaptığında metal yüzeye çarpan ışığın yoğunluğu ne kadar az olursa olsun, yüzeyden fırlayan elektronların enerjisinin değişmediğini gözlemledi. Bu beklenmedik bir etkiydi; klasik fiziğe göre daha yoğun ışığın daha yüksek enerjili elektronlar üretmesi beklenirdi. Gerçekte daha yoğun ışık daha fazla elektron üretiyordu, daha yüksek enerjili elektronlar değil. Salınan elektronların enerjisini etkileyen şeyin metal yüzeye çarpan ışığın frekansı olduğu anlaşılıyordu. Morötesi ışık kırmızı ışıktan daha yüksek enerjili elektronlar üretiyordu.



Alman fizikçi Heinrich Hertz. Einstein'ın daha sonra açıkladığı fotoelektrik etkiyi keşfetti.

Einstein bütün bunları ışık kuantumu kuramıyla tek bir hamlede açıklayabildi. Her kuantumun enerjisi hν'dir. Eğer ışık kuantumunun metal yüzeyden elektron kopardığı süreçte enerji korunuyorsa (ki öyle görünüyordu), şu basit denklemi elde ederiz: hν=E-W. Bu da ışığın sağladığı enerjinin elektronun tek enerji kaynağı olduğu anlamına gelir. Burada hν ışık kuantumunun enerjisi, E serbest kalan elektronun enerjisi ve W elektronun metalden kopmasını sağlamak için gereken "iş fonksiyonu", yani enerjidir. Einstein'a 16 yıl sonra Nobel Ödülü'nü kazandıran bu denklemdi. Einstein'ın formülünde elektronun enerjisinin düşen ışığın frekansına bağlı olduğu açıktır. Bariz olan başka bir şey de, daha yoğun ışığın daha fazla ışık kuantumu anlamına geldiği, daha yüksek enerjili ışık kuantumu anlamına gelmediğidir. Lenard'ın gözlemi böylece açıklanmış oluyor. Denklem asıl olarak 1916'da, Amerikalı fizikçi Robert Millikan çeşitli metallerle çok hassas deneyler yaptığı zaman sınanmış oldu. Bu deneylerin aynı zamanda Planck sabitini de ölçmesi ilginçtir. Sabit, Planck'ın kara cisim ışınımı için bulduğu değerle aynı çıkmıştır.

4.

BÖLÜM

Profesör Einstein'ın En Güzel Buluşu

Einstein'ın mucize yılda uğraştığı konulardan biri de kimyayla ilgiliydi. Bir su çözeltisinde biraz şeker erittiğinizi düşünün. Şeker molekülleri suyla bir dengeye ulaşana kadar suyun içine yayılacaklar. Şeker ve su düzgün bir şekilde karışmış olacak. Şeker moleküllerinin suyun içinde yayılması, çözeltiye ince bir levha daldırılıp şeker moleküllerinin dağılırken bu levhaya çarpması sağlanarak ölçülebilen bir basınç yaratacak.

Einstein bu süreçle ilgili olarak, çözeltideki şeker moleküllerinin hem büyüklüğünü hem de sayısını tahmin etmesine olanak veren bir kuram üretti. Bir maddenin bir "mol"ündeki -bir maddenin bir molekülünün gram cinsinden ağırlığına eşdeğer nicelik- molekül sayısına Avogadro sayısı denir. Bu sayı adını, 1811'de sabit bir sıcaklığa ve basınca sahip belirli bir hacimdeki herhangi bir gazın, aynı koşullardaki aynı hacme sahip herhangi bir başka gazla aynı sayıda molekül içereceğini tahmin eden İtalyan bilim adamı Amedeo Avogadro'dan



Einstein Bern'de, Zürich'te ve Prag'da öğretmenlik yaptıktan sonra, 1912'de mezun olduğu okul olan ETH'den gelen teklifi kabul etti.

alır. Genelde kısaca N denen Avogadro sayısı kesin olarak biliniyor. $6,0220 \times 10^{23}$ olan bu sayı herhangi bir maddenin bir molünde ne kadar çok molekül olduğunu gösterir. Einstein'ın bu sayıyla ilgili olarak 1906'da yayımladığı ilk makalede bir hesap hatası vardı; bu yüzden sadece $2,1 \times 10^{23}$ gibi bir sonuç elde etmişti. Birkaç yıl sonra bu hatayı düzelttiğinde elde ettiği sayı, deneylerden elde edilen sayıya daha yakındı.

Einstein Temmuz 1905'te yaptığı hesabı içeren makaleyi Zürich Üniversitesi dekanına doktora tezi olarak sundu. O zamana kadar 20. yüzyıl fiziğinin büyük bir kısmını oluşturan görelilik ve kuantumla ilgili makaleler yazmıştı. Doktora derecesi alması, yani hâlâ öğrenci olduğu düşüncesi insana saçma geliyor. Ama o zaman da şimdi olduğu gibi bilim alanındaki ciddi araştırmacıların bu dereceyi alması bekleniyordu. O zaman da ve şimdi de âdet olduğu üzere, Einstein'ın tezi üniversitedeki kıdemli bir profesör tarafından okundu; Alfred Kleiner adında biri tarafından. Kleiner Einstein'ın Avogadro sayısıyla ilgili hesabındaki hatayı fark etmedi ve tez onaylandı.

Kleiner oldukça kısa sürede Einstein'ın sıradan bir fizik öğrencisi olmadığını anlamış olmalı. Hemen Einstein'ı Zürich Üniversitesi'ne getirmek için uğraşmaya başladı. Einstein 1906 yılında patent bürosunda yılda 4500 İsviçre Frangı maaşla ikinci derece teknik uzmanlığa terfi etti. "Boş zamanlarında" bir de katı maddelerin modern kuantum kuramını kuran bir makale yazdı. Bu makalede Einstein katıların ısıyı nasıl soğurduğu konusunu ele aldı. Getirdiği yenilik, katıdaki elektronları radyasyon yerine ısı enerjisini emen mekanik kuantum osilatörler olarak, yani enerjiyi -bu durumda soğurulan ışınım değil de ısı enerjisiydi- kuantum birimleri halinde alıp veren "yaylar" gibi hayal etmekti. Bu fikir deneylerle bü-

yük ölçüde uyuşan bir kuram ortaya çıkardı ve birçok fizikçiyi kuantum kuramının ilgiyi hak ettiğine ikna etti.

Kleiner'in Einstein'ı Zürich'e getirme stratejisi biraz dolaylıydı. O zamanlar Avrupa üniversitelerinde *Privatdozent* denilen düşük bir kadro vardı, bir tür özel öğretmenlik gibiydi. *Privatdozent* olarak seçilen kişilere üniversitede ders verme hakkı verilirdi ve ücretleri de derslere katılan öğrenciler tarafından ödenirdi. Üniversite hiçbir şey ödemezdi. Alınan ücret o kadar düşüktü ki kimse o parayla geçinemezdi, ama gerçek bir akademik işe girmek için kural gereği herkesin bu yoldan geçmesi gerekirdi. Kleiner Einstein'ın Bern Üniversitesi'nde *Privatdozent* olmasını istiyordu; orada işler yolunda giderse Einstein'ı Zürich'e getirebileceğini düşünüyordu. Ama başlangıçta işler iyi gitmedi. Aslında hiçbir ilerleme olmadı.

Bir sebeple Einstein işi alabilmesi için gereken şeylerden birini yerine getiremiyordu. Adaylar henüz yayımlanmamış özgün bir çalışma sunmak zorundaydı. Bu görünüşte gereksiz koşulun nedeni pek açık değil. Einstein'a da anlamlı gelmemiş olmalı ki bu koşulu iki yıl boyunca yerine getirmedi. Bu arada patent bürosundaki işinin yanı sıra lise öğretmenliği yapma fikriyle ilgilendiğini de belirtmişti. Ama sonunda, 1908'de gerekli belgeyi sundu ve bir yandan aslında ailesinin geçimini sağlayan patent bürosundaki işine de devam ederken Zürich Üniversitesi'ne *Privatdozent* olarak atandı.

İnsan Einstein'ın en azından ortalama öğrenci seviyesinde çok iyi bir öğretmen olmadığı izlenimine kapılıyor. Bu dönemde standart konular hakkında ders hazırlayamayacak kadar özgün fikirlerle doluydu. Aslına bakılırsa, bu derslerde öğretilenlerin çoğunun kendi çalışmalarının eski moda kıldığı, yanlış şeyler olduğunu

fark etmiş olmalı. Bir ara Kleiner Einstein'ın Bern'deki bir dersine girdi ve dersi biraz fazla ileri düzey bulduğunu söyledi. Einstein Kleiner'a kendi işine bakmasını, zaten Zürich'e profesör olarak atanmayı istemediğini söyledi. Neyse ki Kleiner ısrar edecek kadar sağduyuluydu ve 1909'da Einstein yılda 4500 İsviçre frangı maaşla -o zaman istifa ettiği patent bürosunda aldığı maaşın aynısı- Zürich Üniversitesi'ne doçent olarak atandı. 1909'dan yaşamının sonuna kadar Einstein hep şu veya bu kurumda profesör olarak çalıştı, ama patent bürosundaki yıllarını hep yaşamının en mutlu ve özgür günleri olarak andı. Gerçekten de Einstein "yaşamımın en güzel buluşu" dediği fikri 1907'de patent bürosunda çalışırken bulmuştu.

Önce size bu fikrin ne olduğunu anlatacağım. İlk başta görünüşteki basitliğine ve herhangi bir şeyle alakasız oluşuna, sonra da derinliğine şaşıracağınızı düşünüyorum. Einstein'ın sonradan anlattığı üzere, çatıdan düşen bir kişinin imgesini içerdiği için baştan pek güzel bir düşünce gibi gelmiyor. Farz edin ki bir evin çatısını boyuyorsunuz ve boyalarla ve fırçalarla beraber kayıp düşüyorsunuz. Kısa süre sonra yere çarpacağınız ve o zaman da deneyin sona ereceği gerçeğini görmezden gelir ve havanın direncini ihmal ederseniz, sizinle beraber çatıdan düşen bütün eşyaların sizinle aynı hizayı koruduğunu göreceksiniz. Bunun nedeni Dünya yüzeyinin biraz yukarısında bir noktadan kütleçekiminin etkisine giren her cismin, hava direncini ihmal edersek, hep aynı ivmeyle düşecek olmasıdır. Bu ivme saniyede 9,8 metre bölü saniye çıkar. Bu ifade iki tane "saniye" içeriyor, çünkü ivme uzaklığın değişme oranı olan hızın değişme oranıdır. Bunu vurgulayan ilk insan Galileo'ymuş gibi görünüyor. Galileo bunu kanıtlamak için Piza Ku-

lesi'nden bazı cisimler atarak deney yaptığını iddia etmişti. Bunun bir düşünce deneyi olmuş olması daha büyük ihtimal.

Newton'un kütleçekimi kuramına göre, bu düzenli ivmelenme şu şekilde anlaşılabilir. Dünya yüzeyindeki m kütleli her cisim, Newton'un ünlü denkleminde belirtildiği gibi, M kütlesine ve R yarıçapına sahip olan Dünya tarafından üretilen kütleçekimi kuvvetinden etkileniyor:

$$F = \frac{mMG}{R^2}$$

Burada G Newton'un evrensel kütleçekim sabiti, kendine has birimleriyle değeri şu: $G=6,6720x10^{-11}$ metre küp bölü saniye bölü saniye bölü kilogram. Ama aynı zamanda Newton'a göre, a'nın kütlesi m olan cisme uygulanan kuvvetin yarattığı ivme olduğu durumda, F=ma. Dolayısıyla Newton şöyle derdi:

$$F = ma = \frac{mMG}{R^2}$$

Şimdi denklemin iki tarafından da m'yi silerseniz şu kalır:

$$a = \frac{MG}{R^2}$$

Bu denkleme Dünya'nın yarıçapını ($6,37x10^6$ metre) ve kütlesini ($5,98x10^{24}$ kilogram) eklerseniz, daha önce Dünya'nın yüzeyine yakın bir noktadan düşen cisimlerin ivmelenme hızı olarak verilmiş olan 9,8 metre bölü saniye bölü saniyeyi elde edersiniz.

Burada açıklanması gereken iki nokta var. Birincisi, burada yaptığımın pek doğru olmadığı. Bu denklemde Dünya'nın yarıçapını kullandım. Aslında şanssız boyacının Dünya'nın yüzeyine uzaklığı düşüşü boyunca hep değişiyor. Ama bu değişiklik Dünya'nın yarıçapına göre çok küçük, bu yüzden onu ihmal ettim. İkinci nokta gerçekten önemli ve Einstein'ın "en güzel buluşu"yla ilgili.

Fazla düşünmeden, $mMG/R^2=ma$ denkleminin her iki tarafındaki *m* kütlesini sildik. Ama Einstein *m*'nin bu iki kullanımının oldukça farklı anlamları olduğunu fark etti. Denklemin sağ tarafındaki, yani *ma* tarafındaki *m*, bir cismi belirli bir kuvvet uygulayarak ivmelendirmenin ne kadar zor olduğunun ölçütü. Cismin "eylemsizliğinin" bir ölçütü. Bu yüzden Einstein buna "eylemsizlik kütlesi" dedi. Ama denklemin diğer tarafında, yani kuvvet tarafında yer alan *m*MG kombinasyonundaki *m* kütlesi, kütleçekimin gücünün ölçüsü. Bu yüzden Einstein buna "kütleçekim kütlesi" dedi. Hava direncini ihmal edersek cisimlerin Dünya yüzeyine aynı ivmeyle düştüğü gerçeği, eylemsizlik kütlesinin ve kütleçekim kütlesinin aynı olduğu ve dolayısıyla denklemde birbirlerini götürdükleri gerçeğini yansıtıyor. Einstein eylemsizlik kütlesinin ve kütleçekim kütlesinin eşdeğer olma olgusuna "eşdeğerlik ilkesi" adını verdi. Büyük ihtimalle Macar fizikçi Baron Roland Eötvös'ün o sıralar deneysel olarak bu iki kütlenin yüz milyonda birlik bir hata payıyla eşit olduğunu kanıtladığını bilmiyordu. Günümüzde ikisinin yüz milyarda birlik bir hata payı içinde eşit olduklarını biliyoruz. Peki Einstein bundan ne sonuç çıkardı?

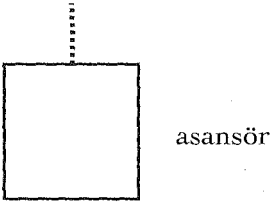
Bu konuya girmeden önce, Einstein'ın 1905 tarihli görelilik makalesinde ne ivmeyi ne de kütleçekimini ele aldığını belirtmek gerek. O makale birbirlerine göre sabit bir hızla hareket eden sistemlerle sınırlıydı. Tren örneğimizde eğer tren ivme kazanmaya başlarsa bunu anlıyoruz. Eğer dikkatli olmazsak ivme yüzünden yere yapışabiliriz. Bu anlamda ivmeli hareketler "mutlak" görünür. "Özel" görelilik kuramı -Einstein'ın kuramının 1905'teki hali böyle anılır- böyle hareketlere uygulanmıyor. Dahası, 1905 makalesi elektrodinamik üzerine kurulu ve

aslında adı da "Hareketli Cisimlerin Elektrodinamiği". En önemli yönlerinden biri elektriği ve manyetizmayı birleştirmesi. Yani hareketsiz durumdaki bir elektron karşıt yüklü bir cismi sadece elektriksel bir kuvvetle çekerken, aynı elektrona sabit hızda bir hareket verilirse hem elektrik hem manyetik kuvvet özellikleri gösterir. Hepimizin aşina olduğu bu türden bir "elektromıknatıs", hareket eden elektronların manyetizmasından yararlanır. Bütün bu elektronları hareketsiz hale getirirsek bu manyetik etki kaybolur. Bu iki kuvvet elektromanyetizma dediğimiz kuvvetin değişik görünüşleridir. Einstein'dan önce de, hareket halindeki yüklerin manyetik alan oluşturduğu bilinen bir şeydi. Ama 1905 tarihli makale bu ilişkileri anlaşılır hale getirdi.

Kütleçekimi bu düzene uymuyor. Hareket haliyle bariz bir ilişkisi varmış gibi durmuyor. Ama eşdeğerlik ilkesi böyle bir bağlantı olduğunu ortaya çıkarıyor. Bize Dünya yüzeyinin yakınından 9,8 metre bölü saniye bölü saniye ivmeyle düşmekte olan cisimlerin kütleçekimi kuvvetini hissetmediklerini söylüyor. Çatıdan düşen boyacının ayağına bir terazi bağlı olduğunu düşünelim. Çatıdan düşmeden önce tartı 80 kilogramı gösteriyor olabilir, ama boyacı ve tartı düşmeye başladıkları anda 0 kilogramı gösterecek! Boyacı artık ağırlıksız. Bu düşünce yıllar sonra olayı şöyle anlatan Einstein'ı çok etkilemişti: "Bern'deki patent bürosunda bir sandalyede oturuyordum ki bir anda aklıma bir fikir geldi: 'İnsan serbest düşüş halindeyken kendi ağırlığını hissetmez'. Birden irkildim. Bu basit fikir üzerimde derin bir etki bıraktı. Beni kütleçekimi kuramına yöneltti."

"Einstein asansörü" olarak bilinen örneği ele alırsak, Einstein'ın fark ettiği şeyin -ve eşdeğerlik ilkesinin- ne demek olduğunu kavramaya başlayabiliriz. Uzayda ka-

palı bir kutudan oluşan hayali bir asansör bu. Asansörü Şekil 13'de görüldüğü gibi bir kabloya bağladığımızı farz edelim.



Şekil 13

Şimdi kabloyu çekerek asansörü yukarı doğru 9,8 metre bölü saniye bölü saniye kadar ivmelendirirsek, asansörün tabanı asansörün içindeki cisimlere doğru ivme kazanacaktır. Asansörün içindeki bir kişi, zemine doğru asansörün tabanının yukarı doğru ivmesi olan 9,8 metre bölü saniye bölü saniye ivmeyle düşüyormuş gibi hisseder.

Ama eşdeğer bir açıklamayı "asansörün" Dünya'nın yüzeyinde hareketsiz olduğu durum için de yapabiliriz. Bu sefer onu yukarı çeken hiçbir şey yok, ama kütleçekimi her şeyi aşağıya çekiyor. Cisimler asansörün tabanına 9,8 metre bölü saniye bölü saniye ivmeyle düşüyor. Bu durumu önceki durumdan ayırt etmenin bir yolu yok. Aynı olguyu tanımlamanın iki eşdeğer yolu var. Bu nedenle eşdeğerlik ilkesi de bir tür görelilik ilkesi, ama ivmeyi ve kütleçekimini de kapsıyor.

Einstein'dan daha zayıf bir fizikçi buraya kadar gelebilirdi, ama bir sonraki adımı yalnızca Einstein gibi bir fizikçi atabilirdi. Einstein, eşdeğerlik ilkesinin kütleçekiminin uzayı ve zamanı değiştirdiğini gösterdiğini anladı. Önce zamanla başlayalım. Siren çalarak ilerleyen taşıtların bulunduğu şehirlerde yaşayanlarımız, bu araçlardan biri bize doğru yaklaşırken sirenin sesinin tizleştiğini gözlemiştir. Araç bizden uzaklaşırken de si-

renin sesi pesleşir. Bu ses dalgalarında Doppler kaymasıdır.

Işık dalgalarında da Doppler kayması görülür. Bunun en heyecan verici örneği evrenin kendisinin genişlemesinde görülür. Uzak galaksilerden bize doğru gelen ışığın dalga boyu kırmızıya kayıyor. Dalga boyu daha uzun görünüyor. Bunu galaksiler bizden uzaklaşıyor diye yorumluyoruz. Yalnızca birkaç yakın galakside maviye kayma var. Eğer bütün galaksiler maviye kaysaydı bu evrenin çökmekte olduğu anlamına gelirdi! c ışık hızının simgesiyken, c'ye göre düşük hızlar için, hareket eden bir cismin yaydığı ışığın dalga boyundaki kaymanın, aynı cismin hareketsizken yaydığı ışığın dalga boyundaki kaymaya oranının v/c olduğu gösterilebilir (belki fizik derslerinde bunu görmüşsünüzdür). Işık için Doppler kayması durumunda, λ' hareketli cismin yaydığı ışığın dalga boyu ve λ de cismin hareketsizken yaydığı ışığın dalga boyu iken:

$$\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

Galaksilerin kırmızıya kaymasını bizden uzaklaşma hızlarıyla ilişkilendirirken kullanılan temel denklem budur.

Dünya'ya dönersek, Einstein asansörümüzde tabanın üzerinde havada asılı duran ve tabana doğru ışık kuantumları yayan bir atomumuz olduğunu hayal edelim. Her ışık kuantumunun dalga boyu λ. Eğer asansör boş uzaydaysa ve ivmelenmiyorsa, gelen ışık kuantumlarının dalga boylarını ölçmek için asansörün tabanına kurulmuş bir aletin göstereceği dalga boyu budur. Şimdi ışık kuantumları yayılırken asansörün 9,8 metre bölü saniye bölü saniye ivmeyle yukarı doğru ivmelendirildiğini düşünelim. Asansörün tabanı ışık kaynağına göre hızlandığı için, Doppler kayması yüzünden ışık kuan-

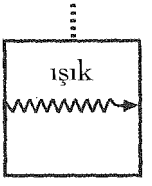
tumları maviye kaymış görünecektir. Işık kaynağı bize doğru yaklaşıyor. Ama eşdeğerlik ilkesi bize bu durumun yerine, Dünya'nın yüzeyinde durmakta olan ve Dünya'nın kütleçekim alanında olan bir asansör düşünebileceğimizi söylüyor. Bu durumda da ivmelendirilmiş asansörde gözlemleyeceğimiz maviye kaymayla eşit miktarda maviye kayma gözlemleriz. Yani kütleçekimi ışığın rengini değiştiriyor! Ama bir ışık dalgası -frekansının bir saat gibi davranması açısından- bir tür saat gibidir. Bir kütleçekimi alanındaki saatler, hiç kütleçekimi olmayan bir ortamdaki saatlerden farklı davranır.

Einstein, bu olağanüstü düşünceyi ağır yıldızların yaydığı ışığı araştırarak sınayabileceğini düşündü. Işık yıldızın kütleçekimi alanından çıktıkça kırmızıya kaymalıydı. Ama bu ortam yıldızın ışığının frekansını değiştirebilecek başka etkenler içermesi bakımından çok karmaşık olduğu için, yıldızlarda bu etkiyi ayırt etmek çok zordu. Einstein'ın kütleçekiminin zamanın yapısını değiştirdiği fikrine en iyi kanıt, yoğun beyaz cüce yıldızlardan gelir ve genel olarak Einstein'ın öngörüleriyle uyuşur.

Ama 1960'ların başında fizikçi R. V. Pound ve Harvard'daki meslektaşları Einstein'ın kütleçekimsel ışık kaymasını doğrudan gösteren bazı deneyler yaptılar. Harvard'daki Jefferson Laboratuvarı'nın 22,5 metre yüksekliğinde bir kulesi vardı. Kulenin tepesinden ışık gönderilip aşağıda gözlemlenebiliyordu. Pound'un deneyi, kulenin tabanının Dünya'nın merkezine kulenin tepesinden 22,5 metre daha yakın olmasından ve bu nedenle kütleçekiminin kulenin tabanında tepesinde olduğundan birazcık daha kuvvetli olmasından yararlandı. Deneyde kullanılan ışık kuantumları radyoaktif bir demir türünden yayılıyordu. Kuram bu ışıkta çok küçük

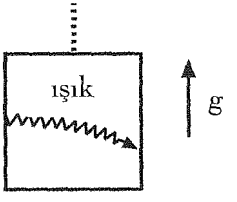
bir maviye kayma olacağını öngörüyordu; 10^{15}'te iki birim kadar bir maviye kayma. Deneyi yapanlar bunu ölçmeyi başardı ve böylece Einstein'ın fikrini doğruladılar.

Kütleçekiminin uzayın geometrisini nasıl değiştirdiğini görmek için yine Einstein asansöründen faydalanabiliriz. Bu sefer ışığın asansörün bir tarafından girip diğer tarafından çıktığını düşünelim. Şekil 14 bu durumu gösteriyor.



Şekil 14

Bir kez daha asansörün yukarı doğru ivmelendiğini hayal edelim. Böylece ışık asansörü terk ettiğinde tabana asansöre girdiğinde olduğundan daha yakın olacak. Şekil 15 bu yeni durumu gösteriyor.



Şekil 15

Uygulamada asansörden geçen ışık tabana doğru eğrilmiş gibi görünüyor. Yine eşdeğerlik ilkesine göre bu senaryoyu Dünya'nın yüzeyinde, kütleçekim alanının içinde duran bir asansöre uyarlayabiliriz. Şekli tekrar çizmemize bile gerek yok. Işık önceki kadar eğri olacak. Kütleçekimi ışığı eğiyor. Az önce öğrendiğimiz şeyin sonucunu "kütleçekimi olduğu durumda, ışığın bir noktadan diğer bir noktaya gitme süresini en aza indiren düz çizgisel yol 'eğridir'" diyerek ifade edebiliriz. Ama bunu ancak bir şekilde kütleçekimini yok edebilirsek bilebiliriz. Bu etkiyi gözlemlemek için üç ışık ışınından bir üç-

gen oluşturabiliriz -en azından zihnimizde. Sonra bu ışınların birbirleriyle yaptığı açıları, yani üçgenimizin iç açılarını ölçebiliriz. Kütleçekiminin olmadığı durumda bu açıların toplamının 180 derece olduğunu -Eukleides geometrisindeki o ünlü sonuç- buluruz. Ama kütleçekiminin olduğu durumda bu toplamı 180 derece olarak ölçemeyiz. Çünkü o zaman uzay "Eukleidesçi olmayan" uzay olur. Üçgenimizin açılarının toplamı, hangi Eukleidesçi olmayan geometriyi kullanıyorsak o geometriye göre, 180 dereceden fazla ya da 180 dereceden az olabilir. Uzayın yapısı geometrisine göre belirlendiğine göre, Einstein'la beraber biz de kütleçekiminin uzayı "eğdiğini" söyleyebiliriz.

Einstein 1907'de eşdeğerlik ilkesiyle ilgili birkaç şey yayımladı, ama 1911'de "Kütleçekiminin Işığın Yayılmasına Etkileri Üzerine" adlı çok güzel bir kısa makale yayımlayana kadar bu ilkenin deneysel olarak sınanması konusunda bir şey önermedi. Bu arada özel yaşamında birçok değişiklik olmuştu. Daha önce gördüğümüz gibi 1909'da üniversitede doçent olarak Zürich'e taşındı. Ertesi yıl "Tede" ya da "Tedel" olarak bilinen ikinci oğlu Eduard doğdu. Bu talihsiz çocuk doğumundan itibaren psikolojik sorunlar yaşamışa benziyor. Bunun Einstein'da yarattığı üzüntü 1917'de Tede altı yaşındayken Michele Besso'ya yazdığı bir mektuba yansıyor: "Küçük oğlumun durumu beni çok endişelendiriyor. Bir gün herkes gibi olma ihtimali hiç yok. Kim bilir, belki de yaşamı tanımadan bu dünyayı terk etmesi onun için daha iyi olurdu." Bir babanın oğlu hakkında böyle yazmasının ne demek olduğunu düşünebiliyor musunuz? Tede yaşamını akıl hastanelerine girip çıkarak geçirdi ve sonunda 1965 yılında İsviçre'de bir hastanede öldü.

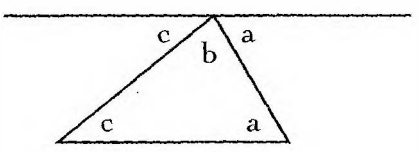
Zürich Üniversitesi'nde yalnızca bir yıl geçirdikten sonra Einstein Prag'daki Alman Üniversitesi'nde profesörlüğe atandı. Ernst Mach da çalışma hayatının büyük bölümünü orada geçirmişti. Bu Avusturya-Macaristan imparatoru Franz Joseph'in onaylaması gereken çok önemli bir atamaydı. Yemin töreninde yeni profesörün amiral üniformasını andıran özel bir kıyafet giymesi gerekiyordu. Philipp Frank Einstein'ın yerine Prag'a geldiğinde, Einstein yemin töreni için kendi üniformasını ona verecekti. Einstein epeyi iri, Profesör Frank ise ufak tefek olduğuna göre üniforma Frank'e pek de iyi uymamış olmalı.

Profesör Frank Einstein'ı Prag'daki ziyaretlerinden birini sık sık anlatırdı. Einstein'ın ofisi, içinde gölge veren ağaçlar ve güzel bir bahçe olan bir parka bakıyordu. Einstein gün boyu parkta çeşitli türden hararetli tartışmalar yapan gruplar, bazen de kendi kendilerine konuşan insanlar görüyordu. Sonradan o yerin bir akıl hastanesi olduğunu ve o insanların da kapatılmaları gerekmeyen hastalar olduğunu öğrendi. Bunu Profesör Frank'e anlattı ve şöyle dedi: "İşte bunlar da zamanlarını kuantum kuramını düşünmekle geçirmeyen deliler."

Bir yıl sonra Einstein Zürich'te kendi okuduğu okul olan ETH'den aldığı teklifi kabul etti. Taşınma nedenlerinden biri belki de Mileva'yla evliliğindeki gerginliklerdi. Einstein ortam değişikliğinin evliliğini kurtarmaya yardım edeceğini düşünmüş olabilir. Dışarıdan bakan biri için bir evliliğin tam olarak neden bozulduğunu anlamak her zaman zordur. Profesör Frank Einstein'la Mileva'yı beraber görmüştü; onlar hakkındaki yazıları Mileva'yı soğuk ve tepkisiz bulduğu, ondan pek hoşlanmadığı izlenimini veriyor. Ama Mileva'yı tanıyan bazı insanlar buna şiddetle karşı çıkıyorlardı. Mileva'nın sonradan

BİR GEOMETRİYİ EUKLEİDESÇİ YAPAN NEDİR?

Eukleidesçi bir geometriyi tanımlayan nedir? Çoğunuz için bu aptalca bir soru olmalı, çünkü öğrendiğiniz muhtemelen tek geometri Eukleides'inkidir. Ama sabırlı olun! Size bütün üçgenlerin iç açılarının toplamının yüz seksen derece ettiğinin öğretildiğini hatırlayın. Size bunun kanıtını hatırlatayım. İlgili şekil aşağıda.



Şekil 16

Bu çizimde üçgenin tabanına paralel bir çizgi olduğuna dikkat edin. Eukleidesçi geometride böyle yalnızca bir çizgi vardır ve üçgenin iç açıları şekilde gördüğümüz gibi ilişkilidir. Şeklin kısaca incelenmesi böyle bir üçgenin iç açılarının toplamının neden 180 derece ettiğini gösteriyor. Ama yalnızca bir tane paralel çizgi olduğunu, hatta herhangi bir paralel çizgi olduğunu nereden biliyoruz?

Eukleides'in yarattığı geometride, bu doğru olduğu kanıtsız olarak varsayılan bir postula -aksiyom- olarak kabul ediliyor. Ama Eukleides'ten sonraki matematikçiler, beşinci aksiyom denilen bu aksiyomun Eukleides'in diğer aksiyomlarından çıkarılabilir olması gerektiğini düşündüler. Çok çaba harcanmasına rağmen yüzyıllar boyunca bu aksiyom bir türlü kanıtlanamadı. 19. yüzyılın başlarında büyük Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss farklı bir yoldan gitmeye karar verdi. Eukleides'in paralellik aksiyomunu bir tarafa bırakan bir geometri kurmayı başardı. Gauss geometrisinde verili bir çizgiye sonsuz sayıda paralel çizgi çizilebilir. Üstelik üçgenin iç açılarının toplamı 180 dereceden azdır. Uygulamada nasıl yapılacağı belli olmasa da, Gauss uzayda üç yıldızı birleştiren ışık ışınlarının oluşturduğu dev üçgenlerin Eukleidesçi olup olmadığını sınama fikrini de ortaya attı. Gauss Eukleidesçi olmayan geometrisinden sanki utanmış gibi görünüyor. Hatta eğer János Bolyai ve Nikolay Lobaçevski adlı matematikçiler birbirlerinden bağımsız olarak aynı zamanda aynı şeyi keşfetmiş olmasa ve bu rekabet Gauss'a önceliği almak fikrini vermese çalışmasını hiç yayımlamayabilirdi de.

19. yüzyılın ortalarında Alman matematikçi Bernhard Riemann paralel çizgilerin olmadığı bir geometri ortaya koydu. Bir kürenin yüzeyindeki büyük çemberler böyle bir geometrinin örneğiyken, eyer şekilli bir yüzeydeki çizgiler de Gaussçu geometriye örnektir. Riemann bütün bu geometrileri kavramsal bir şemsiye altında birleştirdi; Einstein da bunu en güzel buluşunu yaptıktan on yıl sonra tekrar keşfedip kullanacaktı.

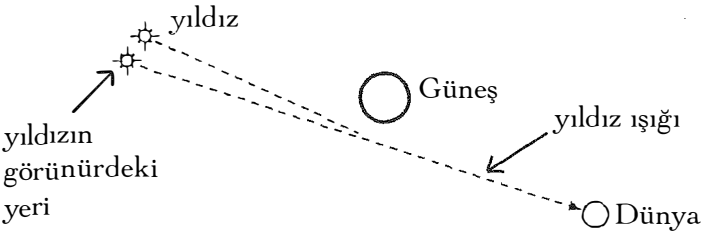


Eski Yunanlı matematikçi Eukleides'in MÖ 4. yüzyılda oluşturduğu geometri, 19. yüzyılda birçok yeni geometri oluşturulana kadar rakipsizdi.

Amerika Birleşik Devletleri'ne yerleşen ve Berkeley'deki California Üniversitesi'nde başarılı bir hidrolik mühendisliği profesörü olan büyük oğlu Hans Albert 1973'teki ölümünden önce, annesinin sevgi dolu ve kendisi de sevilmeye muhtaç bir kişi olduğunu anlatmıştı. Einstein'la yaşamak birtakım tatminler sağlasa da bir kadın için kolay olmuş olamaz. Einstein fizikteki yolunu bulduktan sonra kimseye ve hiçbir yere ait olmadı. Yaşadığı ülkelere özel bir bağlılığı yoktu ve çevresindeki insanlar her zaman onun ulaşılmaz olduğunu düşünürdü. Yaşamını fizik hakkında düşünerek geçirdi ve bu yalnız yürümesi gereken bir yoldu.

Einstein'ın kütleçekiminin ışık üzerindeki etkisini konu alan 1911 tarihli makalesinin bir kısmı, daha önce gördüğümüz gibi kütleçekiminin ışığın kırmızıya ve maviye kaymasına yol açması ve bu etkiyi yıldızlarda ölçme olanağıyla ilgiliydi. Makalenin gerisi kütleçekiminin ışık ışınlarını eğmedeki rolü üzerine. Makalede bunun uzay-zaman geometrisi için ne anlama geldiği konusuna hiç değinilmiyordu. Bu çalışma daha sonra gelecekti. Tüm makale yalnızca eşdeğerlik ilkesi üzerine kurulmuştu. Einstein'ın verdiği örnekte uzak bir yıldızdan gelen ve Güneş'in yüzeyini sıyırıp geçen bir ışık var. Yıldızın ışığı Güneş'in kütleçekimi yüzünden, Şekil 17'de abartılı bir biçimde gösterildiği gibi eğiliyor.

Uzaktaki yıldız bu sapmadan dolayı gözlemciye Güneş'e göre biraz daha farklı bir noktadaymış gibi görünecek. Einstein bunu ölçmenin akıllıca bir yolunu buldu. Önce yıldızlı bir bölgenin fotoğrafı çekilip, sonra tam Güneş tutulması beklenir ve ışıkları Güneş'i sıyırarak geçen aynı bölgedeki yıldızların tekrar fotoğrafı çekilebilirdi. Kurama göre, bu koşullar altında yıldızların fotoğraflardaki görünür konumlarında ufak bir



Şekil 17

kayma görülmesi beklenir. Bu da sınanması gereken bir öngörüydü. Ama aşağıda açıklanacak nedenlerden dolayı ancak sekiz yıl sonra sınanabilecekti; o zaman da sınanan Einstein'ın 1911 tarihli makalesindeki öngörü değil, 1916 tarihli şaheserindeki -genel görelilik ve kütleçekimi kuramı- öngörüydü.

Einstein 1914 ilkbaharına kadar Zürich'teki ETH'de kaldı. Henüz beş yıl sonra olacağı gibi dünya çapında ünlü değildi, ama genel görelilik kuramı doğrulandıktan sonra o konuyu bilenlerin hiçbirinin artık Einstein'ın gelmiş geçmiş en büyük fizikçilerden biri olduğuna şüphesi yoktu. Bu nedenle Zürich'e taşındıktan kısa süre sonra kuramsal bir fizikçi için Avrupa'daki muhtemelen en saygın işin ona teklif edilmiş olması şaşırtıcı değil. Berlin Üniversitesi her alandan saygın bilim adamını tek bir çatı altında toplamıştı. Bu bilim adamlarının arasında daha önce Nobel Ödülü almış olanlar ve ileride aynı ödülü kazanacak kişiler vardı.

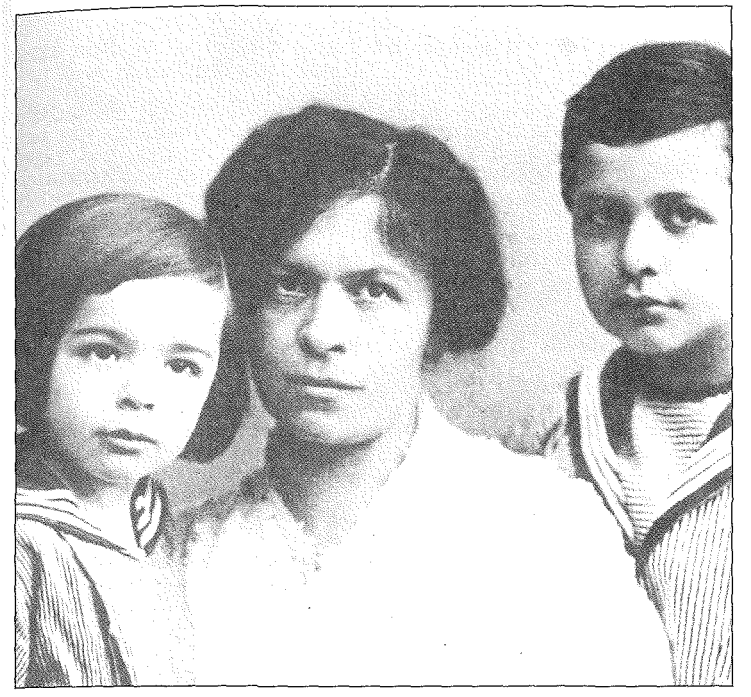
Kuramsal fizikte kıdemli profesör Max Planck 1913 ilkbaharında Berlin'e gelmek konusunda ağzını aramak için Einstein'ı ziyaret etti. Teklif reddedilemeyecek kadar güzeldi. Einstein'ın derse girme sorumluluğu olmayacaktı. O zamana kadar öğretmenlikten sıkılmıştı. Yeni bir kütleçekimi kuramı geliştirmekle uğraşıyordu ve dikkati bölünmeden çalışabilmek istiyordu. Planck aynı

zamanda Einstein'a Prusya Bilimler Akademisi'ne üyelik ve açılması planlanan bir kuramsal fizik enstitüsüne müdürlük önerdi.

Einstein teklifi kabul etti ve Mileva ve iki oğluyla beraber Berlin'e taşındı. Ama aile uzun süre bir arada kalmadı. Kısa süre sonra çift temelli ayrıldı; Einstein Berlin'de kalırken Mileva oğullarıyla beraber İsviçre'ye geri döndü. Sonunda 1919'da boşandılar. Boşanma şartlarından biri Einstein'ın ileride kazanabileceği bütün Nobel Ödüllerinden alacağı paranın Mileva'ya verilmesiydi.

Mileva gittikten sonra Einstein bir bekâr evine taşındı. Kendisini daha önce sorumsuz, dalgın bir bilim adamı olarak gören varlıklı ve tutucu bazı Berlinli akrabalarıyla tanıştı -daha doğrusu tekrar yakınlaştı. Ama şimdi dünyanın tartışmasız en saygın bilimsel kurumunda profesördü. Ailenin reisi Rudolf, Einstein'ın babasının kuzeniydi. Einstein'ın çocukluktan beri tanıdığı Elsa adında bir kızı vardı; yaklaşık aynı yaştaydılar. Elsa, Lowenthal adında bir adamla evlenmişti; Ilse ve Margot adlarında iki kızı vardı. Lowenthaller boşanmıştı ve Einstein'la kuzeni Elsa beraber gitgide daha çok zaman geçirmeye başladılar.

Einstein Prusya Akademisi'ne resmi giriş konuşmasını Temmuz 1914'te yaptı. Ağustos ayında I. Dünya Savaşı başladı. Sonraki birkaç yıl Einstein için hem çok zor hem de çok heyecanlıydı. Savaştan, en çok da Alman meslektaşlarının aptalca bulduğu yurtseverliklerinden nefret ediyordu. Savaş çıktığı zaman bu meslektaşları "Uygar Dünyaya Bildiri" adında bir belge yayımladılar. Alman kültürünü kabul eden herkesin, o kültürün bir parçası olduğu için Alman askeri ülküsünü de kabul etmesi gerektiğini öne sürdüler. Planck da dahil olmak üzere tanınmış doksan üç Alman bilim ada-



Einstein'ın ilk karısı Mileva ve oğulları Eduard (solda) ve Hans Albert (sağda). Çift 1914'te ayrıldıktan sonra Mileva oğullarının vesayetini aldı.

mı, müzisyen ve yazar bu belgeyi imzaladı. Einstein reddetti. Tersine, savaşı durdurmaya çalışan, ama bunda başarılı olamayan diğer ülkelerdeki savaş karşıtlarına katıldı.

1915'te Einstein bu antimilitaristlerden birini, İsviçre'de sürgünde yaşayan Fransız yazar Romaine Rolland'ı ziyaret etti. Rolland bu görüşmeyi günlüğünde anlatmış. Yaptığı betimleme Einstein'ın yaratıcı gücünün doruğuna ulaştığı 30'lu yaşlarının ortasında nasıl göründüğü hakkında bize bir fikir veriyor. Rolland şöyle yazıyor: "Einstein hâlâ genç bir adam, çok uzun boylu değil, geniş ve uzun bir yüzü var; yüksek alnından çıkan kıvırcık ve simsiyah, yele gibi saçlarında birkaç beyaz tel var. Burnu etli ve büyük, ağzı küçük, dudakları dolgun, yanakları tombul ve çenesi yuvarlak. Fırça gibi bir bıyığı var. Fransızcayı aralara Almanca sözcükler katarak, duraklayarak konuşuyor. Canlı ve

gülmeyi seven bir adam. En ciddi düşüncelere bile komik bir hava vermeyi başarıyor."

Rolland şöyle devam ediyor: "Einstein yaşadığı yer ve ikinci (ya da birinci) vatanı olan Almanya hakkındaki görüşü konusunda inanılmaz açık sözlü. [İnsan Rolland'ın Einstein'ın vatanı konusundaki kararsızlığının nedenini anlayabiliyor. Einstein doğuştan Alman vatandaşıydı. Sonra İsviçre vatandaşı olmayı seçti. 1913'te Prusya Akademisi üyesi olarak tekrar otomatik olarak Alman vatandaşı da olmuş olması muhtemel. 1940'ta Amerikan vatandaşı oldu ama İsviçre vatandaşlığını da devam ettirdi.] Başka hiçbir Alman aynı özgürlükle hareket edip konuşmuyor. Kim olsa geçen o korkunç yıl [savaşın sürmekte olduğu yıl] boyunca yalnızlık çekerdi, ama o çekmedi. O gülüyor. Savaş sırasında en önemli bilimsel çalışmasını yapabilmiş."

Einstein Rolland'a ne kadar kaygısız görünmüş olsa da savaş yıllarında olan bitenler sağlığını olumsuz etkiledi. Öncelikle İsviçre'deki ailesi için endişeleniyordu. İkincisi, bir İsviçre vatandaşı olarak İsviçre'den yiyecek alma hakkı olduğu ve aldığı halde Almanya'da yiyecek sıkıntısı çekiyordu. Üçüncü olarak da Newton'unkinin yerini alacak yeni bir kütleçekimi kuramı yaratmak gibi muazzam bir çaba içindeydi. Uzun süreler boyunca onu yatağa bağlayan bir mide ülserine yakalanmış olması şaşırtıcı değil. Rudolf'la ailesi, özellikle de Elsa olmasa her şey çok daha kötü olabilirdi. Elsa ona bakıyordu. Öncelikle de düzgün beslenmesini sağlıyordu.

1917 yazında Einstein Elsa'nın dairesinin yanında bir daireye taşındı ve bir yıl sonra da evlenmeye karar verdiler. Mileva'yla resmen boşanma sürecini bu noktada başlattı. Mileva boşanma fikrini hiçbir zaman içine sindiremedi ve bu üzerinde ömrü boyunca buruk bir etki

bıraktı. Einstein çok sonra "Bu olay çok şefkatle bağlı olduğum iki oğlumla olan ilişkimi kötüleştirdi. Yaşamımın bu üzücü yanı ileri yaşlarıma kadar düzelmedi." diye yazdı. "Schatzerl" ve "doxerl" günleri sona erivermişti.

Bütün bu kişisel sorunlar Einstein'ın fizik hakkında düşünmesini engellemedi. Neredeyse eşdeğerlik ilkesiyle ilgili 1911 makalesini yayımladığı andan itibaren Einstein bunun tamamlanmış bir kütleçekimi kuramı olamayacağını fark etti. İlkenin en önemli eksikliği belli bir tür kütleçekimsel etkileşime uygulanabilmesiydi, o kadar ki böyle etkileşimler doğada asla bulunmuyordu, en azından tam olarak ilkede belirtildiği haliyle. Eşdeğerlik ilkesi uzayda sabit bir kütleçekimi kuvveti üzerine yoğunlaşır. Buna "düzgün" kütleçekimi alanı denir. Ama hiçbir gerçek kütleçekimi alanı düzgün değildir. Dünya'nın yüzeyindeki kütleçekimi alanı bile düzgün değildir. Kütlelerin Dünya üzerinde ve içinde düzgün bir şekilde dağılmamış olmalarından kaynaklanan kütleçekimi değişikliklerinden başka, kütleçekimi kuvveti kişinin Dünya yüzeyinden ne kadar yüksekte olduğuna da bağlıdır. R. V. Pound ve Harvard'daki meslektaşlarının daha önce bahsettiğimiz deneylerinde yararlandıkları etki buydu. Bu etkilerin bizim deney yaptığımız alanlara kıyasla çok uzun mesafelerde etkili olduğunu savunarak bu değişimleri göz ardı edersek, eşdeğerlik ilkesi bize birçok amaç için yaklaşık doğru sonuçlar veriyor. Ama genelde doğru değil. Einstein bunu 1911'de fark etti. Peki bu konuda ne yapılmalıydı?

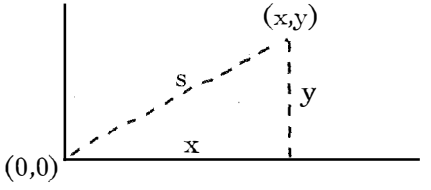
Özel görelilik kuramı, hareketsiz duran bir gözlemciden sabit hızla olarak hareket eden bir gözlemciye, uzay ve zaman koordinatlarının değişimiyle ilgilenir. Eşdeğerlik ilkesi, sabit bir kütleçekimi alanında hareketsiz

duran bir gözlemciyle, kütleçekimi kuvvetinden etkilenmeyen ama sabit bir hızla ivmelenen bir gözlemci arasındaki değişimlerle uğraşır. Einstein'ın gerekli olduğuna kadar verdiği kuram, bütün bu durumlarda uzay-zaman değişkenlerinin değişimine izin veren bir kuramdı. Başta böyle bir kuramı inşa etmek için gerekli matematik bilgisi yoktu. ETH'de öğrenciyken biraz matematik okumuş olmalıydı, ama konuya çok önem vermemiş ve unutmuştu. Ama yine ETH'den, matematiği unutmamış bir başka öğrenci olan Marcel Grossman'ı tanıyordu. Grossman Einstein'ın yaşamının çeşitli noktalarında önemli roller oynadı. Derslerde tuttuğu ayrıntılı notlar ETH'de Einstein'ın sınavları geçmesini sağlamıştı. Einstein'ı patent bürosuna tavsiye eden Grossman'ın babasıydı. 1912 yılında Einstein'ı ETH'ye geri gelmeye ikna eden, artık matematik ve fizik bölümünün dekanı olan Grossman'dı. Şimdi Einstein'ın her şeyi kapsayın dönüşüm kuramının matematiğine yardım etmesi için yardım istediği kişi de yine Grossman'dı.

Grossman Einstein'ın gereksinim duyduğu ufak-alan geometrisi türünde uzman değildi. Ama Grossman Eukleidesçi olmayan bir tür geometri keşfetmiş olan Alman matematikçi Bernhard Riemann'ın bu geometriler için genel bir kuram geliştirmiş olduğunu gördü. Riemann 40 yaşına bile gelmeden 1866 yılında veremden ölmüş, olağanüstü bir matematik dehasıydı. Yirmili yaşlarının sonlarında günümüzde "Riemann uzayı" olarak bilinen konunun özelliklerini anlattığı, geometrinin temelleri konulu bir ders vermişti. Riemann uzayının temel özelliği, bu uzaydaki herhangi iki nokta arasındaki "uzaklığın" tanımlanabilmesiydi. "Uzaklığı" tırnak içinde yazdım çünkü göreliliğe göre hem uzay hem zaman içerilmelidir ve söz konusu uzaklık iki nokta ya da uzay-

zamanda adlandırıldığı şekliyle "olay" arasındaki "uzaklık"tır. Birazdan göreceğimiz gibi uzay ve zaman arasında her zaman bir ayrım yapmak mümkün olmadığı halde, göreliliği ilgilendiren Riemann uzayı üç uzay ve bir zaman boyutundan oluşan dört boyutlu bir uzaydır.

Biraz daha ayrıntıya inersek, iki olay arasındaki uzaklık "metrik" olarak tanımlanır. Metriğin çok basit bir örneği Şekil 18'de gösterildiği gibi, (x,y) koordinatlarıyla tanımlayabileceğimiz bir noktayla, (0,0) koordinatlarına sahip olan koordinat sisteminin başlangıcı arasındaki uzaklıktır.



Şekil 18

Bu uzaklığa s dersek, Pythagoras teoremine göre

$$s^2=x^2+y^2$$

elde ederiz. Riemann, koordinatların varolduğu uzayın Eukleidesçi olmadığı düşünülürse metriğin daha karmaşık hale geldiğini fark etti. Nitekim her metrik bazısı bir küreye, bazısı bir eyere, bazısı da başka yüzeylere uygun, Eukleidesçi olmayan farklı farklı geometriler tanımlar. Hatta Riemann verdiği derste uzayın asıl metriğinin yapısının (Riemann göreliliği bilmiyordu, o yüzden uzay-zamandan değil uzaydan bahsediyordu) "ona etki eden kuvvetlere" bağlı olduğunu varsayıyordu. Bu da Einstein'ın bulduğu şeyin ta kendisiydi.

Kütleçekimiyle geometri arasındaki bağlantıyı kurmak Einstein'ın bir üç yılını daha aldı. Bu üç yıl Einstein'ın en yoğun çalıştığı üç yıldı. Neden o kadar zor yıllardı? Riemann ve diğerleri Eukleidesçi olmayan uzayın matematiğine şöyle bir değinmişlerdi, ama Einstein

başlangıçta Grossman'ın yardımıyla, sonra da kendi başına onu kullanılır hale getirmek zorundaydı. Einstein'ın 1916'da yayımladığı "Genel Görelilik Kuramının Temelleri" adlı makaleye bakarsanız büyük bölümünün bir tür matematik dersi olduğunu görürsünüz. Okuyucuya Riemann'ın ve onun takipçilerinin matematiğini öğretmesi gerekiyordu. Bu konu birçok fizikçiye yabancıydı; herhangi bir matematikçinin de konuyu Einstein kadar ayrıntıyla ortaya koymuş olması düşük bir ihtimaldi. Bu makaleyi okumamış olanlar Einstein'ın zayıf bir matematikçi olduğunu söyler. Einstein kendisi de matematik bilgisi hakkında şakalar yapardı. Ama tıpkı Newton'un kendi kütleçekimi kuramını geliştirirken yaptığı gibi, Einstein da ileri matematiğe gereksinimi olduğunda onu yaratmayı veya ödünç almayı bildi.

Einstein'ın üç yıllık projesinin ikinci ve belki de en büyük zorluğu, onu özel görelilik için çok önemli olan uzayla zaman arasındaki kesin ayrımdan vazgeçmeye zorlamış olmasıdır. Kütleçekimi olmadığında uzay ve zaman ayrı şeyler. Özel göreliliğin metriğinde ayrı rolleri var. Ama kütleçekimi olduğunda metrik değişiyor ve uzayla zaman birbirine karışıyor. Metriğin dört koordinatı var, ama uzay ve zaman koordinatları birbirine karışıyor. Yalnızca kütleçekimi zayıf olduğunda ayırt edilebiliyorlar. Bu Einstein için çok zor bir kavramsal engeldi. Eukleidesçi olmayan dört boyutlu uzay-zaman geometrisinde düşünmeyi öğrenmesi gerekti.

İnsan böyle bir kuramı nasıl sınar? Kuramın öngörüleri nesnelerin kütleçekim etkisi altındayken nasıl hareket ettiğiyle ilgili. Newton'un kuramında nesnelerin hareketini F=ma yazıp denklemi çözerek tahmin ediyoruz. Ama Einstein'ın kuramında gerçek bir kuvvet yok. Uzay-zamanın geometrisini (metriğini) kütleçekimi be-

lirliyor. Uzay-zamanda iki noktayı birleştiren "düz çizgi"yle ne kastettiğimizi bu metrik tanımlıyor. Böyle bir çizginin Eukleidesçi geometrideki düz çizgi olmadığını gördük. Böyle çizgilerle oluşturulan üçgenler Eukleides'in aksiyomlarına uymayacaktır. Önemli olan "jeodezik" adı verilen düz çizgilerin iyi tanımlanmış ve ilke olarak kütleçekimi alanından belirlenebilir olmaları. Işık veya başka bir cisim bir noktadan diğerine giderken kütleçekimi tarafından belirlenmiş bu düz çizgilerden biri boyunca yol alır. Einstein'ın uzay-zaman kuramının ana fikri budur. İşin matematik kısmı ise tamamen ayrı bir mesele.

Einstein'ın yapması gereken ilk iş, bir uzay-zaman metriğindeki kütleçekim alanı zayıfsa Newton'un yasasının neredeyse tam olarak kullanılabileceğini göstermekti. Uzay-zamanın birçok uygulaması için Newton yasası gayet yeterlidir. Onu boş yere kaldırıp atmamalıyız. Einstein kütleçekimi zayıfken kendi denklemlerinin Newton'un denklemlerine indirgenebileceğini kanıtladı. Yeni fizik bir sonraki yaklaşımdan doğdu. Bu noktada Einstein kuramının bir anlamda zaten doğrulanmış olduğunu fark etti. 1854'te Fransız gökbilimci Urbain Leverrier Merkür gezegeninin yörüngesinin Newton'un kütleçekim yasasına uymadığını keşfetmişti. Newton yasaları, Güneş'in kütleçekim alanının etkisi altındaki gezegenlerin, örneğin Merkür'ün yörüngesinin kapalı bir elips olacağını öngörür. Ama Merkür'ün eliptik yörüngeleri kapanmıyor gibiydi. Merkür'ün binyıllar içinde uzayda çizdiği yörüngelerin izi çıkarılabilse, ortaya çıkan şekil bir elipse değil de bir çiçeğin taçyapraklarına benzerdi. Gökbilimciler gezegenleri ve benzer gökcisimlerini araştırırken bu cisimlerin yörüngelerinde tek bir nokta seçip bu noktanın her yıl nasıl değiştiğine ba-

karlar. Genelde seçtikleri nokta "günberi" adı verilen, yörüngenin Güneş'e en yakın noktasıdır. Leverrier Merkür'ün günberi noktasında, gezegenin Güneş'le ve diğer gezegenlerle arasındaki kütleçekimi etkisi sonucunda yörüngesinde oluşan düzensizlikle açıklanamayacak, yüzyılda 38 açı saniyelik bir kayma keşfetti. Sonraki gözlemler bu etkiyi doğruladı ama miktarını yüzyılda 43 açı saniyeye yükseltti. Leverrier bunu açıklayamıyordu. Düşündüğü açıklamalardan biri Merkür'ün yörüngesini bozan keşfedilmemiş bir gezegen olabileceğiydi. Bu gezegene bir ad bile bulmuştu: Vulkan. Öyle bir gezegen hiç keşfedilmedi.

Başkaları Leverrier'nin gözlemini açıklamak için Newton'un kütleçekimi yasasında keyfi değişiklikler önerdi. Ama şimdi Einstein'ın yeni bir kütleçekimi kuramı vardı; Newton yasasında çok belirli bir düzeltme yapılmasını öneriyordu. Bu kuramın temel ilkelerinden yola çıkarak Merkür'ün günberisindeki kaymayı hesapladı. Bunu yaptığı zaman Leverrier'nin gökbilimsel ölçümleriyle özde tam olarak uyuşan bir sonuç elde etti. Sonradan "Birkaç gün boyunca sevinçle karışık bir heyecandan kendimden geçmiş durumdaydım." diyecekti. Bunun nedenini anlamak zor değil. Artık kuramının doğru olması gerektiğini biliyordu. Bu, Newton'dan beri kütleçekiminin anlaşılması yolunda ilk büyük adımdı.

Einstein yeni kuramını yıldızların ışığının Güneş'in kütleçekimi tarafından eğilmesini tekrar incelemek için de kullanabilirdi. Bunun hesabını yaptığı zaman, Güneş tutulması sırasında ışıkları Güneş'in yanından geçen yıldızların görünürdeki yer değiştirmesinin, 1911'de eşdeğerlik ilkesi hesaplarının öngördüğünden iki kat daha fazla olacağını fark etti. Bu etkiyi gözlemlemek için tek gereken bir tutulmaydı. Aslında 1914 yılının Ağustos

ayında Rusya'da, Kırım'da bir tam Güneş tutulması gerçekleşmişti. Hatta Einstein'ın bir meslektaşı, gökbilimci Erwin Freundlich Einstein'ın 1911 tarihli makalesinden esinlenip 1914'te Kırım'a giderek Güneş'in yıldız ışıklarını saptırmasını ölçmek istemişti. Ama bu araştırma gezisi Birinci Dünya Savaşı'nın başlangıcına takılmış, araştırma ekibinin üyelerinin başına bir şey gelmemiş ancak yıldızları gözlemlemeye de fırsat bulamamışlardı.

1919'a kadar Einstein'ın öngörüsü sınanamadı. 1917'de İngiliz Kraliyet gökbilimcisi F. W. Dyson İngilizlerin tekrar bir Güneş tutulmasının gerçekleşeceği 1919'da araştırma gezileri düzenlemesini önerdi. İki araştırma gezisi yapıldı. Gökbilimci Andrew Crommelin liderliğindeki bir grup Brezilya'ya, Sobral'a gitti. Arthur Eddington liderliğindeki öteki grup İspanyol Ginesi* açıklarında bir ada olan Principe'ye gitti. Bir Quaker ve savaş sırasında da vicdani retçi olan Eddington 20. yüzyılın en büyük astrofizikçilerinden biriydi. Ona göre bir İngiliz araştırma grubunun bir "Alman" fizikçinin öngörüsünü sınıyor olması savaşın gerçekten bittiğini gösteriyordu. Ayrıca Eddington harika bir yazardı. Principe'ye yapılan araştırma gezisini anlatışı o kadar canlı ki bir başka gezi daha yapılmış olduğunu unutturuyor. İşte kitabı *Uzay, Zaman ve Kütleçekimi*'nde yazdıkları:

> Tutulmanın olduğu gün hava elverişsizdi. (.....) Çektiğimiz on altı fotoğraftan yalnızca bir tanesi kaymayı saptamak için uygun olan beş yıldızın oldukça iyi görüntüsünü verdi. Kayma mikrometrik bir ölçme aracıyla tutulmadan birkaç gün sonra yerinde ölçüldü. Sorun yıldızların

*Bugünkü adıyla Ekvator Ginesi (ç.n.)

görünürdeki konumlarının Güneş'in kütleçekim alanından nasıl etkilendiğini, tutulma sırasında çekilmiş fotoğraflarındaki normal konumlarıyla karşılaştırarak belirlemekti. Karşılaştırma fotoğrafları aynı yılın Ocak ayında aynı teleskopla İngiltere'den çekilmişti. Tutulmada çekilen fotoğrafın filmiyle karşılaştırma fotoğraflarından birinin filmi üst üste ölçüm aracına kondu, böylece iki görüntü üst üste geldi ve aradaki kısa mesafe iki dikdörtgenel koordinat boyunca ölçüldü. Bunlardan yıldızların göreli yer değiştirmesi araştırılabilirdi...

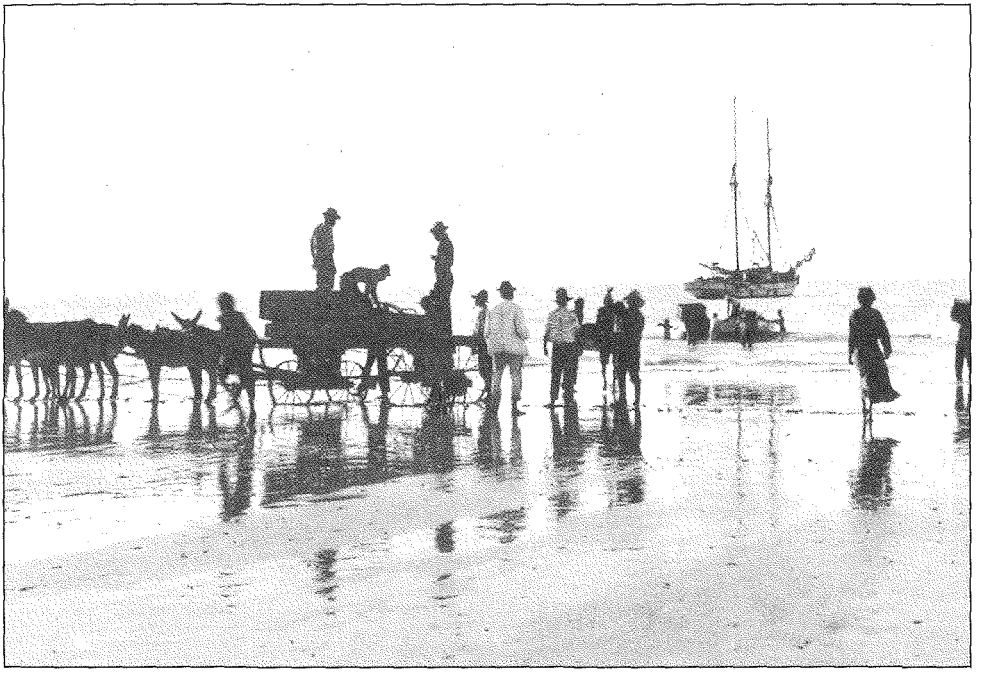
Bu fotoğraflardan alınan sonuçlar -Einstein'ın kuramına uyan, Newtoncu öngörüye ise uymayan bir şekilde- belirgin bir yer değiştirme olduğunu gösterdi. [Burada Eddington'un ne kastettiği pek belli değil. Newton kütleçekiminin ışığı eğebileceğini söylemişti. Işığın parçacıklardan oluştuğunu düşündüğü için bu pek şaşırtıcı değil. Ama Newton yer değiştirmeyi hesaplamamıştı.] İncelenen yıldız sayısı istenenden çok az olduğu halde (tamamen tarafsız olmadığını itiraf etmem gereken) yazar tarafından bu sonuç ikna edici bulunmuştur.

Einstein'ın öngörüsü 1,74 açı saniyelik arklık bir yer değiştirmeydi. Eddington'un ekibi 0,3 saniyelik bir hatayla 1,61 saniyelik bir kayma buldu. Hata payları göz önüne alınırsa bu iki sayı tutuyor. İkinci araştırma ekibi yine ufak bir hata payıyla 1,98 saniyelik bir sapma hesapladı. Bu kanıtlar Londra'daki Kraliyet Derneği'ne ve Kraliyet Gökbilim Akademisi'ne 6 Kasım 1919'da ortak bir toplantı yapma kararı aldıracak kadar ikna ediciydi.

Kuramı yıkılmakta olan Newton'un Kraliyet Derneği'nin seçkin bir üyesi olduğu göz önüne alınırsa toplantıdaki ortam gergin olmuş olmalı. Toplantının havası orada bulunan felsefeci ve matematikçi Alfred North Whitehead tarafından biraz yansıtılmış: "Yoğun merak ortamı tam Yunan tiyatrosundaki gibiydi. Kaderin önemli bir olay üzerine kararını yorumlayan koro gibiydik. Bulunduğumuz ortam da tiyatro sahnesi gibiydi: O geleneksel tören havası ve arka planda bilimsel genellemelerin en büyüğü üzerinde iki yüzyıldan uzun bir zaman sonra ilk defa değişiklik yapılacağını bize hatırlatmak için Newton'un bir resmi. Kişisel merak da eksik değildi; büyük bir düşünsel macera nihayet sağ salim karaya varmıştı."

Einstein araştırma gezilerinin sonuçlarını nasıl öğrendi? Savaş sonrası günlerde İngiltere ve Almanya arasındaki iletişim hâlâ dolaylı yollardandı, ama bilim-

Einstein'ın öngörüleri ilk olarak 1919'da bir Güneş tutulması sırasında yapılan gözlemlerle sınandı. 1922'de gerçekleşen bir sonraki Güneş tutulmasındaysa, aşağıdaki fotoğrafta malzemelerini boşaltırken görülen araştırma ekibi, Güneş'in kütleçekiminin Einstein'ın öngördüğü gibi yıldızların ışığını eğdiğini doğrulamak için Avustralya'ya gitti.



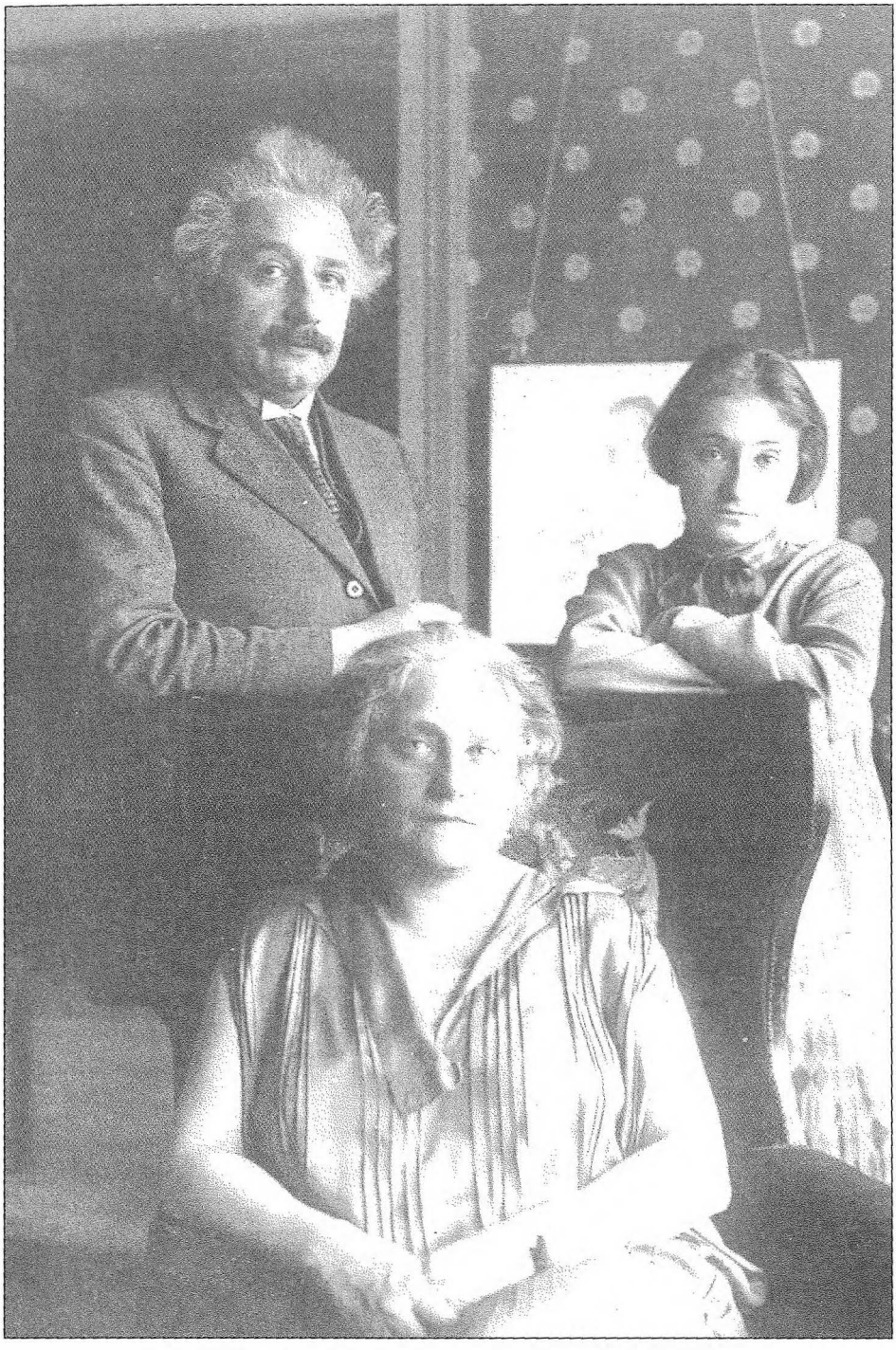
sel bir "fısıltı gazetesi" vardı ve deneyin başarılı olduğu söylentisi Ekim sonunda Einstein'a ulaştı. Einstein İngiltere'den haberleri almış olan Hendrik Lorentz'i ziyarete Hollanda'ya, Leiden'e gittiğinde bu söylentiler doğrulandı. 6 Kasım tarihli resmi açıklamadan sonra Lorentz Berlin'e dönmüş olan Einstein'a durumu bildiren bir telgraf gönderdi. Einstein'ın 1919 sonbaharında mide kanseri teşhisi konulan annesi İsviçre'de bir kliniğe yatırılmıştı. Einstein Lorentz'den haber aldığı gün annesine "Bugün sevindirici haberler var. H. A. Lorentz telgrafla bana İngiliz araştırma gruplarının, Güneş'in ışığı saptırdığını gerçekten kanıtladığını haber verdi." diye başlayan bir kart gönderdi. Londra'da 6 Kasım 1919'da yapılan açıklamadan sonra Einstein dünyanın en ünlü fizikçisi oldu ve ölene kadar da öyle kaldı. Bir daha hiçbir zaman gözlerden uzak yaşayan, sıradan bir kişi olmayacaktı.

5.
BÖLÜM

Einstein'ın Evrenbilimi

Ölmekte olan annesi 1920'nin başında Einstein'ın Berlin'deki dairesine taşındı; son günlerini onun çalışma odasında geçirdi ve aynı yılın Mart ayında öldü. O zamana kadar Einstein karısı Elsa ve onun iki kızıyla beraber rahat bir üst ortasınıf dairede, rahat bir üst ortasınıf yaşama uyum sağlamıştı. Avrupa'nın her yerinde dersler veren, çok aranılan bir üniversite profesörüydü. Elsa Einstein müşfik bir eşti, ama evliliklerinde en azından Einstein açısından bir şey ters gidiyor olmalıydı. Yoksa Michele Besso'nun ailesine Besso hakkında "en çok hayran olduğum, bunca yıl aynı kadınla yalnız huzur içinde değil, sürekli birlik içinde yaşayabilmiş olmasıdır, bu benim acınası bir şekilde iki kez başarısızlığa uğradığım bir şey..." diye yazmazdı.

Einstein neden Elsa'yla evliliğinin başarısız olduğunu düşünüyordu? Elsa da öyle mi hissediyordu? Bilmiyoruz. Einstein Elsa'yla evlendiği zaman eski, daha sade yaşam tarzından geriye kalan şeylerden vazgeçmişti. O dönemde çekilmiş fotoğraflar onu iyi giyimli, hatta bazen zarif bir adam olarak gösteriyor. Einstein'ın



Einstein 1939'da ikinci karısı Elsa ve üvey kızı Margot'yla Berlin'deki evinde

bizim için belki de daha tanıdık olan bol pantolonlu ve kazaklı imgesi, Elsa'nın 1936'daki ölümünden sonra çekilmiş fotoğraflardan geliyor. 1931'de Los Angeles'ta çekilmiş bir fotoğrafta Einstein smokinle, Elsa da gece elbisesiyle görülüyor. Yanlarında kendisi de smokin giymiş olan Charlie Chaplin var. Üçü Chaplin'in *Şehir Işıkları* filminin ilk gösterimine katılıyorlar. Elsa'nın yazdıklarından, Einstein'ın aklının genellikle fizikte bir yerlerde olduğunu, kendisi için ulaşılamaz olduğunu fark ettiği anlaşılıyor. Bu durum ikisi arasında çok yakın bir ilişkiye izin vermemiş olmalı; Einstein'ın evliliğinde başarısız olduğunu düşünmesinin nedeni de bu olabilir.

Genel görelilik ve kütleçekimi makalesinin 1916'da yayımlanmasıyla Einstein bilimsel kariyerinin doruk noktasına ulaştı. Bu ifadeyi genel bir bakış açısına oturtmak gerekir. Einstein sonraki on yıl başka bir fizikçi için muhteşem bir kariyer oluşturacak, hatta belki Nobel Ödülü getirecek çalışmalar yaptı. Ama o herhangi bir fizikçi değildi.

Einstein'ın genel görelilik kuramı fikir açısından o kadar zengindir ki birçok kişi hâlâ çalışma hayatlarını ona adıyor. Görelilik kuramını kuantum kuramıyla bağdaştırma çabası şimdiye kadar başarısız olmuş olsa da günümüzde birçok fizikçi için hâlâ öncelikli bir çalışma alanıdır. Kitap ilerledikçe netleşecek bazı nedenlerden dolayı -örneğin Einstein'ın kuantum kuramından hoşlanmaması- Einstein'ın bu çalışmalara ilgi duymuş olması pek muhtemel değil. 1916 makalesinden sonra birkaç yılı genel göreliliğin bazı sonuçlarını araştırarak geçirdi. Modern kuramsal evrenbilimi kuran 1917 tarihli "Genel Görelilik Kuramının Evrenbilimsel Sonuçları" adlı makalesi özel ilgiye layıktır.

Evrenbilim evrenin kökenini ve kaderini bir bütün olarak araştırmaktır. Geleneksel dinlerden birine inanan bir kişi için evrenin kökeni ve kaderi bir dinsel inançlar sistemine bağlıdır. Ama bir bilim insanı bu soruların en azından bazılarını geleneksel bilimsel yöntemleri kullanarak sınayabilir ve nicel yanıtlar elde edebilir. Bir bilim insanına göre evrenin bir bütün olarak evrimini belirleyen kütleçekim kuvvetidir. Kütleçekimi gram ve kilogramla ölçülen genel ağırlıklara uygulandığında bilinen en zayıf kuvvettir. Ama Dünya'nın kütlesi çok büyük olduğu ve Dünya'yı oluşturan bütün kütlelerin etkileri birleştiği için Dünya'nın kütleçekimi, hareketleri normalde neredeyse tamamen elektromanyetizma tarafından etkilenen bir parçacığı bile etkileyecektir.

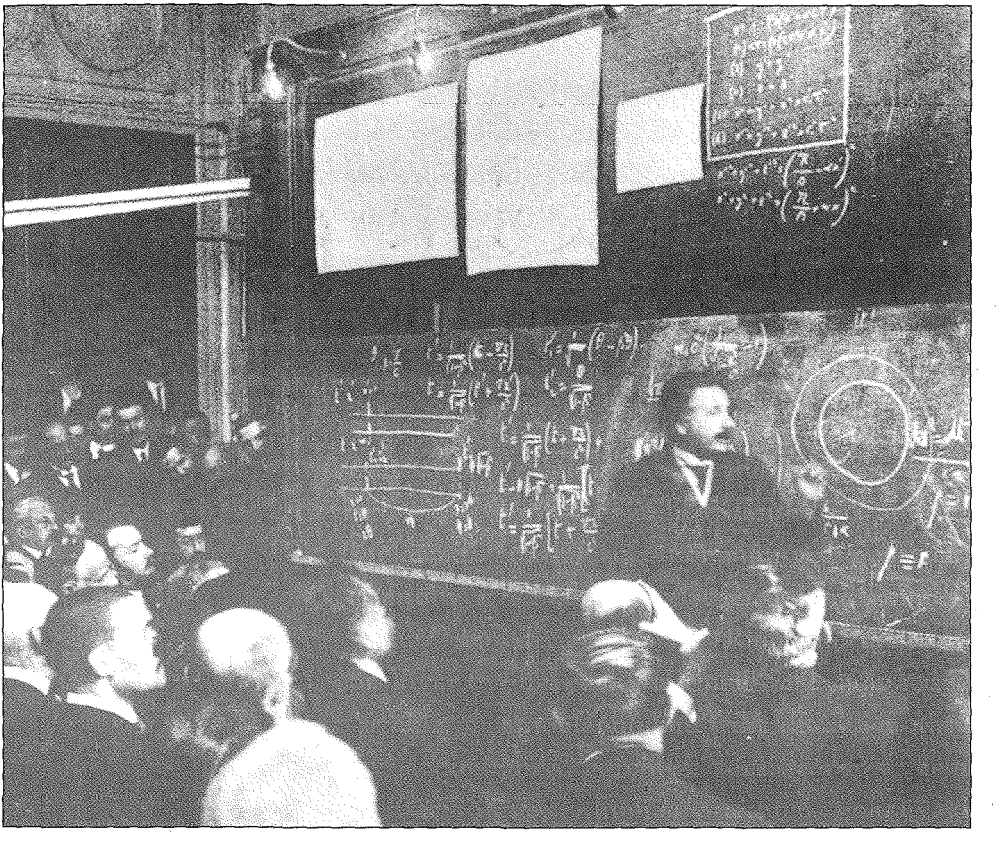
Newton fiziğinde m ve M kütleleri arasındaki kütleçekimi kuvvetinin GmM sabitiyle (burada G kütleçekimi kuvvetinin gücünü ölçen Newton kütleçekimi sabitidir) ölçüldüğünü hatırlarsak, evrendeki bütün kütlelerin ortak kütleçekiminin evrenin evrimini etkilemesi şaşırtıcı değil.

Kütleçekiminin bu rolünün bazı etkilerini inceleyen ilk kişi Newton'du. Şu konu Newton'u düşündürüyordu: Farz edin ki uzayda sınırlı bir büyüklüğü olan bir evrenimiz var ve içindeki maddelerin hareketleri nedeniyle bu madde bir yerde ve zamanın bir noktasında hafifçe "kümeleniyor". Newton böyle bir durumda kütleçekiminin çekme özelliğinden ötürü, bu kümeye doğru daha çok madde çekileceğini iddia ediyordu. Bütün evren tek bir noktada kümelenene kadar daha çok madde buraya çekilecekti -doğada hiç gözlemlemediğimiz bir durum. Newton bu çıkmazı çözmenin yolunun, evrenin uzayda *sonsuz* olduğunu düşünmek olduğuna, böylece maddenin kümelenebileceği bir "yer" olmayacağına karar ver-

di. Bir çağdaşına yazdığı mektupta "Eğer madde sonsuz bir uzayda eşit olarak dağılsaydı hiçbir zaman tek bir kütle halinde toplanmazdı, ama bir kısmı bir kütle halinde, başka bir kısmı da başka bir kütle halinde toplanırdı, böylece o sonsuz uzayda birbirlerinden çok uzakta sonsuz sayıda çok büyük kütleler olurdu." diye yazmıştı.

Einstein 1917'de evrenbilim üzerine çalışırken evrenin bütünü hakkında bizim şu anda sahip olduğumuzdan çok daha farklı bir anlayışı vardı. O zamanlar gökbilimciler arasında genel olarak evrendeki tek şeyin Samanyolu -bizim galaksimiz- olduğu düşünülüyordu. Ancak sonraki on yılda, Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble'ın ve başka gökbilimcilerin çalışmaları sayesin-

Einstein 1922'de Paris'te görelilik üzerine ders verirken. Einstein görelilik kuramını anlatması için dünyanın dört bir yanından davet alıyordu.



de galaksimizin evrenin çok ufak bir parçası olduğunu fark ettik. Teleskopun görebildiği kadarıyla uzaya dağılmış başka galaksiler de vardı. Einstein aynı zamanda sonlu Samanyolu evreninin devinimsiz olduğunu düşünüyordu, ki bu aslında felsefi bir önyargıydı. Bu görüşe göre şu anda evreni bir bütün olarak gözlemlerken gördüklerimiz, insanların bugüne kadar gördüklerinin ve bundan sonra da göreceklerinin aynısıdır. Bu, yıldızların örneğin Güneş'in evrimleşmediği anlamına gelmiyor, daha çok maddenin bir bütün olarak evrendeki *ortalama* dağılımının değişmez olduğu anlamına geliyor.

Bu görüşü kabullenmiş olan Einstein kendi kuramında Newton'u da düşündürmüş olan sorunla karşılaştı -evrendeki maddenin kümelenmesi ve çökmesi nasıl engellenecekti. Newton gibi evrenin sonsuz olduğunu düşünmektense, Einstein genel görelilik kuramını değiştirdi; 1917 tarihli makalesinin konusu da bu değişikliktir. Görelilik kuramının denklemlerine simetrilerini bozmadan, Einstein'ın "evrenbilimsel öğe" adını verdiği bir terimin eklenebileceği anlaşılıyor. Bu keyfi öğe yüzünden denklemlerin güzelliği azalıyor, ama hâlâ kuramın sınırları içinde kalıyorlar. Bu ek terim uygun şekilde formüle edilirse işin içine kütleçekimine karşı koyan çok küçük bir itici kuvvet giriyor. Bir tartıya çıkarsanız bu kuvveti görmezsiniz, ama bir bütün olarak evreni devinimsiz tutmaya, kütleçekimsel çökmeyi engellemeye yarıyor olabilir. 1917 makalesinden yaklaşık on yıl sonra Einstein, özgün kuramını bu şekilde bozmasından en büyük bilimsel "gafı" olarak bahsediyor. Peki neden?

Hata yaptığının ilk kanıtı yıldızlardan değil Rusya'dan geldi. Hem de profesyonel bir fizikçi bile olmayan bir kişiden, Aleksandr Aleksandroviç Friedmann'dan. Friedmann 1888 yılında St. Petersburg'da

müzisyen bir ailenin çocuğu olarak doğmuştu. Oradaki üniversitede matematik okudu ve mezun olduktan sonra kuramsal meteoroloji konusunda çalışmaya başladı. Savaş çıkınca Friedmann gönüllü olarak Rus hava kuvvetlerine katıldı. Savaşın sonunda Rusya'daki havacılık aygıtları üretiminin önde gelen isimlerinden biriydi. Friedmann 1920'lerde, henüz otuzlu yaşlarının başlarındayken St. Petersburg üniversitesine dönmüş, fizik ve matematik dersleri veriyordu. Birçokları gibi Friedmann da kendini 1919 tutulmasının sonuçları açıklandıktan sonra tüm dünyaya yayılmış olan görelilik akımına kaptırmıştı. Ama diğerlerinden farklı olarak, profesyonel bir fizikçi olmamasına rağmen Friedmann yalnızca Einstein'ın makalelerini anlayacak değil, bu makaleleri geliştirebilecek bir dehaya sahipti.

Einstein gibi devinimsiz evren önyargısına sahip olmayan Friedmann, Einstein'ın özgün denklemlerine evrenin genişlemesini ve büzülmesini olanaklı kılan yalın bir çözüm buldu. Evrenin genişlemesi veya büzülmesi sahip olduğu, kütleçekim etkisindeki madde miktarına bağlıdır. 1922 ve 1924'te yayımladığı anıtsal iki makalede Friedmann büzülme ve büzülmemeyle ilgili tüm olasılıkları değerlendirdi. Türettiği denklemler temelde hâlâ evrenbilimciler tarafından kullanılmakta olan denklemlerdir. Bu makaleler bir Alman fizik dergisinde yayımlandıkları için Einstein'ın eline ulaştılar. İlk makaleye tepkisi çok sert oldu. Bir şekilde makalenin tamamen yanlış olduğu sonucuna varmıştı. Aynı dergide Friedmann'ın "hatası" olduğuna karar verdiği şeye işaret eden bir paragraflık bir not yayımlatacak kadar ileri gitti. Bu büyük ihtimalle Einstein'ın fizik alanında yayımladığı, kelimenin tam anlamıyla yanlış olan tek yazıdır. Einstein'ın sınırlı bilgisine dayanan deneysel tahminleri

o zaman sınansaydı yanlış oldukları gösterilebilirdi. Ama Friedmann'ın makalesi üzerine yazdığı not basit bir matematik hatasıyla gölgelenmişti.

Neden? Einstein'ın felsefi önyargıları mantıklı düşünmesini mi engellemişti yoksa bu fizikte doğruyu sezmedeki olağanüstü yeteneğinin onu terk etmeye başladığının ilk işareti miydi? Belki de ikisi de biraz doğru. Her durumda, Friedmann'dan bir mektup aldıktan sonra Einstein haksız olduğunu anladı. İlk yazısında söylediklerini geri alan ve "Bay Friedmann'ın sonuçları hem doğru hem de aydınlatıcıdır." dediği kısa bir yazı yayımladı. Aslında bu konumuzun dışında. Önemli olan Friedmann'ın sonuçlarının yalnızca "aydınlatıcı" olması değil, genişleyen ve büzülen yani zamanla evrimleşen, tamamen yeni bir evren fikri ortaya atmasıdır. Nitekim evrenin genel görelilik kuramında genişlememesini ve büzülmemesini sağlamak için çok sert önlemler almak, örneğin kütleçekimine karşı koyan bir kuvvet eklemek gerekiyordu; tıpkı Einstein'ın kuramın denklemine eklediği keyfi öğe gibi. Einstein'ın bilimsel "gafı" başlangıçta Friedmann'ın çözümlerinin gerçeği yansıtıyor olamayacağını düşünmesiydi. Felsefi bir önyargı yüzünden, kendi kuramının ona bir gaf yaptığını anlatmaya çalıştığını sezememişti.

İşin garip tarafı, Einstein'ın karşı çıkmadığı bir genişleyen evren modeli Friedmann'dan önce de vardı. Belki de o modeli gerçek evreni tarif etme iddiası taşımayan bir "oyuncak" olarak gördüğü için karşı çıkmamıştı. Bu model Hollandalı gökbilimci Wilhelm de Sitter tarafından 1917'de icat edilmişti. Bu modele göre evrende kütleçekimine göre hareket eden madde yoktur. Evreni bir arada tutacak kütleçekimine göre hareket eden madde olmadığı için, bu evrenbilime göre evrenin genişliyor ol-

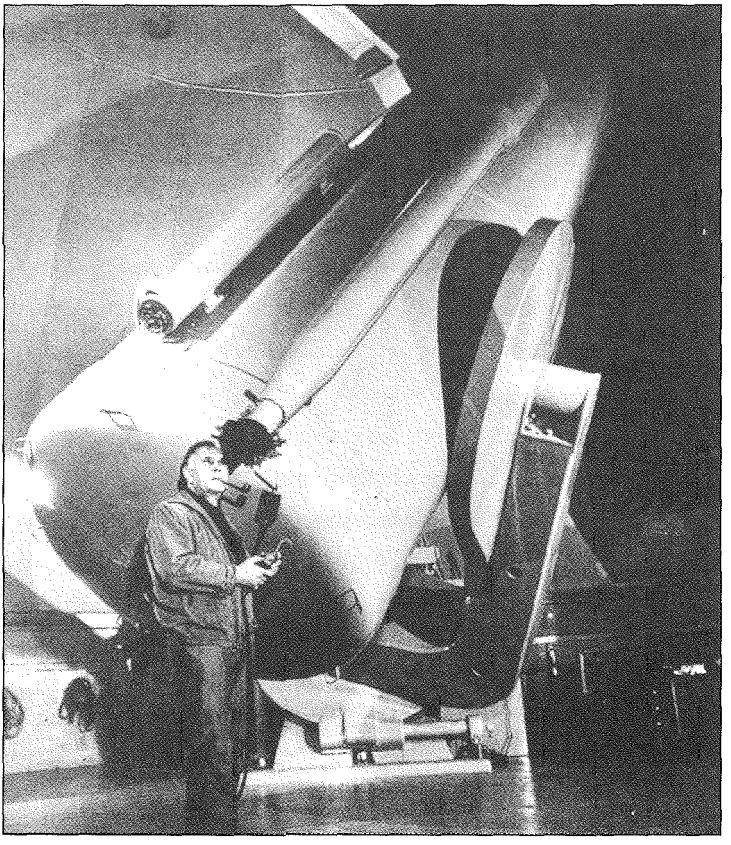
ması şaşırtıcı değildir. Kabul etmesi zor olan ışık hızından daha hızlı genişleyebilmesidir! İlk bakışta bu fikrin göreliliğin temel ilkelerine aykırı olduğu söylenebilir. Ama dikkatli olmalıyız. Görelilik bize bir "şeyin" -sizin, benim veya bir uzay gemisinin- ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceğini söylüyor. Ama burada uzaydan bahsediyoruz ve Einstein'ın söylediği gibi "uzay bir şey değildir." Evren bir balonun yüzeyi gibi genişliyor. Görelilikte bu genişlemenin ışık hızından daha hızlı olamayacağını söyleyen bir şey yok.

İki nedenden dolayı bu evren modeli bize günümüzde bile ilginç geliyor. Birincisi fizikle, ikincisi de tarihle ilgili nedenler. Çoğu evrenbilimci şu anda bir Sitter döneminde -genişlemede kütleçekim etkisindeki maddenin etkin olmadığı bir dönem- olmadığımızı kabul etse de, Büyük Patlama'dan kısa süre sonra evrenin evrenbilimcilerin "şişme" dediği kısa bir Sitter döneminden geçtiğini düşünüyorlar. Büyük Patlama'dan kalma radyasyondaki yakın zamanda keşfedilen "dalgacık"ların bu dönemdeki sarsıntıyı yansıtıyor olması muhtemel.

Sitter, makalesinin sonundaki uzun bir ekte modelinin deneysel olarak sınanabileceğini söylüyordu: "Uzak yıldızlardan gelen ışık titreşimlerinin frekansı, ışığın koordinatlarının başlangıcından olan uzaklık arttıkça azalır. Dolayısıyla çok uzaktaki yıldızların ve bulutsuların tayflarındaki çizgiler sistematik olarak kırmızıya kaymalı, bu da aldatıcı bir ışınsal hıza yol açmalıdır."

Temelde Sitter'in demek istediği, eğer evren bizden uzağa doğru genişliyorsa uzak yıldızlardan gelen ışıkların tayfın kırmızı ucuna doğru Doppler kayması göstereceğidir. Ayrıca yıldızın veya galaksinin uzaklığı arttıkça kırmızıya kayma artar. Yıldız veya galaksi ne

kadar uzaktaysa kırmızıya kayma o kadar çok olacaktır. Bu kırmızıya kaymayı hıza bağlı Doppler etkisi olarak yorumluyoruz. Friedmann'ın kendi genişleyen evren modellerinde buna dikkat çekmemiş olması tuhaf. Hepsinde aynı kırmızıya kayma yasası var ve Sitter'in evren modelinden daha akla yatkınlar. Yine de bu nokta gözden kaçmadı. 1929'da Edwin Hubble "Galaksi Ötesi Bulutsular Arasında Uzaklık ve Işınsal Hız Bağıntısı" adlı yedi sayfalık bir makale yayımladı. Bu makale evrene bakışımızı tamamen değiştirdi. "Galaksi ötesi bulutsu" ifadesine dikkat edin. 1929'a gelindiğinde artık evrenin büyük bir kısmının Samanyolu dışında olduğuna kuşku yoktu -Hubble'ın hiç kuşkusu yoktu. O zama-



Edwin Hubble Californiа'daki Wilson Dağı Gözlemevi'ndeki 48 inçlik teleskopla gökyüzünü gözlemliyor. Einstein'ın kütleçekimi kuramında yapılmasını önerdiği değişiklikten vazgeçmesine yol açan şey, Hubble'ın evrenin genişlediğini keşfetmesiydi.

na kadar Hubble kadar başka bilim adamları sayesinde de bu galaksi ötesi bulutsuların birçoğunun uzaklığı ölçülmüştü. Hubble, Sitter'in tahminini sınayabilirdi. Nitekim bir galaksiden gelen ışığın kırmızıya kaymasının galaksi bizden uzaklaştıkça arttığını keşfetti ve buna "Sitter etkisi" adını verdi. Bu şu anda "Hubble yasası" olarak adlandırılıyor. Belki de "Hubble-Sitter Yasası" olarak anılmalı.

Hubble'ın çalışması yayımlandıktan sonra Einstein görelilik kuramındaki evrenbilimsel sabitten vazgeçti. Artık ona gerek kalmamıştı. Ama insan Einstein'ın neden Friedmann'ın çözümlerini keşfetmediğini ve daha genel bir durum olan evrenin genişlemesi konusunda neden Sitter'in yaptığı tahminleri yapmadığını merak ediyor. 1920'lerde Einstein fizikte hâlâ önde gelen bir kişiyken, fiziğin merkezinin ondan yavaşça uzaklaşıp yeni ve daha genç bir fizikçi kuşağına doğru kaydığını görüyoruz: Kuantum kuramı kuşağına.

6.
BÖLÜM

Kuantumun Daha da Garip Hikâyesi

Aralarında Max Planck'ın da olduğu saygın bir Alman bilim adamı topluluğu, 1913'te üyesi oldukları Prusya Bilimler Akademisi'ne Einstein için bir tavsiye mektubu yazdı. Einstein yalnızca 34 yaşındaydı, ama ünü şimdiden öyle yayılmıştı ki Berlin'deki seçkin topluluklarına katılması gerektiğini düşünmüşlerdi. Mektubun son paragrafı bir şaheserdir. Şöyle yazıyor: "Sonuç olarak, modern fizikte bolca bulunan büyük problemler arasında Einstein'ın kayda değer bir katkıda bulunmadığı bir problem yoktur denebilir. Bazı tahminlerinin, mesela ışık kuantumu varsayımı gibi tahminlerinin tutmaması onun aleyhine kullanılmamalıdır, çünkü en mutlak bilimlerde bile bazen riski göze almadan yeni fikirler sunmak mümkün değildir."

Kısacası, bu önemli mektubun yazarlarından biri olan Planck 1913'te bile ışık kuantumları fikrinin "tutmadığını" ama bu durumun Einstein aleyhine düşünülmemesi gerektiğini söylüyordu. Kuantum fikrini ortaya atmış olan Planck hâlâ kendi yaratısının önemini kavrayamıyordu.

Kuantum fiziğini bıraktığımızda yıl 1906'ydı ve Einstein bu konuda hâlâ en önde gelen isimdi. Katıların ısıyı nasıl soğurduğunu anlattığı makalesini yeni yayımlamıştı. Einstein 1906 ile 1916 arasında kuantum fiziği üzerine bazı çalışmalar yayımladı. Ama bir sonraki önemli çalışması 1916'da yayımlandı. Bu çalışma yarım asır sonra lazerin icadına yol açtı. Einstein'ın bu çalışmaları bir yandan da genel göreliliği geliştirirken yapabilmesi, onun o dönemdeki inanılmaz zihinsel gücünü gösteriyor.

1916'da Planck'ın kara cisim yasasının türetilebileceği bir kuram hâlâ yoktu. On yıl sonra kuantum mekaniği yaratılana kadar da olmayacaktı. Planck'ın 1913 gibi geç bir tarihte Einstein'ın kuantum kuramından ona karşı kullanılabilecek bir şeymiş gibi bahsettiğini gördük. Planck formülünü klasik fizikten çıkarmak için girdiği sonuçsuz çabaya daha yeni son vermişti. 1916 çalışmasında Einstein bir kez daha "sezgisel" bir yol izledi; Planck'ın formülünü varsaydı ve bu formülü türetmek için neye gerek olduğunu araştırdı.

1916 tarihli savı için yalnızca iki enerji seviyesi olabilen ideal bir atom hayal etti. Bu atomun bir "taban durum" adı verilen en düşük enerjili durumu ve bir de "uyarılmış durum" adı verilen daha yüksek enerjili durumu vardı. Böyle bir atomlar yığınının kendilerini atomların sıcaklığından farklı sıcaklıkta bir ışınım küvetinde bulduklarını farz edin. Einstein atomlarla ışınımın nasıl bir süreç sonucunda ortak bir sıcaklığa ulaştığını inceledi. Üç durum olabileceğini öne sürdü. Birincisi, tam doğru enerji seviyesindeki bir foton soğurulur ve taban durumundaki atomlardan birinin enerji kazanarak uyarılmış duruma geçmesine neden olabilir. İkincisi, uyarılmış durumdaki bir atom bu süreçte bir foton salarak kendiliğinden taban durumuna geçebilir. Buna

"kendiliğinden ışıma" deniyor. Üçüncüsü, uyarılmış durumdaki bir atom tam doğru enerji seviyesindeki bir ışık kuantumunun varlığı sayesinde taban durumuna geçirilebilir. Ancak diğer bir ışık kuantumu varsa gerçekleştiği için buna "uyarılmış ışıma" deniyor. Bir atom taban durumuna bu şekilde döndürüldüğü zaman bir ışık kuantumu salar. Einstein Planck'ın ışınım formülünü elde etmenin tek yolunun, diğerlerinin yanı sıra bu uyarılmış ışıma sürecinin de gerçekleşmesi olduğunu gösterdi.

Ama farz edin ki bütün bu atomları varsayımsal "küvet"teki bütün ışınımı içine alabilen bir kutuya kapatıyoruz. Deneyden önce bu atomlardan bir kısmını uyarılmış durumlarına geçirebilmiş olduğumuzu da varsayalım. Bunu yapmak için de bu atomların taban durumundan uyarılmış duruma geçmelerini sağlayan tam doğru frekansta bir ışınım demeti kullandığımızı, yani "optik pompalama" dediğimiz bir yol kullandığımızı hayal ediyoruz. Uyarılmış atomlar kendiliklerinden onları uyaran fotonlarla aynı frekansta foton yaymaya başlayacaklar. Fotonlar bir yere gidemez; kutuya hapsolmuş durumdalar. Ama uyarılmış ışımaya neden olmak için gereken tam doğru enerjiye sahipler. Buna bağlı olarak bu yeni oluşmuş fotonlar başka uyarılmış ışımalara neden olacak, yeni fotonlar oluşacak, o fotonlar da başka uyarılmış ışımalara yol açacak. Bu "çağlayan" etkisi aracılığıyla, en başta atomları uyarılmış duruma getiren sinyalin gücü kat kat artacaktır. Bu aslında mazer ve lazer ilkesidir.

Mazer* ilk olarak Einstein'ın makalesinden yaklaşık kırk yıl sonra 1950'lerin başında yapıldı. Bir mazerdeki molekülleri uyarmak için dalga boyları 1 santimetre ci-

*İngilizcesi "maser". Uyarılmış ışınım yayımıyla mikrodalga yükseltilmesi anlamına gelen İngilizce sözcüklerin (*microwave amplification by stimulated emission of radiation*) başharflerinden (ç.n.)

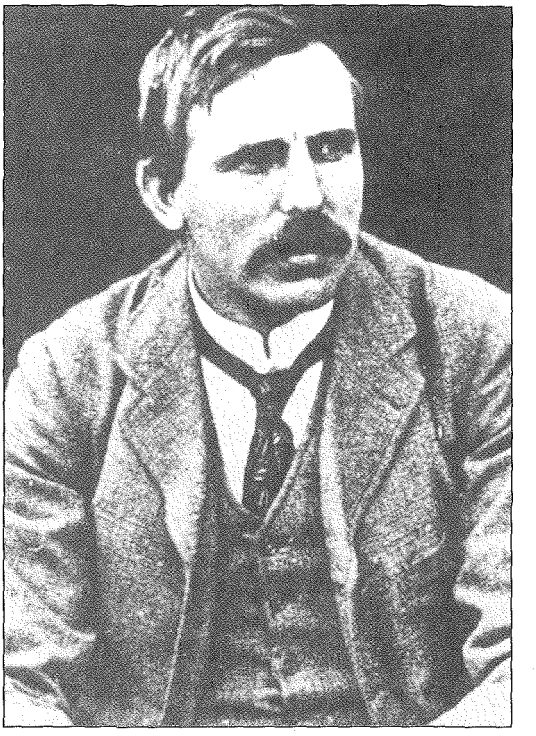
varında olan mikrodalgaların kullanılmasının, görünen ışığın kullanılmasından daha kolay olduğu ortaya çıktı. İlk mazer deneylerinde kullanılan molekül bir azot ve üç hidrojen atomundan oluşan amonyumdu. Birkaç yıl sonra da ilk lazer* yapıldı. Hepsinin temelinde Einstein'ın 1916 tarihli makalesi vardı.

Ama bir fizikçi için kuantum kuramının ilginçliği, bu uygulamalardansa kuramın doğa hakkında gösterdiklerindeydi. Einstein'ın kuantumla olan garip, bazılarına göre trajik ilişkisini anlayabilmek için bunu biraz açacağız. Öyle ya da böyle, bu sorun Einstein'ın yaşamının son otuz yılını meşgul edecekti. Hikâyemize Yeni Zelanda doğumlu büyük deneysel fizikçi Ernest Rutherford'un atom çekirdeğini keşfiyle başlayacağız. O zamanlar İngiltere'deki Manchester Üniversitesi'nde profesör olan Rutherford'un 1909'da Ernest Marsden adında, üzerinde çalışabileceği bir problem arayan bir öğrencisi vardı. Rutherford öğrencisine ağır radyoaktif elementlerin, örneğin radyumun bozunması sırasında oluşan alfa parçacıklarını (şimdi artık bunların helyum atomlarının çekirdekleri olduğunu biliyoruz) ince bir altın levhaya çarptırmasını önerdi. Buna "saçılma" deneyi diyelim -alfa parçacıklarının altın tarafından saçılması. Bu deneyin yapıldığı dönemde atom hakkında, elektronun kâşifi İngiliz fizikçi J. J. Thomson tarafından öne sürülmüş ve genel kabul gören bir fikir vardı. Thomson'un modelinde atom kuru üzümlü pudinge benzetiliyordu. Pozitif yük pudingti; eksi yüklerinin toplamı pudingin artı yükünü dengeleyen elektronlar da pudinge kuru üzüm gibi serpiştirilmişti. Bu modele göre altın

*İngilizcesi "laser". Uyarılmış ışınım yayımıyla ışık yükseltilmesi anlamına gelen İngilizce sözcüklerin (*light amplification by stimulated emission of radiation*) başharflerinden (ç.n.)

levhaya çarpan alfa parçacıkları, levhadaki altın atomlarının arasından pudingin içinden geçen mermiler gibi geçmeliydi. Rutherford öyle olacağını düşünüyordu. Yine de, Marsden'e ve günümüzde de radyasyonu algılamak ve ölçmek için kullanmakta olduğumuz sayacı icat eden ve o sırada Marsden'le çalışmakta olan Hans Geiger'e bir alfa parçacığının levhadan geçip gitmediği, tersine geniş bir açıyla levhadan yansıdığı durumlar olup olmadığını gözlemlemelerini önerdi. Gerçekten de böyle yansımalar olduğu gözlendi; bu herkesi şaşırtan bir sonuçtu. Rutherford sonradan şöyle diyecekti: "Yaşamım boyunca başıma gelen en inanılmaz olay. Neredeyse 37 santimetre genişliğinde bir top mermisini bir kâğıt mendile fırlatmanız ve merminin geri gelip size çarpması kadar inanılmaz." Atomun içinde sert bir şey vardı. Rutherford ve öğrencileri atomun çekirdeğini keşfetmişlerdi.

Oyunu burada devralan oyuncu Niels Bohr'du. 1911'de Kopenhag Üniversitesi'nden doktorasını aldı ve İngiltere'de okumasını sağlayan bir burs kazandı. Bohr Rutherford'un Manchester'daki laboratuvarına gitmeye karar verdi. Bu harika ama beklenmeyen bir karardı. Beklenmedikti, çünkü görünürde iki adamın tamamen zıt kişilikleri vardı. Rutherford sesi laboratuvarın her yanından duyulabilen dışa dönük bir adamdı. O zamanlar Bohr aşırı derecede utangaç bir doktora sonrası öğrenciydi. İleriki yaşamında sürekli olarak başkanlar, başbakanlar, krallar ve sanayicilerle muhatap olan, kendine güvenen bir adam oldu. İnandığı işler için -örneğin Kopenhag'daki Kuramsal Fizik Enstitüsü'nün kuruluşu için- para bulmakta zorlanmıyordu. Onunla karşılaştırılınca Einstein'ı bir enstitü kurmak için gerekli ödeneği almak için teklif yazarken, hatta bir kurumu yönetirken



1909'da fizikçi Ernest Rutherford atom çekirdeğini keşfetti. 1930'larda -fisyondan önce- Rutherford ve Einstein nükleer enerjinin hiçbir kullanımının olmayacağı fikrini paylaşıyorlardı.

düşünmek imkânsız. Bohr 1912'de Kopenhag'a döndü ve sonraki yıl modern atom çağını gerçekten başlatan atom modelini oluşturdu.

Rutherford'la olan bağlantısı sayesinde Bohr, bir atomun artı yüklü çok küçük bir çekirdekten ve onun etrafında tıpkı gezegenlerin Güneş'in etrafında döndüğü gibi dönen elektronlardan oluştuğuna ikna oldu. Ama burada çok yanlış bir şey olduğunu da fark etti. İvmelenen yükler ışınım yayar ve dolayısıyla enerji kaybeder. Yani Bohr'un atomunda, yörüngedeki bir elektron enerji kaybeder ve çekirdeğe doğru düşmeye başlardı. Madde kararsız olurdu. Ama bunun da ötesinde bu model atom gazlarının ısıtılarak veya başka şekillerde uyarılınca yaydıkları güzelim ışık tayfını açıklamıyordu. Atom gazları ısıtılınca veya uyarılınca bütün kimyasal elementlerin atomları bir parmak izi kadar kendilerine has tayf çizgileri şeklinde ışık yayar. Eğer elektronlar klasik fiziğin atom modelinde olması gerektiği gibi yalnızca çekirdeğe doğru spiraller çizerek düşselerdi, yaydıkları ışık herhangi bir anlamı veya düzeni olmayan bir frekans karmaşası olurdu. Bu modelde tayf deseni elde etmeye çalışmak, kuyruklu bir piyanoyu pencereden atmak ve kaldırıma çarptığında Beethoven'ın *Ayışığı Sonatı*'nı çalmasını beklemek gibi bir şey olurdu. Klasik atom modelinde köklü bir değişikliğe gereksinim vardı. Bu çalışmaya başladığı zaman 27 yaşında olan Bohr bu değişikliği yaptı.

Bohr atomun içindeki elektronların klasik hareket yasalarına uydukları sürece çekirdeğin çevresinde herhangi bir enerji seviyesinde, herhangi bir yörüngeyi işgal edebileceklerini fark etti. Bu yörüngelerde dönen elektronlar tarafından, tam bir karmaşa içinde bütün frekanslarda ışık yayılacaktı. Gözlenen tayfı açıklamak için Bohr bir atomun elektronlarının çekirdeğin etrafında yalnızca *belli* yörüngelerde dönebileceklerini farz etti. Bu yörüngelere "Bohr yörüngeleri" dendi ve eliptik şekilleri günümüzde atomu temsil etmek için kullanılan simgenin bir parçası oldu. Her Bohr yörüngesinin belirli bir enerji seviyesi vardır. En düşük enerjili Bohr yörüngesi "taban durumu" olarak adlandırılır. Eğer bir elektron uyarılırsa belli bir yörüngeden diğer bir belli yörüngeye atlayarak taban durumuna dönecektir. Eğer E enerjisine sahip bir yörüngeden, E´ gibi daha düşük bir enerji seviyesindeki bir yörüngeye atlarsa, enerjisi $h\nu=E-E'$ olarak gösterilen bir foton salar. Burada ν ışığın frekansı, h Planck sabitidir. Taban durumundan daha düşük bir enerji seviyesi olmadığına göre, bu duruma ulaşan bir elektron ışınım yayarak daha da fazla enerji kaybedemez. Bu nedenle taban durumu tamamen kararlıdır. İnsanları Bohr'un atom modelinin büyük oranda doğru olduğuna ikna eden, Bohr'un bu modeli bilinen en basit atom olan ve tek bir protondan oluşan çekirdeği etrafında yalnızca bir elektron dönen hidrojen atomunun kendine özgü tayf desenini açıklamakta kullanabilmesiydi. Einstein Bohr'un çalışmasını duyunca bunu 20. yüzyıl fiziğinin en büyük buluşlarından biri ilan etti.

Bohr bu iltifata Ocak 1920'de Einstein'ı Danimarka Bilim Akademisi'ne yabancı üye olarak aday göstererek karşılık verdi. İki adam daha önce tanışmadıkları halde

o yıl sona ermeden bir kere değil, iki kere bir araya geleceklerdi. Nisan ayında Bohr bir konuşma yapmak için Berlin'e geldi ve sonrasında Einstein şöyle yazdı: "Yaşamımda nadiren bir insan yalnızca varlığıyla bana sizin verdiğiniz kadar neşe vermiştir."

Bohr ve Einstein dört ay sonra tekrar karşılaştılar. Einstein Norveç'e gitmişti ve Berlin'e dönüş yolunda Kopenhag'da mola verdi. Lorentz'e "Kristiana [Oslo] gezisi gerçekten güzeldi, daha güzel olansa Kopenhag'da Bohr'la geçirdiğim saatlerdi." diye yazdı.

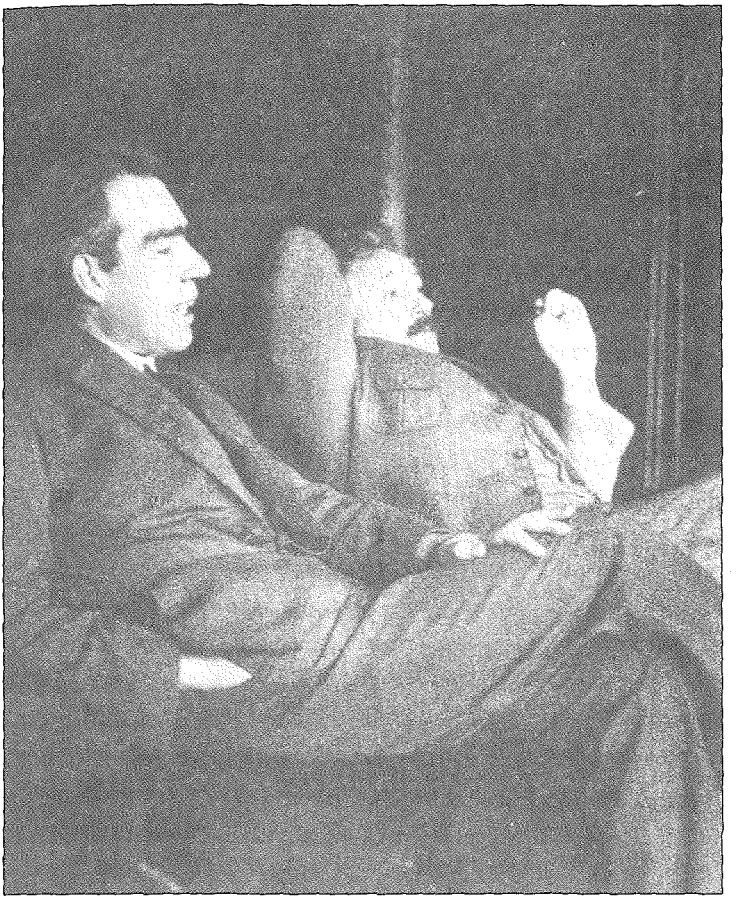
Einstein ve Bohr Nobel Ödülü'nü kazandıklarını aynı gün, 11 Kasım 1922'de öğrendiler. Einstein 1921 yılı fizik ödülünü (ödülün verilmesi bir yıl ertelenmişti), Bohr da 1922 yılı fizik ödülünü kazanmıştı. Einstein karısıyla beraber Japonya'da olduğu için Stockholm'deki ödül törenine katılamadı, ama yokluğunu ertesi yıl İsveç'te bir konuşma yaparak telafi etti. Oradan dönüş yolunda yine Kopenhag'da Bohr'u ziyaret etti.

Sonraki on yıl boyunca birçok fizikçi kendilerini Bohr'un kuramının ayrıntılarını çözmeye adadı. Özel görelilik kuramı da uygulandı ve gözlenen atom tayfındaki bazı ayrıntıları açıklayan daha da karmaşık yörüngeler olduğu anlaşıldı. Ama aynı zamanda Bohr'un kuramının açıklama getiremediği bazı şeyler olduğu da açıklık kazandı. Örneğin, birden fazla elektronu olan atomların tayfı açıklanamıyordu. Yalnızca iki elektronu olan helyum atomunun tayfı Bohr kuramının hiçbir zaman üstesinden gelemediği bir zorluktu. Hatta Bohr'un modeli hidrojen atomunun tayf çizgilerinin yerlerini çok iyi açıklayabildiği halde göreli parlaklıklarına bir açıklama getiremiyordu; neden bir çizgi diğerinden daha güçlüydü? Bohr kuramının tüm başarıları ve başarısızlıkları, doğru nitelikleri şimdi artık yalnızca "kuantum kura-

mı" dediğimiz kurama eklenen "eski kuantum kuramının" şemsiyesi altına girer.

Kuantum kuramının ilk adımı hiç beklenmeyen bir kaynaktan geldi: 31 yaşındaki Fransız asilzade Louis de Broglie'nin doktora tezinden. Broglieler köklü ve varlıklı bir Fransız aileydi. Louis'nin ağabeyi Maurice Fransız donanmasındayken fizikten çok etkilenmişti. O konuda araştırmalar yapmak için görevinden istifa etmek istediğinde ailesi dehşete kapıldı. Kabul edilebilir tek yolun Paris'teki aile konağında özel bir laboratuvar kurmak olduğuna karar verildi. Maurice de Broglie birinci sınıf bir X ışını tayfçısı oldu; bu durum kardeşi Louis'ye de fiziği sevdirdi. Louis ışınım kuramıyla ilgilendi ve doktora tezini yazmadan önce bu konuda makaleler yazdı. 1923 sonbaharında (bunu destekleyecek deneysel kanıtlar bulunmadığından) tamamen tahmin niteliğinde, p momentumunu bir ışık kuantumunun $E=h\nu$ enerjisine bağlayan ilişkinin ışık için olduğu kadar elektron gibi parçacıklar için de geçerli olması gerektiğini öne sürdü. Broglie p momentumuna sahip bir parçacığın, momentumu tarafından belirlenen bir frekanstaki bir tür dalgaya sahip olması gerektiğini öne sürüyordu. Başka bir deyişle bir elektronun parçacık özelliği kadar bir de dalga özelliği olmalıydı. Bu, ışığın hem dalga hem de parçacık özelliği olduğu fikrinin öteki yüzüydü. Klasik fizikten tamamen kökten bir kopuştu, görelilikten bile daha cesur bir adımdı.

1923'te Broglie fikrini tez danışmanı Paul Langevin'e sundu; Langevin bu fikrin ne anlama geldiğini pek çözemedi ve tezin bir kopyasını Einstein'a gönderdi. Einstein bu tanınmamış fizikçinin cesur fikrinden hemen etkilendi. Broglie'nin çalışmasında Einstein'ı etkileyen neydi? Broglie'nin tezini -ilk bakışta ayırt etme-



Einstein 1927'de Danimarkalı fizikçi Niels Bohr ile dinlenirken. Kuantum kuramı konusunda uzlaşamadıkları halde Einstein ve Bohr ömür boyu dost kaldılar.

nin pek de kolay olmadığı- uydurma fizikten nasıl ayırt edebilmişti?

Ne kadar heyecan verici olsalar da Broglie dalgaları çözdükleri kadar yeni sorun yarattılar. Bunların içinde en önemlisi bu dalgaların ne olduğu sorusuydu. Einstein'a ait ilk fikir Broglie dalgalarının uzayda gerçek dalgalar olduğuydu. Einstein bu dalgaların bir tür radar gibi elektronlara yol gösterdiğini düşünüyordu. Sonraki birkaç yılda bu ihtimalin, en azından bu görece basit haliyle imkânsız olduğu bulundu.

Bu fikrin imkânsız olduğunu gösteren ve kuantum kuramında devrim başlatan iki adam Werner Heisen-

UYDURMA FİZİK NASIL ANLAŞILIR?

Broglie'ninki gibi çılgınca görünen bir fikri gerçekten uydurma bir fikirden nasıl ayırt edebiliriz? Bu önemli bir konu ve bu dersi iyi kavrarsanız siz de gerçek fizikle uydurma fiziği ayırt edebilirsiniz.

İlk olarak, Broglie'nin fikri daha önceden bildiğimiz hiçbir şeye aykırı değildi. Sıradan maddelerin dalga özelliği gösterdiğini görmeyiz; Broglie'nin düşüncesi bununla tutarlıydı. Bu tutarlılığı görmek için, p'nin momentum, λ'nın ışığın dalga boyu olduğu ve $\lambda\nu=c$ bağlantısını kullandığımız durumda, ışık kuantumu için $p=h\nu/c=h/\lambda$ bağlantısına sahip olduğumuzu hatırlayalım. Broglie'nin madde parçacıklarını da kapsayacak şekilde genelleştirmeyi önerdiği bağlantı buydu. Eğer böyle bir parçacık p momentumuna sahipse bu parçacığın Broglie dalga boyu $\lambda=h/p$ olarak tanımlanır. Hızı ışık hızına göre çok yavaş olan bir parçacık için p momentumu, parçacığın hızı (v) ve kütlesi (m) türünden p=mv olarak verilir. Buna göre Broglie dalga boyu $\lambda=h/mv$ olarak bulunur. Dolayısıyla bu dalga boyunun büyüklüğü parçacığın hızına ve kütlesine bağlıdır. Işık hızının yüzde biri hızla ilerleyen bir elektronu örnek olarak alalım. Durgun kütlesi $9,1x10^{-31}$ kilogram, günlük yaşamda karşılaştığımız şeylerin kütlelerine kıyasla çok küçük. Bu elektronun Broglie dalga boyu 10^{-10} metre çıkıyor, ortalama bir atomun büyüklüğü kadar. Ama Broglie'nin formülüne göre, aynı hızda hareket eden kilogram türünden bir kütlenin dalga boyu bu elektronunkinden 10^{30} kat kadar daha az olacaktır. Böyle bir cismin dalga özelliği kesinlikle gözlemlenemez! Örneğin ışığı renklerine ayırmak için kullanılan sıradan optik girişim yarıkları bu kadar küçük etkileri algılayacak kadar hassas olamaz. Broglie'nin fikrini kaldırıp atamamamızın nedeni, günlük deneyimlerimizle ters düşmemesidir.

Einstein'ın ve başka fizikçilerin Broglie'nin fikrini ciddiye almalarının ikinci nedeni çok daha önemliydi. Broglie'nin fikri Bohr'un atom modelindeki elektronların yörüngelerinin daha iyi anlaşılmasını sağlıyor gibiydi. Bohr bu yörüngelerin olduğunu varsaymıştı. Ama elektronun gerçekten bir dalga özelliği varsa, bu varsayımı doğrulamak olası görünüyordu. Bir elektronun böyle bir yörüngede olması için onunla ilişkili dalganın atomun çekirdeğinin çevresine tam olarak uyması gerekiyordu. Tepe ve çukur noktaları olan böyle bir dalganın çekirdeğin çevresine uyması için tek yol, yörüngenin çevresinin tam sayı dalga boyu uzunluğunda olmasıydı. Bir tam dalga boyu veya iki tam dalga boyu ve benzeri olabilirdi, ama mesela yarım dalga boyu yörüngeye uymazdı. Tam sayı

şartı, hidrojenin belli Bohr yörüngelerinin -yörüngelerin çekirdekten uzaklıklarının- hesaplanabilmesi için yeterliydi. Herkesin dikkatini çeken buydu.

Son olarak, Broglie'nin varsayımı deneyle sınanabilecek bir tahmin yapılmasına olanak veriyordu. Hatta, belirli momentuma sahip bir elektronun dalga boyunun ne olacağına ilişkin tahminler, tıpkı Einstein'ın görelilik kuramı gibi, sınanmayı bekliyordu. Bu da çok önemli bir noktadır. Uydurma fizik hiçbir zaman gerçek, sınanabilir bir tahminde bulunmaz. Size termodinamiğin bilinen tüm yasalarını göz ardı eden bir sürekli hareket makinesi tasarısıyla gelen kişi size sınanabilir bir şey sunamaz. Böyle bir makine yapabilseniz bile sonsuza kadar çalışacağını nereden bilebilirsiniz? Ama Broglie dalgaları sınanabilirdi; nitekim 1920'lerin ortasındaki teknolojiyle yapılabilecek olan ve de yapılan deneylerle sınandı. Deney Broglie tarafında önerilmişti, Einstein tarafından da ele alındı. Broglie, ortalama hıza sahip bir elektronun dalga boyu yaklaşık olarak bir atom büyüklüğünde olduğuna göre, böyle elektronlardan oluşan bir elektron demeti kristal bir katı cisme yöneltildiğinde, tıpkı ışığın bir paralel yarıklar dizisi üzerine düştüğünde gösterdiği gibi bir girişim etkisi göstermesi gerektiğini fark etti. İlk olarak Thomas Young'un 19. yüzyılın başında çağdaşlarını ışığın bir dalga olgusu olduğuna ikna ettiği zaman gözlemlediği gibi, bir ışık ve gölge dizisi gözlenmesi gerekirdi! Broglie bu fikri 1923 yılında yayımladı. Bu fikir 1927 yılında birbirlerinden bağımsız olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde C. J. Davisson ve L. H. Germer tarafından, İskoçya'da da G. P. Thomson (James J. Thomson'un oğlu) tarafından yapılan deneylerle sınandı. Bu deneyler Broglie'nin haklı olduğunu, elektronun gerçekten dalga özelliği olduğunu gösterdi. 1929'da Prens Louis de Broglie doktora teziyle Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü.

berg ve Erwin Schrödinger'di. Schrödinger'in çalışması Heisenberg'inkinden bir yıl sonra, 1926 yılında yapılmış olsa da, Broglie dalgaları kavramını aynen devam ettirdiği için Schrödinger'in çalışmasıyla başlayacağız. Schrödinger'in çalışması -bu alanda yeni bir çalışma için çok ileri bir yaş olan- neredeyse 40 yaşında biri tarafından yapılan, kuramsal fizik alanında gerçekten çığır açıcı çalışmaların ender örneklerinden biridir. Einstein başta bu çalışmayı "gerçek bir deha" eseri olarak benimsemişti. İşin ilginç yanı, 1926'dan birkaç yıl önce, o zamana kadar fizikte önemli bir şey yapmamış olan Schrödinger fiziği bırakıp felsefe öğretmeye karar vermişti. Bunu yapacaktı da, ama bel bağladığı öğretmenlik işi suya düştü. Böylece fiziğe geri döndü ve sonradan söylediği gibi "hiç umulmadık bir şekilde arada bir birkaç fikir ortaya çıktı." 1926'da kuantum kuramında bir değişiklik yapılmasını önerdi. Schrödinger'in ilk adımı, o günden beri onun adını taşımakta olan Schrödinger denklemini üretmekti. Newton yasaları klasik mekanik için neyse, Schrödinger denklemi de kuantum fiziği için odur. Schrödinger'in denklemi türettiğini söylemek tam olarak doğru değil. Kuantum kuramını klasik fizikten çıkaramazsınız. Bir noktada mantıksal bir sıçrama yapmak zorundasınız.



Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger. Einstein Schrödinger'in dalga denklemi keşfinden çok etkilenmişti.

Schrödinger'in denklemiyle, hidrojen atomunda olduğu gibi, atomun artı yüklü çekirdeğiyle eksi yüklü elektron arasındaki elektriksel çekim kuvvetinin etkisiyle bir protonun çevresinde dönen elektron sorunu çözülebiliyordu. Schrödinger denklemin yalnızca belli enerji seviyelerindeki elektronlar için çözümleri olduğunu ve bu enerji seviyelerinin de tam olarak Bohr'un bulduğu enerji seviyeleri olduğunu buldu. Schrödinger'in bulduğu çözümler çizilebilir ve dalgaların genliklerinin büyük olduğu yerlerin Bohr'un yörüngelerinin yerleriyle aynı olduğu görülebilirdi. Bunların hepsi harikaydı ve Einstein başta bu konuda çok heyecanlıydı.

Ama heyecanı çok uzun sürmedi. Einstein'ın Schrödinger'in çalışmalarına inancını yitirmesi Schrödinger dalgasının zamanda nasıl evrimleştiğiyle ilgiliydi. Böyle bir dalgayı atom boyutlarına indirgediğimizi hayal edelim. Bu koşullar altında dalganın yayılmaya başlayacağı görülür; eğer elektron kütlesinde bir parçacığa eşdeğerse birkaç gün içinde öyle bir yayılır ki bütün güneş sistemini kapsar! Ama gerçekte gözlenen bütün elektronlar ufak, sınırlı cisimlerdir, tüm uzaya yayılmış birer açgözlü canavar değil. Peki o halde Schrödinger'in dalgalarının gerçek anlamı neydi?

Bu sorunun yanıtı 1926 Haziranında Alman fizikçi Max Born tarafından verildi. Born 1882 yılında doğmuştu, yani Schrödinger'den beş yaş büyük, Einstein'dan üç yaş küçüktü. Üçü arasında kuantum kuramını gerçekten benimseyen yalnızca Born'du. O, Einstein ve Born'un karısı 40 yıl boyunca yazıştılar. Bu sürenin çoğunda Born Einstein'a kuantum kuramını benimsetmeye çalıştı, Einstein da kuramı neden benimseyemeyeceğini açıkladı.

Born, Broglie-Schrödinger dalgalarının sıradan dalgalar olmadıklarını, *olasılık* dalgaları olduklarını öne sü-

rüyordu. Bu kabul edilince görünürdeki açgözlü elektronlar ikilemi ortadan kalkıyordu. Broglie-Schrödinger dalgalarının yayılması, kısa bir süre içinde elektronu ilk konumundan çok uzakta bulma ihtimalinin çok ama çok küçük olduğu anlamına geliyordu. Elektronu uzayda dalga fonksiyonunun büyük olduğu yerde bulma olasılığı yüksektir. Benzer olarak, Bohr yörüngesindeki bir hidrojenin elektronu için büyük bir dalga fonksiyonu, elektronun bulunmasının -mutlak olmamakla beraberen olası olduğu yerdir. Bohr'un önerisinde Einstein'ın kaldıramadığı da işin bu olasılık yönüydü.

Tahmin edebileceğimiz tek şey parçacığın en yüksek olasılıkla nerede olabileceğidir. Einstein bu kavrama başından beri karşı çıkmıştı. 1926 Aralığında Born'a şöyle yazdı: "Kuantum mekaniği kesinlikle çok etkileyici. Ama içimden bir ses bana bunun asıl şey olmadığını söylüyor. Kuram çok şey söylüyor ama aslında bizi 'Yaşlı Adam'ın [Einstein'ın tanrıya verdiği sevgi dolu ad] gizemine yaklaştırmıyor. En azından ben O'nun zar atmadığına eminim."

1926'dan sonra Niels Bohr kuantum kuramının entelektüel vicdanı oldu -kuramı Einstein'ın şüpheciliğine karşı savunan oydu. Bohr Einstein'dan yalnızca altı yaş gençti ama fizik alanında tamamen başka bir kuşağa dahildi. Yaratılmış en derin bilimsel kuramın kuantum kuramı olduğunu düşünüyordu ve birçok fizikçi bu konuda onunla hemfikirdi. Bohr'un yol göstermesi ve acımasız eleştirileri sayesinde Heisenberg ünlü belirsizlik ilkelerini geliştirdi; bu ilkelerin en anlaşılır olanı bir atomaltı parçacığın, örneğin elektronun konumunu ve momentumunu ilişkilendiren ilkeydi. Özünde bu ilke eğer bir parçacığın yerini tam olarak ölçecek bir deney tasarlarsanız, o deneyin parçacığın momentumunu hiç-

bir şekilde ölçemeyeceğini söylüyor. Bir parçacığın momentumu ölçülemezse, kuantum kuramına göre o parçacığın varolduğunu farz etmeye bile hakkımız yoktur. Öte yandan, eğer bir parçacığın momentumunu tam olarak ölçecek bir deney geliştirirsek, o deney de bize parçacığın konumu hakkında hiçbir şey söyleyemez. Kuantum kuramına göre o parçacığın bir konumu yoktur. Dolayısıyla belirsizlik ilkesi bize -iki nicelikten biri hakkında sınırlı bir kesinlikte bilgi veren çoğu deneyin tersine- her iki nicelik hakkında da aynı deneyde ne öğrenip ne öğrenemeyeceğimizi söylüyor.

Heisenberg bu fikirleri 1927'de açıkladı ve Bohr bunları "tümleyicilik ilkesi"ni yaratmak için kullandı. Bohr belirsizlik ilkelerinin bir cismin, örneğin elektronun veya fotonun hem parçacık hem de dalga özelliklerini aynı anda gösteren bir deney tasarlanmasını imkânsız hale getirdiğine dikkat çekti. Bu nedenle, elektron bazı deneylerde parçacık, bazı deneylerde ise dalga gibi davranırken, Bohr'un ilkesi elektronun davranışının bu iki farklı yüzünün asla birbirleriyle çatışmayacağını söylüyordu. Elektrona ikili yapısından ötürü "wavicle"* adının verilmesi bile önerildi.

Heisenberg'in belirsizlik ilkeleri Einstein'a dişini geçirebileceği somut bir şey verdi. İlkelerin yanlış olduğunu göstermeye çalışmaya karar verdi. Bu amaçla İsviçre patent bürosundaki günlerindeki gibi, hem konumu hem momentumu ya da (Heisenberg'in başka bir ilkesinin konusu olan) hem enerjiyi hem zamanı ölçebiliyormuş gibi görünen ustaca yapılmış hayali aletler icat etti. Bu aletlerin taslaklarını yaptı ve Solvay Konferanslarında bunları meslektaşlarına meydan okumak için ortaya

*İngilizcede dalga anlamına gelen "wave" ve parçacık anlamına gelen "particle" sözcüklerinin birleştirilmesinden (ç.n.)

attı. Belçika'da yapılan bu toplantılara zamanın büyük fizikçileri katılırdı.

Altı gün süren beşinci Solvay Konferansı Ekim 1927'de yapıldı. Kuantum fiziğini kuranların üçü -Planck, Einstein ve ilk kez olarak Bohr- oradaydı; Broglie, Heisenberg ve Schrödinger gibi daha genç araştırmacılar da oradaydı. Toplantıları Lorentz yönetti. Einstein eleştirmen rolünü üstlendi. Resmi olmayan toplantılarda kuantum kuramının işe yaramadığını gösterdiğini iddia ettiği birçok hayali alet sundu. Bu aletleri dikkatlice inceleyen Bohr ise kuramın aslında işe yaradığını gösterdi.

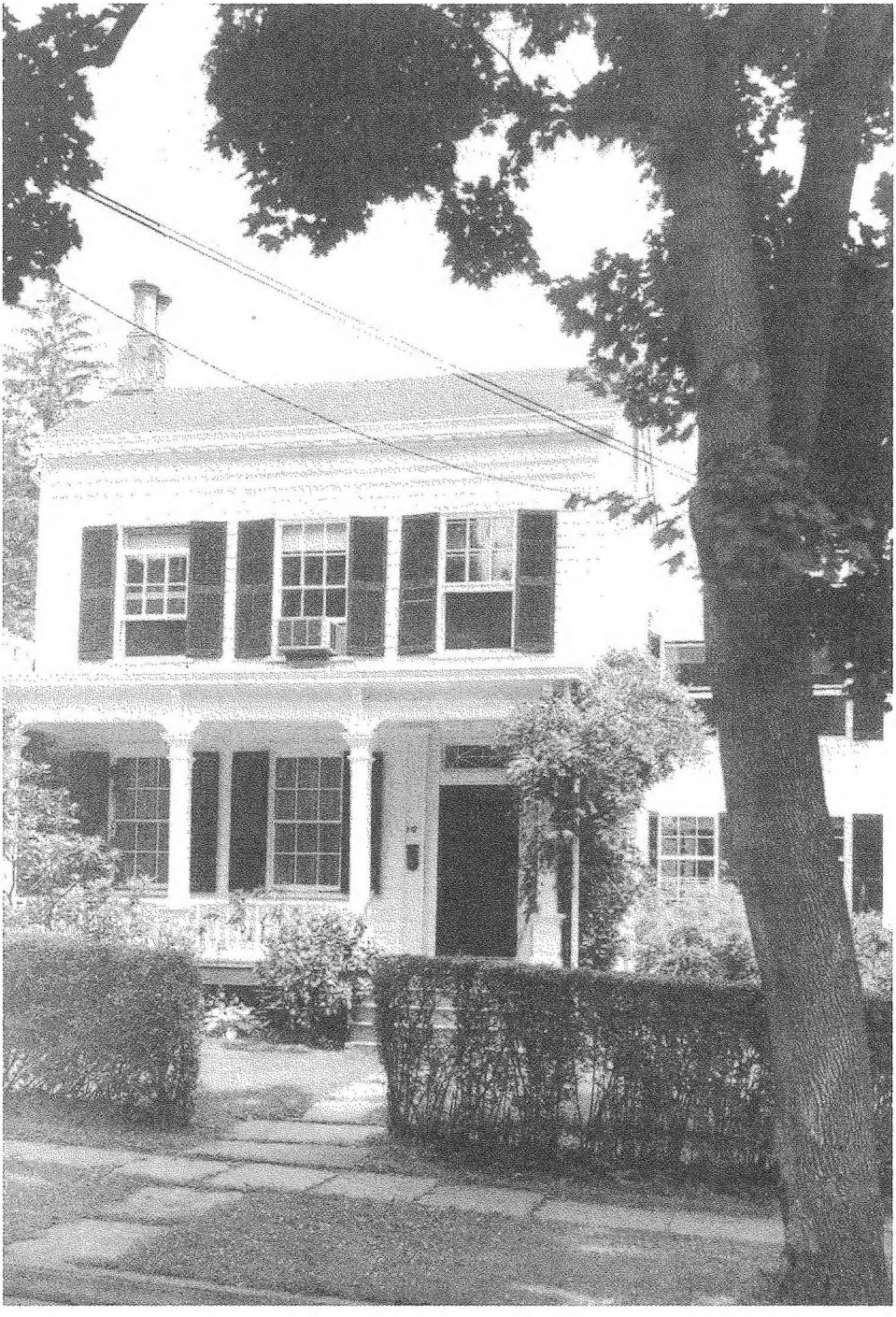
Ama en inanılmaz karşılaşma 1930'daki Solvay Konferansı'nda oldu. Bu sefer Einstein Heisenberg'in enerji ve zamanla ilgili belirsizlik ilkesini çürüteceğe benzer bir alet geliştirmişti. Bu alet kenarlarından birinde bir perdeyle açılıp kapatılabilen bir delik bulunan bir kutu-



Altıncı Solvay Konferansı'nın delegeleri (1930). Einstein ön sırada, sağdan beşinci.

dur. Açılma kapanma süresi bir saatle ölçülür. Kutunun içinde radyasyon var. Kutu bir tartının üzerine konup tartılıyor. Saat zamanı kaydediyor ve perde açılıyor. Bir foton dışarı kaçıyor. Perde hemen kapatılıyor ve kutu tekrar tartılıyor. İki ağırlığı karşılaştırarak fotonun kutudan ne kadar enerji çıkardığını öğreniyoruz, ayrıca zamanı da biliyor gibiyiz. Yani enerji ve zaman arasındaki belirsizlik ilkesine uymayan bir alet yaptık.

Einstein'ın geliştirdiği aleti ilk gördüğünde Bohr hem şaşırmış hem de son derece gerilmişti. Heisenberg'in kuramını kurtarmak için uykusuz bir gece geçirmiş olmalı. Ama ertesi sabah çözüme ulaşmıştı. Kutunun ağırlığının ölçümünde bir belirsizlik vardır, çünkü eğer kutuyu bir ibrenin tartıdaki bir sayıyı göstermesiyle tarttığımızı farz edersek, Heisenberg'e göre ibrenin konumunda bir belirsizlik vardır. İbrenin konumunu tam olarak belirlemek için tartıya bir miktar momentum vermemiz gerekir. Ama bildiğimiz gibi ibre Dünya'nın kütleçekimi alanında hareket ediyor ve saatle ölçülen zaman -Einstein'ın eşdeğerlik ilkesinde belirttiği gibi- saatin kütleçekimi alanının neresinde olduğuna bağlı olduğu için perdenin ne zaman açıldığına dair bir belirsizlik olacak. Ayrıntılı bir şekilde incelenirse bu durumun Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle tamamen uyuştuğu görülecektir. Einstein'ın kuantum kuramına karşı duyguları o kadar güçlüydü ki, onu çürütmeye çalışırken kendi en büyük buluşunu göz ardı etmişti.



Einstein 1935'ten 1955'teki ölümüne kadar Princeton, New Jersey'deki Mercer Sokağı 112 numaralı bu sade evde yaşadı.

7.
BÖLÜM

Mercer Sokağı 112 Numara

Einstein 1935'ten 1955'teki ölümüne kadar New Jersey Princeton'da, Mercer Sokağındaki 112 numaralı evde yaşadı. Einstein'ın 1932'de atandığı Yüksek Araştırma Enstitüsü'nden yaklaşık üç kilometre uzakta olan bu basit evde şu anda Enstitü'de çalışan bir fizikçiyle ailesi oturuyor. Önünde Einstein'ın orada oturmuş olduğunu gösteren bir levha yok.

Eğer Naziler Almanya'da iktidara gelmeseydi herhalde Einstein ülkesini terk edip Princeton'a gitmezdi. Berlin'de hayatından gerçekten memnundu. Mükemmel bir işi vardı, çevresi zeki ve değer bilen meslektaşlar ve öğrencilerle doluydu. Çok sevdiği istatistiksel mekanik hakkında bir seminer bile vermişti. Bu seminere katılmış olanlardan birkaçı hâlâ hayatta ve bunu yaşamlarındaki en önemli entelektüel deneyimlerden biri olarak hatırlıyorlar. 1929 yazında Einstein Berlin yakınlarındaki Caputh köyünde ufak bir arazi satın alıp ailesi için yazlık bir ev yaptırdı. Ev Havel Nehri'ne yakındı. 50.

yaş gününde arkadaşları ona bir tekne hediye etti. Einstein epey zamanını tek başına nehirde tekneyle gezerek geçirdi. Düşünmeye çok uygun bir yerdi.

Ama 1920'lerin başı kadar erken bir tarihte bile Einstein Almanya'da yükselmekte olan Yahudi düşmanlığının hedefi haline gelmişti. Çok iyi bir hedefti. Savaş sırasında savaş karşıtı düşüncelerini ifade etmişti. Alman vatandaşlığı bile şüpheliydi. Yüzü her yerde tanınıyordu ve sağduyuyu hiçe sayan ve birçok insanı -daha yaşlı fizikçiler kuşağı da dahil- rahatsız eden bir kuram ortaya atmıştı. Şubat 1920'de Einstein'ın Berlin Üniversitesi'nde yaptığı halka açık bir konuşmada ufak bir kargaşa çıktı. Hiçbir zaman tam olarak açıklanmasa da, Einstein bu gösteride Yahudi karşıtlığı işaretleri sezmişti.

Ama aynı yıl daha sonra Almanya'da Yahudilere karşı takınılan tavır konusunda bir şüphe kalmadı. Einstein karşıtı bir birlik kurulmuştu; bu birlik Ağustos sonlarında Berlin'in en büyük konser salonunda bir toplantı düzenledi. Toplantıya Einstein da katıldı ve gördüklerinden hiç hoşlanmadı. Gamalı haçlar ve Yahudi karşıtı kitapçıklar satılıyordu. Elektronlar üzerine yaptığı çalışmalardan dolayı 1905'te Nobel Fizik Ödülü'nü almış olan Philipp Lenard Einstein'ı gözden düşürme çalışmalarına başlamıştı bile. Lenard baştan beri çok ateşli bir Naziydi. Yahudi olmayan, biri çok önce, diğeri de Birinci Dünya Savaşı'nda ölmüş iki Alman bilim adamını ortaya çıkarıp görelilik kuramı için asıl alkışı onların alması gerektiğini öne sürdü. Bunlardan biri, 1801 yılında kütleçekiminin ışığı eğebileceğini öne sürmüş olan Johann Georg von Soldner adında bir Alman matematikçi ve haritacıydı. Böyle bir şey öne sürmüş olması çok şaşırtıcı değil, çünkü o zamanlar ışığın bir parçacık olgusu olduğunu ve parçacıkların da kütleleri olduğunu düşün-

mek hâlâ mümkündü. Newton yasasında bu kütle dengeleniyor, bu nedenle o kütleyi bilmek zorunda değiliz. Nitekim ışık ışınının izlediği yol hesaplanırsa, yalnızca eşdeğerlik ilkesinin verdiği eğrilmeye ulaşılır. Bu eğrilmenin Einstein'ın genel görelilik kuramındaki uzay-zaman geometrisinin değişmesiyle hiçbir alakası yoktur.

Lenard'ın görelilik kuramını yarattığını iddia ettiği ikinci kişi, Schrödinger'in Viyana Üniversitesi'ndeki en sevdiği öğretmen olan Friedrich Hasenhohrl adında, gelecek vadeden Avusturyalı bir fizikçiydi. Hasenhohrl Einstein'ın 1905 makalesinden önce kovuk ışınımı üzerine biraz araştırma yapmıştı ve bu ışınımın enerjisinin kütleyle $E=mc^2$ denklemi üzerinden ilişkili olabileceğini söylemişti. Lenard Einstein'ın aslında özgün bir çalışma yapmadığını göstermek için buna tutundu. Hasenhohrl ölmüş olduğu için bu konuda bir yorum yapamayacak olması Lenard'ın işine geliyordu. Lorentz'i seçse daha iyi ederdi, ne de olsa Einstein'ın özel görelilik kuramından türettiği dönüşümleri ilk olarak Lorentz kâğıda dökmüştü. Ama 1928'de ölecek olan Lorentz o sırada fazlasıyla hayattaydı ve Einstein'ın en büyük hayranlarından biriydi ve bu duygusu karşılıksız değildi.

Einstein, Einstein karşıtı birliğin Ağustos toplantısına ve bu birlikte önemli bir yeri olan Lenard'a insani ama kişiliğine çok aykırı bir tepki verdi: Çok sinirlendi ve yerel bir gazetede bir makale yayımlattı. Bu olay Born'un karısının Einstein'a kaygılı bir mektup yazmasına yol açtı: "Sizi endişelendiren tatsız ağız kavgalarını duyunca üzüldük. Bunlardan çok çekmiş olmalısınız, yoksa hiçbir şey sizi gazetelere o talihsiz yanıtı göndermeye kışkırtamazdı. Sizi tanıyan herkes üzgün ve sizinle birlikte acı çekiyor, çünkü bu rezil ara bozma çabasını fazla ciddiye aldığınızı görüyorlar. Sizi tanımayanlar

sizinle ilgili yanlış bir izlenime kapılabilir. Bu da acı veriyor..." İşin ilginç yanı Bayan Born'un, mektubunda bahsettiği "ara bozuculuğun" Einstein'ın ilgisini hak etmeyen aşırılık yanlısı küçük bir grubun işi olduğunu ima ederek, Einstein'a Almanya'yı terk etmemesini söylemesi. Einstein çok mahcup olmuştu ve Bornlara yanıtında "Üzerime çok gelmeyin. Herkesin zaman zaman Tanrıyı ve insanlığı memnun etmek için aptallık sunağına kurban vermesi gerekir. Ve benim makalemle yaptığım tam olarak bu... Saldırının ilk anında herhalde kaçmayı düşünmüşümdür. Ama sonra sezgimi ve soğukkanlılığımı tekrar kazandım. Şu anda yalnızca yelkenli bir tekne ve suya yakın bir köyde bir kır evi almayı düşünüyorum. Berlin'e yakın bir yerlerde..." diye yazdı. Ama dokuz yıl sonra hayallerini Caputh'ta gerçekleştirdiği zaman Naziler gerçekten yükselişe geçmişti ve Einstein için tehlike çanları çalmaya başlamıştı.

Einstein Yahudiliğini gönülden kabul etse de, daha önce de gördüğümüz gibi, çocukluğundan sonra dininin gereklerini yerine getirmemişti. Ama 1924'te bir sinagoga katıldı. Bunun nedeni din hakkındaki görüşlerinin değişmiş olması değil, giderek artan saldırılara maruz kaldıkları bir dönemde halkıyla dayanışma içinde olmak istemesiydi. Einstein'ın en etkileyici fotoğraflarından biri 1930'da Berlin'deki bir sinagogda çekilmiştir. Burada Einstein başında geleneksel Yahudi takkesiyle ve kemanıyla görülüyor. Yahudi dindaşlarına yardım toplamak için bir yardım konserinde çalmak üzereyken çekilmiş bir fotoğraf. Arka planda cemaattekilerin yüzleri görülüyor. Onlar bilmiyor, ama biz soykırım başladıktan sonra Almanya'da kalanlara ne olacağını biliyoruz. Einstein Siyonizme de (Filistin'de bir Yahudi devleti kurma hareketi) ilgi duyuyordu. Bu ilginin nedeni de

ülkeler hakkındaki görüşlerinin değişmiş olması değildi. Yaşamı boyunca üç ülkenin vatandaşı olsa da kendini hiçbir zaman herhangi bir ülkenin vatandaşı gibi hissetmemişti. Ama Filistin'de bir yurdun Avrupa'daki Yahudileri kurtarmanın bir yolu olduğunu görüyordu. Orada bir üniversite kurulmasına da yardım etmek istiyordu. Sonunda Kudüs'teki İbrani Üniversitesi'nin kuruluşuna katkısı oldu. 1952'de, İsrail devletinin kuruluşundan dört yıl sonra, ilk devlet başkanı Chaim Weizmann ölünce Einstein'a ikinci devlet başkanı olması teklif edildi. Einstein bu teklifi kısmen sağlık sorunları, kısmen de mizacı gereği kendisini, ret mektubunda "resmi görevler" olarak adlandırdığı şeyleri yerine getirmeye uygun bulmadığı gerekçesiyle reddetti.

Einstein daha kimseye söylememiş olsa da Almanya'yı terk etmeye 1931'in sonlarında karar vermişti. Önceki kış Pasadena'daki California Teknoloji Enstitüsü'nü ziyaret etmişti ve oradayken Albert Michelson ve Edwin Hubble'la tanışmıştı. Michelson göreliliği ve esir kuramının çökmesini hâlâ tam olarak benimseyememişti. Hubble'la tanışması Einstein'ı genel görelilik kuramının 1917 tarihli denklemlerinden evrenbilimsel sabiti atmaya ikna etmişti. 1932 kışında Einstein ikinci defa Cal Tech'e gitti. O arada kendisine Cal Tech'e sürekli kadroyla ya da en azından uzun süreli ziyaretçi olarak katılmayı isteyip istemeyeceği sorulmuş, maaş miktarı bile konuşulmuştu. Bu ikinci ziyarette Einstein fikrini değiştirmesini sağlayan Abraham Flexner adında Amerikalı bir eğitmenle tanıştı.

1929'da, borsanın çöküşünden tam önce, R. H. Macy & Company mağazalar zincirinin sahipleri Louis Bamberger ve kız kardeşi Felix Fuld mağazalarını satmaya karar vermişlerdi. Buradan kazandıkları paranın 5 mil-



Einstein 1932'de California Teknoloji Enstitüsü'nün öğretmenleri ve mezun öğrencileriyle. Einstein Cal Tech'e katılma teklifini reddetti, onun yerine Princeton, New Jersey'deki Yüksek Araştırma Enstitüsü'nde bir görev kabul etti.

yon dolarını eğitime yatırdılar ve tavsiye almak üzere de yüksek öğrenimin geliştirilmesi konusunda kitaplar yazmış olan Flexner'e başvurdular. Flexner'in bir fikri vardı. Bu fikir en ileri düzeyde yaratıcı çalışmaların yapılacağı bir enstitü kurmaktı. Flexner buna Yüksek Araştırma Enstitüsü adını verdi. Bamberger ve Fuld'a yazdığı bir notta bu enstitü hakkında şöyle yazıyordu: "Küçük olmalı; eğitim kadrosu küçük, öğrenci ve araştırmacı sayısı az olmalı; eğitim kadrosundakiler etkinliklerin yapısı, kalitesi ve yönetimiyle ilgili kararlara serbestçe katılabilmeli; ele alınan konular temel nitelikte olmalı ve yavaş yavaş gelişen bir enstitü olmalı." Bütün bunlar bir akademisyene yeryüzünde cennet gibi gelir.

Flexner kurulması planlanan enstitüye ilk atamaların, laboratuvar kurmak için hazır paraya gereksinimleri olmayan matematik ve kuramsal fizik alanından yapılması gerektiğine karar verdi. Bu alanda çalışanların kimin olağanüstü olduğu konusunda görüş birliği yapmalarının, sosyal ve beşeri bilimler bölümlerinde çalışanlara

kıyasla daha kolay olduğunu da biliyor olabilirdi. Flexner enstitü başkanı Robert Millikan'dan görüş almak için California Teknoloji Enstitüsü'ne gitti. Anlaşılan Millikan Flexner'e, onu Cal Tech'ten çalabileceğini düşünmeden, Einstein'la görüşmesini önermiş. İki adam tanışıp konuştular ve Einstein'ın 1932 ilkbaharında Oxford'u ziyaret edeceği zaman İngiltere'de tekrar görüşmeye karar verdiler. Oxford'da yine enstitüyü tartışıp planladılar. Ama bu sırada Flexner Einstein'a enstitünün ilk fizikçisi olabileceğini söyledi. O toplantıda hiçbir şeye karar verilmedi, ama Einstein Almanya'ya döndükten sonra Berlin'deki üçüncü bir görüşmede enstitüye katılmaya karar verdi.

Einstein kendisine yıllık 3000 dolar maaş verilmesini istedi. Bu rakama nasıl ulaştığı belli değil. Hatta Flexner'e daha az bir parayla yaşayıp yaşayamayacağını sordu. Flexner Einstein'ın ekonomik konularda pek iyi olmadığını anlamış olmalı ki o konuyla ilgili görüşmelere Einstein'ın karısıyla devam edildi. Einstein'a o zamanlar için çok yüksek bir akademik maaş olan 16.000 dolar ödenmesine karar verildi. Buna rağmen Einstein anlaşmayı devamlı bir şey olarak görmüyordu; geri döneceğini söyleyerek Berlin'deki işinden yalnızca beş aylık izin aldı. Ama 1932'nin sonlarında Caputh'tan ayrılırken karısından evlerine iyice bakmasını istedi. Karısı nedenini sorduğu zaman evini bir daha hiç göremeyeceğini söyledi. Haklıydı. Karısı 1936'da Princeton'da öldü ve Einstein da bir daha Almanya'ya ayak basmadı.

Einstein'ın Caputh'taki evi 1933 ilkbaharında "silah" aradıklarını söyleyen silahlı bir çete tarafından basılmıştı. Ama o sırada Einstein ve karısı Belçika'daki geçici olarak yerleşecekleri deniz kenarı beldesi Le Cocque'a doğru açık denizde yol alıyorlardı. Böylece Einstein gö-

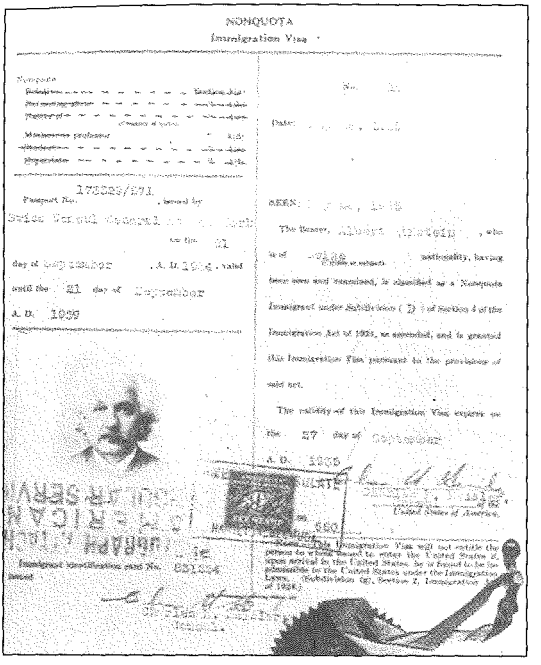
relilik üzerine yazılarının "Bolşevik yanlısı" bulunan başka kitaplarla beraber Berlin Devlet Operası Binası önünde yakılmasına tanıklık etmek zorunda kalmadı. Belçika'daki hiçbir yer Almanya sınırından birkaç saatlik bir otomobil yolculuğundan uzak olmadığı için, Einstein'ın kaçırılabileceği veya öldürülebileceği gibi ciddi endişeler vardı. Kendisine koruma görevlileri verildi ve Le Cocque halkından da kimseye Einstein'la ilgili hiçbir şey söylememeleri istendi. Philipp Frank bize sık sık bu güvenlik "duvarını" aşışının hikâyesini anlatırdı. O sırada Belçika'daymış ve Einstein'ın da Le Cocque civarında bir yerde kaldığını duymuş. Alınan güvenlik önlemlerinden haberi olmayan Frank oraya gidip bölgenin yerlilerine saf saf Einstein'ı nasıl bulabileceğini sormuş, onlar da söylemişler! Ama Einstein'ın evine gittiğinde kendisini bir sürpriz bekliyormuş. Eve varır varmaz iki koruma görevlisi tarafından yakalanmış. Ancak Einstein'ın karısı onu tanıyınca serbest bırakılmış.

9 Eylül'de Einstein İngiltere'ye gitmek için Le Cocque'tan ayrıldı ve oradan da 7 Ekim günü büyük yolcu gemisi *Westmoreland*'e bindi. Elsa, sekreteri Helen Dukas ve asistanı Walther Mayer zaten gemideydi. On gün sonra Amerika Birleşik Devletleri'ne vardılar. Otomobille Princeton'a götürüldüler; oradaki bir otelde yerleri ayırtılmıştı. Kısa süre sonra Einsteinlar ve Bayan Dukas kiralık bir eve geçti. Mercer Sokağı 112 numarayı iki yıl sonra peşin para ödeyerek satın aldılar. O zamanlar Enstitü'nün kendi binası yoktu. Ama Princeton Üniversitesi'nin rektörü matematik bölümünün olduğu Fine Hall'un bir kısmını onlara devretti. Enstitü'nün Princeton'ın dışında kendi yerleşkesini yaptırdığı 1940 yılına kadar Einstein'ın ofisi oradaydı. Fine Hall'a gidenler hâlâ o ilk günlerden kalma bir hatırayı görebilir. 1925'te

Amerikalı fizikçi Dayton Miller, Michelson'un sevgili esirinin ışığın hareketi üzerindeki etkisini ölçebildiğini iddia etti; Michelson'un gözünden kaçan bir kanıt bulmuştu. Bu tabii ki görelilik kuramının sonu olurdu. Hâlâ Almanya'da olan Einstein aslında yanlış olan bu sonuç hakkında söylentiler duyduğunda "Tanrı kurnazdır, ama kötü niyetli değildir." dedi. Einstein'ın Enstitü'deki ilk meslektaşı Princeton'lı matematikçi Oswald Veblen 1930'da hikâyeyi duydu ve cümlenin Almancası olan "Raffiniert ist der Herr Gott, aber boshaft ist er nicht" cümlesinin Fine Hall'daki odalardan birindeki şöminenin üzerindeki duvara kazınması için Einstein'dan izin istedi. Princeton'ın matematik bölümü başka bir binaya taşınmış olsa da yazı hâlâ orada duruyor.

Einstein'ın Amerika'da kendini tam olarak evinde hissetmediğini söylemek herhalde doğru olur. Oraya gittiğinde 50'li yaşlarının başlarındaydı. Biraz İngilizce bilmesine ve Fransızca da konuşabilmesine rağmen, yabancı diller konusunda çok iyi değildi. Orta yaşlı bir adam olarak İngilizcede yolunu bulmayı öğrenmesi gerekiyordu. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en yakın çalışma arkadaşları çoğunlukla Almanca konuşanlardı. Einsteinların evinde konuşulan dil de Almancaydı; Einstein hiç de az olmayan yazışmalarını da Almanca yapıyordu.

Düzenli olarak yazıştığı kişilerden biri Belçika Kraliçesi'ydi. 1933 kasımında, Princeton'a taşınmasından kısa süre sonra ona "Belçika'dan ayrıldığımdan beri doğrudan ve dolaylı olarak birçok iyilik gördüm. Beni siyasal ve kamusal konularda sessiz kalmaya teşvik edenlerin tavsiyelerini olabildiği kadar uygulamaya çalıştım; kendim için korktuğumdan değil, faydalı bir şeyler yapma olanağı görmediğim için." diye yazdı. Şöyle devam


NONQUOTA
Immigration Visa

Einstein 1935'te Amerikan vatandaşlığı için başvurduğunda göç yasaları Amerika Birleşik Devletleri'nden çıkıp sonra bu göçmen vizesiyle tekrar girmesini gerektirmişti. Einstein karısı, üvey kızı ve sekreteriyle Bermuda'da dokuz gün geçirdi.

ediyordu: "Princeton harika bir yer; sütunlar üzerindeki çelimsiz yarı tanrılarıyla tuhaf ama hoş, resmiyete pek düşkün bir kasaba. Ama bazı sosyal gelenekleri görmezden gelerek kendim için çalışmaya olanak sağlayan ve dikkat dağıtıcı şeylerden uzak bir ortam yaratmayı başardım." Büyük ölçüde kendi isteğiyle oluşturduğu yalıtılmışlık hali daha da artmıştı ve bir yıl sonra Kraliçe'ye şöyle yazdı: "Artık Avrupalı arkadaşlarım bana 'Büyük Taş Surat' diyor; çok sessiz olduğum için bu adı hak ediyorum. Avrupa'daki iç karartıcı ve kötü olaylar beni o kadar felce uğrattı ki artık kalemimden kişisel bir şey dökülemiyor. Bu yüzden oldukça ümitsiz bilimsel problemlere kilitlendim; yaşlı bir adam olarak buradaki toplumdan yabancılaştığım için iyice öyle oluyor."

Einstein'ın "kilitlendiği" "oldukça ümitsiz bilimsel problemler"in ne olduğunu bir sonraki bölümde öğreneceğiz; burada yalnızca Einstein'ın fizikteki ana akımdan ne kadar uzaklaştığını açıklığa kavuşturmak istiyorum. Bu Einstein'ın atom bombasının geliştirilmesindeki rolünü anlamak açısından da önemli. Teknik açıdan bakıldığında, genelde düşünüldüğünün aksine bu projede hiçbir rolü olmadığı açığa kavuşacak.

Einstein Princeton'a geldiğinde artık kuantum kuramının tutarsız olduğunu iddia etmiyordu. Belki de Bohr'la görüşmeleri onu ikna etmişti. Ama kuramın eksik olduğunu, yani gerçeğin büyük bir kısmını açıklaya-

madığını iddia ediyordu. Bir kuantum kuramcısı, buna "gerçeğin" kuram tarafından açıklanamayan parçalarının gerçekten var olmadığı yanıtını verirdi. Bu sorun yalnızca kuantum kuramından daha iyi bir kuram ortaya çıkarsa çözülebilirdi. Einstein'ın yapmaya çalıştığı buydu.

Onun yapmak istediği başından beri olasılıklarla uğraşmayan, klasik fizik gibi, bir kuram yaratmaktı. Oluşturacağı daha büyük kuramın, kuantum kuramının sonuçlarını aksiyomlar yani verili kabuller olarak değil, çıkarımlar olarak vermesini istiyordu. Elektron ve foton gibi parçacıkların, bu daha büyük kuramın denklemlerinin sonuçları olarak çıkmasını bekliyordu. Ayrıca Einstein birleşik alan kuramı adını verdiği bu kuramın, elektromanyetizmayı ve kütleçekimini tek bir birleşik alanda toplaması gerektiğini düşünüyordu. Bu kuramı arama çabası fazlasıyla iddialı bir çabaydı; günümüzde birçok fizikçi -birçoğunun o zaman da söylediği gibi- Einstein'ın baştan yanlış yolda olduğunu söylerdi. Einstein asla bir yere varamadı, ama bu durum canını sıkmıyor gibiydi. Neredeyse gerçekten son nefesine kadar büyük bir dinginlikle bu konuda çalışmaya devam etti. Hayalini takip etme isteğinin yoğunluğu 1944 yılında Max Born'a yazdığı bir mektupta belli oluyor:

> Bilimsel beklentilerimiz tamamen zıt hale geldi. Sen zar atan bir Tanrıya inanıyorsun, bense alabildiğine kuramsal bir şekilde kavrayabileceğimi düşündüğüm, nesnel bir şekilde mutlak yasa ve düzen içinde varolan bir dünyaya inanıyorum. Buna kesinlikle *inanıyorum*, ama birisinin benim bulmayı başarabildiğimden daha gerçekçi ya da daha somut bir yol keşfetmesini umuyo-

> rum. Daha genç meslektaşlarımızın bunu yaşlılığın sonucu olarak gördüğünün farkındayım, ama kuantum kuramının baştaki büyük başarısı bile beni bu temeldeki zar oyununa inandırmıyor. Şüphesiz kimin sezgisel tavrının doğru olduğunu göreceğimiz gün gelecektir.

Bu arada fizikteki ana akım kısmen yeni deneysel sonuçlar, kısmen de kuantum kuramının getirdiği kavrayış sayesinde çok büyük gelişmeler gösteriyordu. 1920'lerin sonlarında Paul Dirac kuantum kuramıyla göreliliği ilişkilendirdi. Kuantum kuramının denklemlerini göreliliğin gereklerine de uyacak şekilde yazmanın bir yolunu buldu. Bu ilişkinin sonucunda, antiparçacıkların varolması gerektiğini öngördü. Antiparçacık kendisine denk gelen parçacıkla aynı kütleye ama zıt elektriksel yüke sahip olan bir parçacıktır. Yani, elektriksel bir yükü varsa bu yük parçacığınkiyle aynı büyüklükte ama zıt (artı veya eksi) olacaktır. Keşfedilen ilk antiparçacık Amerikalı fizikçi Carl Anderson tarafından 1932'de kozmik ışınlarda bulunan antielektron yani pozitrondu. Birçok fizikçi bu buluşu kuantum kuramı açısından büyük bir zafer olarak kabul etti.

Kuantum mekaniği kimyasal bağların yapısını, yani kimyasal tepkimelerin nasıl olduğunu ve atomların nasıl birbirlerine bağlanıp molekül oluşturduklarını açıklamak için de kullanılıyordu. Kuramın bu alandaki kullanımı o kadar başarılıydı ki, Paul Dirac "kuantum kuramı fiziğin büyük bir kısmını, kimyanın da tamamını açıkladı" diye bir yorumda bulunmuştu. Her ne kadar Einstein Dirac'ın temel metni *Kuantum Mekaniği*'nden "kuramın mantık açısından en mükemmel sunumu" olarak söz etse de, bu metin yine de kuramın Einstein'ın

"gerçeklik" dediği şeyi açıklamayı başaramaması konusundaki fikrini değiştirmedi. Kuramın yeni bir çalışma alanı olan nükleer fizik alanındaki zaferleri de Einstein'ın fikrini değiştiremedi.

Kuantum kuramı çekirdek tepkimelerini açıklayabiliyordu. Nükleer fiziğin konusu olan atom çekirdeğinin en çarpıcı özelliği, kütlesinin ve yükünün denk olmamasıdır. En basit atom çekirdeği hidrojeninkidir; yalnızca proton olarak bilinen bir parçacıktan oluşur. Dolayısıyla hidrojenin çekirdeğinin kütlesi protonun kütlesidir. Ama hidrojenden sonraki en ağır element olan helyumun iki protondan oluşan bir çekirdeği vardır, kütlesi ise yaklaşık dört protonunkine eşittir. Bu, helyum çekirdeğinde bu farkı yaratan elektriksel olarak nötr bileşenler olması gerektiğini gösterir. 1909'da protonu keşfeden Ernest Rutherford doğal ama yanlış bir tahminde bulundu: Bu elektriksel olarak nötr bileşenler birbirine yapışık bir elektron ve protondan oluşuyor olmalıydı. Ama Rutherford'un Cambridge'deki genç çalışma arkadaşlarından biri olan James Chadwick 1932'de nötron adı verilen bu nötr bileşenin protondan biraz daha büyük bir kütleye sahip olan, kendi başına bir parçacık olduğunu keşfetti. Nötron elektriksel olarak nötr olduğu için çekirdeği araştırmaya uygun bir "sonda" görevi görüyor. Protonların elektriksel itme gücünden etkilenmiyor ve çekirdeğin içine girebiliyor. Kısa zamanda çeşitli ülkelerdeki çeşitli araştırma grupları nötronları çeşitli maddelerin içine gönderip neler olacağını izlemek için kullanmaya başladılar.

Bu gruplardan en ilginci Roma'da Enrico Fermi başkanlığında çalışan gruptu. Fermi kazara gerçekleşen ama çok önemli olan, yavaş nötronların, yani oda sıcaklığındaki bir gazın parçacıklarının hızıyla hareket eden

nötronların çekirdek tepkimeleri başlatmakta hızlı nötronlardan daha etkin olduğunu buldu yaptı. 1935'te Fermi ve grubu uranyumdan oluşan bir hedefi, radyasyonu dışarıda bırakmak için alüminyum bir folyoya sardıktan sonra yavaş nötron bombardımanına tuttular. Bir uranyum atomunun çekirdeği bir nötron tarafından parçalandığı zaman -fisyon adı verilen olay- boron ve kripton adında iki daha hafif element ve onların yanı sıra az sayıda nötron açığa çıkar. Bu kuvvetli, enerji üreten bir tepkimedir; Fermi ve ekibi uranyumu folyoyla sarmamış olsalardı mutlaka bunu fark ederlerdi. Nükleer fisyon, onların yerine 1938'de Berlin'de fisyon oluşturan deneyi yapan Otto Hahn ve Fritz Strassman ile bu deneyin sonuçlarını doğru olarak yorumlayan Lise Meitner ve Otto Frisch tarafından keşfedildi.

Bu noktada hikâyemize ilginç bir kişi olan Leo Szilard giriyor. Szilard 1898'de Budapeşte'de doğdu, yani Einstein'dan yirmi yaş gençti. Ailesi hali vakti yerinde bir Yahudi aileydi. Szilard yüksek öğrenimine mühendislik öğrencisi olarak başladı, ama asıl ilgisinin fizik ve matematik olduğunu fark etti. 1920'de Szilard ve erkek kardeşi Bela Berlin'e geldiler. Burada Leo mühendislikten vazgeçip fizik okumak için üniversiteye kaydoldu. Einstein'ın, Planck'ın ve tanınmış başka fizikçilerin etkin bir rol oynadığı ünlü Perşembe akşamı toplantılarına katıldı. Szilard az cüretkâr değildi. Çok da zekiydi ve Einstein'a birkaç öğrenciye istatistiksel mekanik konusunda bir seminer verip veremeyeceğini sordu. Einstein görelilik kuramını yayımladıktan sonra onu Bern'de ziyaret eden ilk fizikçi olan Nobel ödüllü Max von Laue de Szilard'a görelilik konusunda bir tez problemi verdi.

Ama Szilard kısa zamanda Laue'nın verdiği probleme ilgisini yitirdi ve onun yerine istatistiksel mekanik ala-

nında kendisi bir problem oluşturdu. Szilard'ın gerçekten tamamladığı az şeyden biri olan bu problem çok güzel bir problemdi. Szilard Einstein'ın yüreklendirmesiyle bunu Laue'ye sundu. Laue de problemi Szilard'ın tezi olarak kabul etti. Szilard'ın bir konudan hemen başka bir konuya atlama eğilimi vardı ve kısa süre sonra dikkatini yeni, sessiz çalışan bir buzdolabı tasarlamaya yöneltti. Bu projede Einstein onunla birlikte çalıştı ve beraber birçok patent aldılar.

Belli bir süre gezindikten sonra Szilard İngiltere'de geçici bir iş buldu. Nötronun bulunuşundan bir yıl sonra, 1933 yılı sonbaharında Rutherford'un bir konuşmasının yazıya dökülmüş metnini okurken aklına bir fikir geldi. Rutherford çekirdeği enerji kaynağı olarak kullanmayı düşünen herkesin "saçmaladığını" söylemişti. Szilard'ın aklına zincirleme tepkime fikri gelmişti. Eğer atom çekirdeğiyle ilgili bir süreç -aklında belirli bir şey, örneğin fisyon gibi bir şey yoktu- o süreci başlatmak için gerekenden daha çok nötron üretiyorsa, bu yeni nötronların denetimsiz -ve belki de patlayıcı- bir süreçle daha başka tepkimeler başlatabileceğini fark etti. Szilard bu kavramdan o kadar etkilenmişti ve yanlış ellere geçmesinden o kadar endişeliydi ki 1934'te bununla ilgili bir patent bile aldı. Szilard'ın sorunu nükleer fiziği, düşündüğü zincirleme tepkimeler için gereken fazladan nötronları üretecek tepkimenin fisyon olduğunu düşünecek kadar iyi bilmemesiydi. Ama haksızlık etmeyelim, kuantum mekaniğini atom çekirdeğine uygulamakta olan Bohr ve Heisenberg gibi usta fizikçiler de bunu düşünmemişti.

1938'de fisyon keşfedildiğinde hem Szilard hem Fermi Amerika Birleşik Devletleri'ndeydi. Bohr Princeton'dan yeni dönmüş ve Otto Hahn, Lise Meitner ve Al-

manya'daki meslektaşlarının fisyonu gerçekleştirdiği haberini getirmişti. Açıklama fizik çevrelerinde inanılmaz bir hareketliliğe yol açtı. Fermi New York'taki Columbia Üniversitesi'nde bir iş bulmuştu ve Szilard sık sık oraya giderek oradaki fizikçilerin dikkatini fisyonun olası tehlikelerine çekmeye çalışıyordu. Fisyon sırasında fazladan nötron salınıp salınmadığı acilen yanıtlanması gereken bir soruydu. Eğer öyleyse, fisyon zincirleme bir tepkime başlatabilirdi. Eğer değilse yalnızca büyüleyici bir laboratuvar tuhaflığı olarak kalacaktı. Pek çok kişiye musallat olduktan sonra Szilard Columbia'da kendisiyle çalışmaya istekli Walter Zinn adında genç bir fizikçi buldu. Birlikte fisyon tepkimesi sırasında çıkan nötronları gözlemlediler. Szilard için bu nükleer silah yapılabileceğinin açık bir göstergesiydi. Almanya dahil başka birçok ülkedeki fizikçilerin de aynı keşifte bulunacağını fark etti. Bu bilginin olabildiğince az yayılması için meslektaşlarının kendilerini denetlemesini sağlamaya çalıştı. Ama şimdilik kimse onu ciddiye almıyordu.

Bu rahat tavrın nedeni kısmen Bohr'un hemen hemen aynı zamanda yaptığı kuramsal bir keşifti. Uranyum atomunun çekirdeği birçok izotop (çekirdeklerinde doğada bulunan, kararlı türleriyle aynı sayıda proton olan ama farklı sayıda nötron olan atomlar) halinde bulunur. En sık görülen uranyum izotopu 92 protonu ve 146 nötronu olan uranyum-238'dir. Ama doğadaki bir madende bulunabilecek türden uranyumun yaklaşık yüzde 0,7'si ender görülen ve çekirdeğindeki nötron sayısı üç eksik olan uranyum-235 izotopudur. Bohr, Fermi'nin, Hahn'ın ve diğerlerinin o sırada yaptığı deneylerde yalnızca uranyum-235 izotopunun fisyona uğratıldığını fark etmişti. O zaman Bohr nükleer silaha benzer bir şey yapmak için, çoğunlukla uranyum-235'ten oluşan

bir uranyum "yakıtı" elde etmek üzere ilk önce bu iki izotopun ayrılmasının gerekli olduğunu anladı. İki izotop da temelde aynı kimyasal davranışları gösterdikleri ve neredeyse aynı kütleye sahip oldukları için, Bohr bunları ayırmanın çok zor ve pahalı olacağını biliyordu. "Bir bomba yapmak bütün bir ülkenin çabasını gerektirir." demişti. Haklı sayılırdı. Atom bombası yapımı, o güne kadarki en pahalı bilimsel ve teknik problem oldu.

1930'larda Einstein Belçika Kraliçesi'ne mektup yazmaya devam etti. Avrupa'da olanlarla ilgili giderek daha da ümitsizleşiyordu. Ocak 1939'da Kraliçe'ye "Güzel şeyler yazamayacak kadar endişeliyim. Tanıklık etmek zorunda bırakıldığımız ahlaki çöküntü ve bunun yarattığı acı öyle ağır ki, bir anlığına bile göz ardı edilemiyor. İnsan kendini işine ne kadar verirse versin, kaçınılmaz bir trajedi olacağı düşüncesi hiç aklından çıkmıyor." diye yazdı. Einstein I. Dünya Savaşı sırasındaki savaş karşıtı düşüncelerini çoktan bir kenara bırakmış, Hitler'in ancak kaba kuvvetle durdurulabileceğine ikna olmuştu.

Einstein'ın 1930'lardaki nükleer fiziği çok yakından izlemiş olması pek olası değil. Ne de olsa o alanın konusu uygulamalı kuantum mekaniğiydi. Ayrıca nükleer enerjinin kullanılması olasılığının "yalnızca birkaç kuş olan bir ülkede, karanlıkta kuş avlamak" kadar düşük olduğunu düşünüyordu. Szilard sayesinde bu algı değişmek üzereydi.

Einstein Amerika Birleşik Devletleri'ne geldiğinden beri yaz tatillerini New York'tan çok uzakta olmayan Long Island'da, deniz kıyısında geçiriyordu. 1939 yazında Peconic, Long Island yakınındaki Nassau Point'te bir ev kiraladı. Burada teknesiyle gezebiliyor ve komşularıyla oda müziği yapabiliyordu. Szilard o yılın 12 Temmuz günü Einstein'ı orada buldu. O zamana kadar Szi-

lard fisyon sırasında salınan nötronları yavaşlatmak için grafit yani arıtılmış karbon kullanan bir nükleer reaktör tasarımı yapmıştı. Her ne kadar yaptığı bu tasarım sonradan Amerika Birleşik Devletleri'nin reaktör programının temeli olacaksa da, konuya ilgi çekmeyi başaramamıştı. Hem bu ilgisizlik hem de Almanların da muhtemelen aynı şeyi yapmakta olduğu düşüncesi -ki doğruydu- Szilard'ı neredeyse bir paniğe sürüklemişti. Szilard'ın Princeton'da nükleer fizikçi olan Eugene Wigner adında Macar bir arkadaşı vardı. Wigner de Einstein'ın Berlin'deki istatistiksel mekanik seminerine katılmıştı. Szilard Wigner'i New York'a gelip reaktör tasarımına bakmaya ikna etti. Tasarımı inceleyen Wigner böyle bir reaktörün işleyebileceğine ikna oldu. İki fizikçi bundan sonra ne yapabilirlerdi?

Wigner Einstein'ın Belçika Kraliçesi'ni tanıdığını hatırladı. Bu önemliydi, çünkü Almanların Belçika'yı istila edip dünyanın en zengin uranyum yatağı olan Belçika Kongosu'nu -Belçika'nın Afrika'daki sömürgelerinden biri- ele geçirmelerinin kolay olacağını biliyordu. Szilard ve Wigner Long Island'a gidip Einstein'ı görmeye ve onu uranyum konusunda uyarmak için Belçika Kraliçesi'ne bir mektup yazmaya ikna etmeye karar verdiler.

Szilard otomobil kullanmayı bilmediğinden Wigner'in otomobiliyle yola koyuldular. Önce yollarını şaşırdılar, ama sonunda Peconic'e ulaştılar. Einstein bir tekne gezintisinden yeni dönmüştü, ama oturup iki adamın anlattıklarını dinledi. Wigner zincirleme tepkime kavramını ve bunun bir reaktör veya bir bomba yapmak için nasıl kullanılabileceğini anlattıktan sonra Einstein Almanca "Daran habe ich gar nicht gedacht" -"Ben bunu hiç düşünmemiştim"- dedi. İlk tepkilerinden biri,

eğer nükleer enerji gerçekten kullanılabilirse, bunun insanoğlunun doğrudan veya dolaylı olarak Güneş'ten gelmeyen bir enerji kaynağını ilk kullanışı olacağını söylemek oldu. Einstein Belçikalıların uyarılması gerektiği fikrine katıldı ve Washington'daki Belçika büyükelçisine iletilmek üzere bir mektup dikte ettirdi. Sonra iki Macar New York'a döndü.

Ama konuyu saplantı haline getirmiş olan Szilard için Einstein'la yapılan bu görüşme yeterli değildi. Bir şekilde Amerikan hükümetinin en üst düzeylerindeki kişilere -mümkünse Başkan'a- ulaşması ve onları nükleer fisyonun potansiyel tehlikesine karşı uyarması gerektiğine karar verdi. New York'taki bir tanıdığı aracılığıyla Başkan Franklin A. Roosevelt'in danışmanı, ekonomist Alexander Sachs'la görüşmeyi başardı. Sachs konuyu önemsedi ve Szilard'a eğer Einstein'ın bir mektup yazmasını sağlayabilirse kendisinin da Başkan'ın mektubu görmesini sağlayacağını söyledi. Bu Long Island'a bir kere daha gitmek demekti.

Wigner California'ya gitmişti, o yüzden Szilard yine bir Macar fizikçiyi, Edmund Teller'i kendisini Einstein'ın Peconic'teki evine götürmekle görevlendirdi. Wigner gibi Teller de birinci sınıf bir nükleer fizikçiydi. Szilard Roosevelt'e dört sayfalık fena halde karmaşık bir mektup yazmış ve okuması için önceden Einstein'a göndermişti. Einstein, Szilard ve Teller mektubun baştan yazılması gerektiğine karar verdiler. Szilard New York'a döndü ve biri uzun, biri kısa iki yeni mektup yazdı ve bunları imzalaması için Einstein'a yolladı. Einstein 9 Ağustos 1939'da iki mektubu da imzalanmış olarak Szilard'a geri gönderdi. Sonunda Roosevelt'in eline geçen mektup uzun olan mektuptu. İngilizce yazılmıştı ve 2 Ağustos 1939 tarihliydi. Şöyle başlıyordu:

Efendim,

E. Fermi [Fermi de fisyonda nötronların oluştuğunu doğrulamıştı] ve L. Szilard tarafından yapılmış ve bana müsveddeleri ulaşmış iki çalışma, uranyum elementinin çok yakın gelecekte yeni ve önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini düşünmeme yol açtı. Oluşan durumun bazı yönleri tedbirli olmayı ve gerekirse yönetim tarafından hızla harekete geçilmesini gerektiriyor. Bu nedenle bazı gerçekleri ve tavsiyeleri dikkatinize sunmayı görev biliyorum:

Son dört ayda Amerika'da Fermi'nin ve Szilard'ın yanı sıra Fransa'da Joliot'un [Frederic Joliot-Curie, Marie Curie'nin kızı Irene'le evlenmiş ve soyadına karısının soyadını da eklemiş olan Fransız bir fizikçiydi. Fisyon sırasında oluşan nötronları o da keşfetmiş ve Szilard'ı neredeyse çıldırtan bir şey yaparak bunu herkese açık bilimsel bir dergide yayımlamıştı.] çalışmaları sayesinde, büyük bir uranyum kütlesinde [ne kadarlık bir kütle gerektiğini henüz kimse bilmiyordu] büyük miktarda güç ve büyük miktarlarda radyum benzeri yeni elementler ortaya çıkmasına yol açacak zincirleme bir nükleer tepkime [Szilard'ın deyimi] başlatmak mümkün hale gelmiştir. Şimdi bunun çok yakın gelecekte gerçekleştirilebileceği neredeyse kesin görünüyor.

Bu noktada mektup biraz iyimserdi. Chicago Üniversitesi'nde, fisyon sırasında açığa çıkan nötronları yavaşlatmak için arıtılmış grafit kullanılarak yapılan Fermi reaktöründe 2 Aralık 1942'ye kadar kendiliğinden devam eden bir zincirleme tepkime elde edilemedi. İlk

nükleer patlama 19 Temmuz 1945'te New Mexico çölünde gerçekleştirildi. İlk atom bombası 6 Ağustos 1945 günü saat 8:15'te Japonya'daki Hiroşima'ya atıldı. Patlamada ve sonrasında yaklaşık 200.000 kişi öldü.

Einstein şöyle devam ediyordu:

> Bu yeni olgu bomba yapımına da yol açabilir; böylece son derece etkili yeni tür bombalar yapılabileceği -çok büyük bir kesinlikle olmasa da- düşünülebilir hale gelmiştir. Bir gemiyle taşınıp bir limanda patlatılacak bu türden tek bir bomba, tüm limanı ve çevresindeki bölgenin bir kısmını da yok eder. Ancak böyle bombalar hava yoluyla taşınamayacak kadar ağır da olabilir. [O zaman kimse bir bomba yapmak için ne kadar zenginleştirilmiş uranyum gerekeceğini bilmiyordu. Sonradan 58 kilogram saf uranyum-235'in yeterli olacağı ortaya çıktı. Hiroşima'ya atılan bombanın tam olarak monte edilmiş hali 4400 kilogram geliyordu, o zaman kullanılmakta olan B-29 uçaklarıyla kolayca taşınabildi.]
>
> Amerika Birleşik Devletleri az miktarda vasat kalitede uranyum cevherine sahip. En önemli uranyum kaynağı Belçika Kongo'su; Kanada'da ve eski Çekoslovakya'da da iyi madenler var...

Mektup daha sonra Amerika Birleşik Devletleri'ne bazı önerilerde bulunarak devam ediyor. Nükleer enerjinin geliştirilmesiyle ilgili araştırmalara verilen mali desteğin artırılması da öneriler arasında yer alıyor. Mektup [o sırada Çekoslovakya'yı işgal etmiş olan] "Almanya'nın ele geçirdiği Çekoslovakya madenlerinden uranyum satışını durdurmuş olduğu" şeklindeki, hiç de

iyiye işaret olmayan bir haberle sona eriyor. Einstein'ın ima etmeye çalıştığı şey, sonradan da doğrulandığı üzere, Almanların başlangıç safhasında olsa da nükleer silah yapımı olasılıklarını araştırdıkları bir nükleer enerji programı başlattıklarıydı.

Szilard mektuba o zamana kadar fisyon üzerine yapılmış tüm çalışmaları özetleyen teknik bir belge ekledi ve Ağustos ortasında belgeleri Sachs'a teslim etti. Ama Sachs 11 Ekim'den önce Roosevelt'e ulaşamadı çünkü o sırada Başkan'ın yapılacak daha önemli işleri vardı. 1 Eylül'de Almanya Polonya'yı işgal etti ve II. Dünya Savaşı başladı. Sachs sonunda Roosevelt'le görüşebildiğinde Einstein'ın imzaladığı mektubu ona okudu. Başkanın aklı başka yerde gibiydi.

Ama Roosevelt ertesi gün Sachs'la ikinci bir toplantı yaptı ve bu sefer uranyum konusunda bir danışma kurulu oluşturulmasına karar verdi. Szilard'dan, Wigner'den ve Teller'den bu kurula katılmaları istendi. Einstein'a davet gönderilmedi. Einstein'ın ne savaş sırasında ne de savaş sonrasında nükleer programla bir ilgisi olmuş gibi görünüyor. Aslında İngilizler olmasa program hiç hayata geçmeyebilirdi. Hahn'ın ve Strassman'ın buldukları şeyin nükleer fisyon olduğunu, teyzesi Lise Meitner'le beraber ilk anlayan kişi olan Otto Frisch, 1940'ın başında diğer araştırmacılardan bağımsız olarak uranyum-235'in gerçekten bomba yapmak için kullanılabileceğini fark etmişti. O arada İngiltere'ye göç etmişti ve kendisi de daha önce İngiltere'ye göç etmiş olan tanınmış kuramsal fizikçi Rudolf Peierls'in evinde kalıyordu. Frisch ve Peierls bir bomba yapmak için ne kadar uranyum-235 gerekeceğini -kritik kütleyi- hesapladılar. Hesapları yalnızca yarım ile bir kilo arasında bir sonuç verince çok şaşırdılar. (Aslında gereken miktar



Einstein televizyon izleyicilerine nükleer silahların insanlık için oluşturduğu büyük tehlikeyi anlatıyor. Einstein nükleer silahların hızla yayılmasından dehşete kapılmıştı ve sık sık onlar aleyhine fikirlerini açıklıyordu.

bunun elli katı kadardır.) Buldukları sonuç onları bir hayli endişelendirmişti. Birkaç kilo ayırılmış ve saf uranyum-235 üretmek çok zor bir iş olmasa gerekti. Hatta Frisch Almanya'da keşfedilmiş olan izotop ayırma yöntemiyle uranyum arıtma deneyleri yaptı. Frisch ve Peierls yaptıkları hesaplar üzerine iki rapor yazıp İngiliz bilim çevrelerinde iyi bir yeri olan Mark Oliphant adında bir fizikçiye verdiler.

İngiliz hükümetinin desteğiyle etkin bir araştırma programı başlatıldı. 1941'in yaz aylarına gelindiğinde İngilizler bir bomba üretmek için eylem planı hazırlamışlardı. Bu plan ekimde Amerikalılara iletildi; Amerika Birleşik Devletleri'ni atom bombası üretmeye iten de Einstein'ın Roosevelt'e yazdığı mektup değil bu oldu. Ancak Einstein'ın mektubu böyle bir programın başlatılmasını kolaylaştırdı, çünkü her ne kadar pek bir etkisi olmasa da danışma kurulu hazırdı.

Einstein'ın müttefiklerin 1941'den itibaren bir nükleer silah yapmak üzere yoğun bir program başlattıklarından kuşkulanıp kuşkulanmadığı bilinmiyor. Princeton'daki fizikçilerin çoğunun savaş için çalıştıklarını fark etmiş olmalı. Bu tür çalışmaların yürütüldüğü pek çok yer vardı. Nitekim Einstein da denizaltıların algılanmasıyla ilgili sorunlarda donanma için çalıştı. Ağustos 1945'te Hiroşima'ya atom bombası atıldığı açıklandığı zaman, Einstein'ın Almanca olarak "Yazıklar olsun!" dediği söylenir. En büyük korkusu insanlığın, nükleer enerjinin gerektiği gibi kullanılmasını sağlamak için gerekli olan siyasi ve toplumsal düzeye erişmeden, çok ge-

lişmiş ve son derece yıkıcı bir teknolojik silah üretmeyi sonunda başarmış olmasıydı. Hemen nükleer silahların yayılmasını durdurmak ve başka bir nükleer savaş daha çıkmasını önlemek için kurulan çeşitli derneklere desteğini ilan etti.

1939'dan başlayarak Elsa Einstein'ın kızı Margot ve Einstein'ın kız kardeşi Maja Mercer Sokağı 112 numarada Einstein, Elsa ve Bayan Dukas'la beraber yaşadılar. 1946'da Maja felç geçirdi ve 1951'deki ölümüne kadar yatalak kaldı. Bu süre boyunca Einstein akşamlarının bir kısmını kız kardeşinin odasında ona kitap okuyarak geçirdi. Klasiklerden ve James Frazer'in düşüncenin büyüden bilime doğru gelişmesini anlattığı *Altın Dal* adlı kitabı gibi, kendisine de ilginç gelen konuları ele alan kitaplardan okuyordu. Hava iyi olduğu ve sağlığı izin verdiği zaman Enstitü'den eve yaklaşık üç kilometre yürüyordu. Einstein bu yıllarda sık sık rahatsızlanıyordu. Karnında anevrizma -damar duvarının zayıflamasından kaynaklanan damar genişlemesi- oluşmuştu. Bu hayati tehlike doğuran bir durumdu ve Einstein ameliyat edildi. Doktorunun tavsiyesi üzerine çok sevdiği piposunu içmeyi bıraktı. Sovyetler Birliği'yle Soğuk Savaş'ın en yoğun olduğu 1950'lerde Einstein Amerika Birleşik Devletleri'ndeki politik durumla da yakından ilgiliydi. Wisconsin senatörü Joseph McCarthy bilim adamlarına yönelik sert ve sorumsuz bir soruşturma başlatmıştı. 1954'te, Einstein'ın ölümünden bir yıl önce, o zaman İleri Araştırma Laboratuvarı'nın müdürü olan, Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico Los Alamos'taki atom bombası programının eski başkanı J. Robert Oppenheimer'in atom enerjisi konusunda çalışma izin belgesi iptal edildi. Çoğu fizikçi Oppenheimer'in itibarının haksız yere zedelendiğini ve yaratmakta önemli

bir rol üstlendiği askeri teknolojiden anlamsızca dışlandığını düşündü. 1951'de Belçika Kraliçesi'ne de yazdığı gibi, 1950'lerin ortamı Einstein'ı derinden etkiliyordu:

> Sevgili Kraliçe,
>
> İçten selamınız beni çok sevindirdi ve mutlu anıları canlandırdı. O zamandan beri [Einstein kraliyet ailesini son gördüğünden beri geçen zamanı kastediyor] acı hayal kırıklıklarıyla dolu on sekiz yıl geçti. Ama yine de insan cesur ve dürüst kalmayı başarmış birkaç kişide avuntu ve mutluluk bulabiliyor. Bu birkaç kişi sayesindedir ki insan yeryüzünde kendini hepten bir yabancı gibi hissetmiyor. Siz de o birkaç kişiden birisiniz.
>
> Almanları yenilgiye uğratmak son derece yüksek bir bedel karşılığında sonunda mümkün olduysa da, sevgili Amerikalılar hemen onların yerini aldı. Onları kendilerine kim getirecek? Yıllar öncesinin Alman felaketi kendini tekrarlıyor; insanlar direniş göstermeden razı oluyor ve kötülüğün kuvvetleriyle işbirliği yapıyorlar. İnsan eli kolu bağlı, seyrediyor.

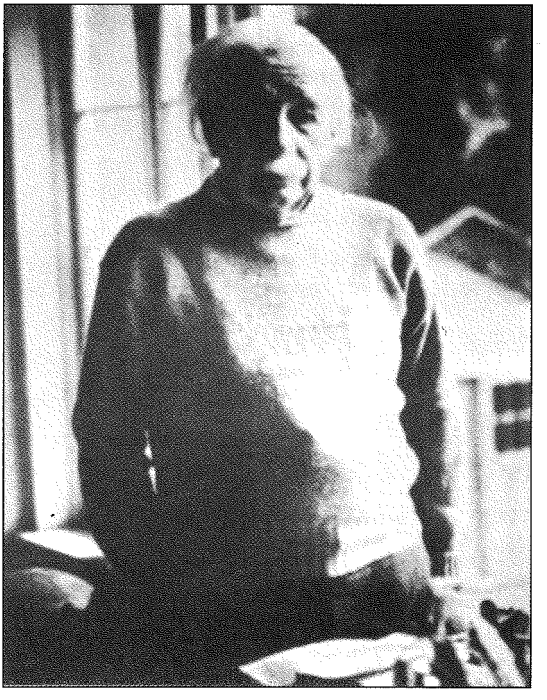
Neyse ki Einstein bu son ifadesinde yanılıyordu. McCarthy gözden düştü ve demokrasi gelişmeye devam etti. Yaşadığı ülkenin yerlisi olmayan Einstein Amerika Birleşik Devletleri'nin özgürlük geleneğini hafife almakta acele etmişti. Kraliçe'ye mektubu şöyle devam ediyor:

> Çok istesem de büyük ihtimalle bir daha Brüksel'i göremeyeceğim. [Einstein Avrupa'ya hiç dönmedi.] Edindiğim garip popülerlik yüzünden yaptığım her şey saçma bir komedyaya dönüşüyor.

[Medya gerçekten de Einstein'ın bir çocuğun ödevini yapmasına yardımcı olmasından, külahta dondurma yemesine kadar her şeyi haber yapıyordu.] Bu durum evimden pek çıkmamamı ve Princeton'dan çok seyrek ayrılmamı gerektiriyor.

Keman çalmayı bıraktım. Yıllar geçtikçe kendi çalışımı dinlemek giderek dayanılmaz hale geldi. [Piyanoda doğaçlama yapmaya devam ediyordu.] Umarım siz de benzer bir kader paylaşmamışsınızdır. Geriye kalan tek şey zor bilimsel problemler üzerinde durmadan çalışmak. Bu çalışmaların insanı kendine çeken büyüsü son nefesime kadar sürecek.

Einstein 18 Nisan 1955'teki ölümünden kısa süre önce Princeton'daki evinin çalışma odasında



Einstein ölümü huzurla bekliyor gibiydi. 18 Nisan 1955'teki ölümünden birkaç ay önce bir arkadaşına "Ama yine de ihtiyarlıkla beli bükülmüş biri için ölüm özgürlüğüne kavuşmak gibi; kendim de yaşlandığımdan bunu kuvvetle hissediyorum ve ölümü sonunda ödenecek eski bir borç gibi görmeye başladım." diye yazmıştı. 13 Nisan 1955 Çarşamba günü öğleden sonra Einstein'ın karnında kanama başladı. Hayatının tehlikede olduğunu biliyordu ama uzatılması için bir şey yapılmasını istemedi. Doktorlarına "Üzerime düşeni yaptım, şimdi gitme zamanı." dedi. Princeton'daki has-

taneye kaldırıldı. Berkeley'den gelen oğlu Hans Albert Einstein'ı orada ziyaret etti. Einstein çalışmaya devam edebilmek için gözlüklerini istemişti. 17 Nisan Pazar günü birleşik alan kuramının bir parçası olarak yaptığı bitmemiş bir hesap üzerinde çalışmaya başladı. Ertesi sabah 01:15'te öldüğünde kâğıtları yatağının yanındaydı. Kraliçe'ye söylemiş olduğu gibi çalışmalarının "insanı kendine çeken büyüsü" son nefesine kadar devam etmişti.

8.
BÖLÜM

Einstein'ın Mirası

Einstein 1955'in Nisan ayında öldüğünde dünyanın her yerinde kaybından dolayı üzüntü hissedildi. Adı 20. yüzyılın önemli olaylarından -hem bilimsel zaferlerinden hem de trajedilerinden (atom bombası ve Avrupa'daki Yahudi kardeşlerinin katledilmesi gibi)- ayrı düşünülmüyordu. Einstein'ın fotoğrafları insanların aile üyelerinden birinin fotoğrafı kadar tanıdık hale gelmişti. Bu bir bakıma çok garip, çünkü çalışmaları çok az kişi tarafından anlaşılabiliyordu. Herkes bu çalışmaların olağanüstü zor ve atom bombasıyla ilgili olduğunu biliyordu. Ama insanların çoğu kendilerine göreliliğin ne olduğu sorulacak olsa hiçbir yanıt veremez. Fizikçiler bile -çoğu fizikçi- Einstein'a fizik alanındaki son gelişmelerle alakalı biri olarak değil de, neredeyse tarihi bir eser gözüyle bakıyordu. Kuşağındaki diğer fizikçilerin çoğunun aksine Einstein Amerika Birleşik Devletleri'ne geldikten sonra neredeyse hiçbir fizik konferansına katılmadı. Princeton'da arada bir ders verdi ve ilgisini çeken birkaç seminere katıldı, ama onu devamlı bir ders verirken veya büyük

bir fizik toplantısında çağrılı olarak konuşurken hayal etmek zor.

Bu inziva kendisinin yarattığı bir şeydi. Bu ülkeye gelmiş bütün Avrupalı mültecilerle paylaştığı bir durum olan İngilizcenin anadili olmaması durumunun yanı sıra Einstein neredeyse ABD'ye geldiği andan itibaren kendisinin "yaşlı" olduğunu düşünmeye başlamış gibi görünüyor. Bizim standartlarımıza göre yaşlı sayılmayan 60'lı yaşlarında olduğu 1930'larda bile başka bir kuşağa aitmiş gibi hissediyordu. Aynısı fizik için de geçerliydi. Fizikteki son gelişmelerle pek ilgili değildi. Tanıdığım bir fizikçi ona keşfedilmekte olan yeni parçacıkları anlatmaya çalıştığında, Einstein ona insanın daha elektronu anlayamamışken bunları nasıl anlayacağını sormuş. Günümüzde çoğu fizikçi insanın elektronları *ancak* diğer parçacıkları içeren daha kapsamlı bir sistemin parçası olarak anlayabileceğini düşünüyor.

Sonradan modern fizik diye adlandırılan şeyin büyük kısmını o keşfetmiş olsa da aslında Einstein büyük klasik fizikçilerin sonuncusuydu. Eğitimini 19. yüzyılda tamamlamıştı. Onun ilgilendiği konuların, kuantum kuramını bütün olasılıkları ve belirsizlikleriyle olduğu gibi kabul eden çağdaş bir fizikçiye garip gelmesinin nedeni muhtemelen budur. Tanıdığım başka bir fizikçi kuantum kuramında kavramsal bir problem olarak nitelediği bir şeyin "çözümünü" Einstein'a göndermişti. Einstein bunu adamın probleminin ne olduğunu anlamadığı için çözümünü de anlamadığı şeklinde yanıtlamıştı. Çoğu fizikçi Einstein'ın yaşamının son yirmi otuz yılında ilgilendiği konular için muhtemelen aynı şeyi söylerdi. İnsan Einstein'ın uğraştığı problemin ne olduğunu anlamadığı için, çözüme ne kadar yakın ya da ne kadar uzak olduğunu anlamakta da zorluk çekiyor.

Yine de çağdaş fiziğin genel manzarasına baktığımızda Einstein'ın mirasını her yerde, ama büyük ihtimalle onun onaylamayacağı terimlerle ifade edilirken görüyoruz. Son yıllarda kuantum kuramının temellerini yeniden incelemek fizikçiler arasında yine "moda" oldu. Bu süreç, 1980'lerin başlarında İrlanda doğumlu fizikçi John Bell Einstein'ın kuantum kuramı yerine olasılıkları ve belirsizlikleri gereksiz kılan daha temel bir yapı oluşturma fikrinin laboratuvarda sınanabileceğini söylemesiyle başladı. Bu çalışma çeşitli laboratuvarlarda yapıldı. Bu çalışma nedeniyle birçok fizikçi Einstein'ın yanılmış olduğuna katılıyor. Eğer bir gün kuantum kuramının çöktüğü gösterilecekse bile bu günümüz laboratuvarlarında ulaşılabilen koşullarda olmayacak. Ama kuram hayal edebileceğimiz ve üzerine tahmin yürütebileceğimiz aşırı durumlarda çökebilir. Bu da bizi kütleçekimi ve evrenbilim konusuna getiriyor ki, gördüğümüz gibi bu konu da modern haliyle Einstein tarafından kuruldu.

Bell Telefon Laboratuvarları'nda çalışmakta olan Arnold Penzias ve Robert Wilson 1965'te şans eseri Büyük Patlama'dan artakalan ışınımı keşfettiler. Bu ışınım büyük ölçüde mikrodalga türünde -dalga boyu olarak santimetre büyüklüğünde- ve radarlarda kullanılan türden dalga boyundadır. Fon ışınımı, sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde 2,74 derece olan bir kara cisminki kadardır. Bu ışınımın kaynağına dair bugün kabul edilen fikre göre, yaklaşık 15 milyar yıl önce evren inanılmaz derecede yoğun ve sıcak bir halde sıkışmıştı. Sonra bu tekil hal patladı -Büyük Patlama- ve evren genişlemeye ve soğumaya başladı. Bu patlama sonucu oluşan ışınım da Büyük Patlama'dan yaklaşık 300.000 yıl sonra kara cisim haline ulaşana kadar soğudu, ama bu şu anda olduğu 15

milyar yıllık ek soğumayla ulaştığı sıcaklıktayken değil, yaklaşık 10.000 derece sıcaklıktayken oldu. Penzias ve Wilson'un gözlemlediği fotonlar o zamankilerin devamıydı. Bu arada, Penzias ve Wilson bu çalışmayla 1978 Nobel Ödülü'nü kazandıklarında aynı yıl Nobel Edebiyat Ödülü'nü almış olan romancı ve kısa öykü yazarı I. B. Singer onlara Büyük Patlama'dan gelen "sesin" gerçekten duyulup duyulamayacağını sordu. Bir bakıma duyulabilir. Patlamadan artakalan ışınım kuantumları -evrenin her santimetre küpünde 400 tane- onları gözlemlemek için kullanılan radyo teleskop bir hoparlöre bağlanırsa bir hışırtı sesi çıkarır.

Gördüğümüz gibi bu gelişmenin dinamiğini, Einstein'ın Friedmann tarafından düzeltilen kütleçekimi denklemleri açıklamaktadır. Einstein Büyük Patlama'dan kalan ve "kozmik fon ışınımı" olarak bilinen bu ışınımın varlığını öğrenecek kadar uzun yaşamadıysa da, Friedmann denklemlerini evrenin genişlemesinin iyi bir yaklaşık tanımı olarak kabul ediyordu. Peki bu denklemleri zamanda geriye doğru götürürsek ne olur? Bir kolu döndürüp denklemleri tersten uygularsak yalnızca çok sıcak ve yoğun değil, *sonsuz* sıcak ve yoğun bir ilk duruma ulaşırız, bu gerçek bir tekilliktir. Fizikte arada bir denklemlerin tekillik yaratıyor gibi göründüğü böyle durumlarla karşılaşırız. Aslında Planck öncesi klasik kara cisim ışınımı kuramı bunun bir örneğiydi. Bu kuram kara cisim ışınımıyla dolu bir kovuğun "morötesi felaket" denen *sonsuz* bir enerjiye sahip olacağını öngörüyordu. Bu sonuç anlamsızdı ve Planck'ın kuantumlarının işin içine dahil olmasıyla düzeldi. Şimdi de benzer bir durum varmış gibi görünüyor. Friedmann denklemlerini alıp zamanın başlangıcına kadar tersten gidersek sonsuz enerjiye sahip bir durumla karşılaşıyoruz.

Bundan ne anlam çıkarmalıyız? Çoğu fizikçi bunun bu kestirimi yapmak için kullandığımız kuramın daha fazla ilerletilemeyeceği anlamına geldiğini düşünüyor. Ama bu kuram genel görelilik kuramıyla kuantum kuramının karışımıdır. Birçok fizikçiye göre, böyle bir karışımın sorun çıkarması şaşırtıcı değil. Bu iki kuram tamamen farklı kalıplardan geliyor gibiler. Einstein'ın formüle ettiği şekliyle genel görelilik klasik bir kuram. Einstein'ın bu konudaki makalelerinde kuantumla ilgili tek bir sözcük yok. Kuram klasik fizikçilerin kolayca uyum sağlayabileceği uzay ve zaman kavramları üzerine kurulmuş. Nitekim Lorentz ve Planck gibi fizikçiler bu kuramı yadırgamamış. Ama kuantum kuramı bu klasik uzay ve zaman kavramlarının kısıtlı bir uygulanabilirliği olduğunu gösteriyor. İki kuramın uyumlu olması için genel göreliliğin bu kısıtlamaları kapsaması ya da belki de bu kısıtlamaları baştan beri içeren yeni bir kütleçekimi kuramı gerekiyor. Kısacası, kuantum kuramının çökeceği "laboratuvar" evrenin ilk halleri olabilir gibi görünüyor. Bu laboratuvarda kütleçekimi en güçlü kuvvet. Bu bakımdan olağan uzay ve zaman kavramlarının anlamsızlaştığı bir kara deliğin merkezi gibi. Ama uydular ve roketler gibi yeni aletlerin sürekli olarak bize evrenin ilk halinin neye benzediği konusunda yeni ipuçları verebildiği bir çağda yaşadığımız için şanslıyız. Bize gereken bu ipuçlarını birleştirip büyük bir sentez haline getirecek yeni bir Einstein. Bu kişi belki de bu kitabın okuyucularından biri olur.

Einstein'ı Nasıl Görebildim

Lisansüstü çalışmalarıma başladığım 1952 yılı sonbaharında, bir arkadaşım fizik araştırmalarına devam etmesi için geçici üye olarak Yüksek Araştırma Enstitüsü'ne kabul edilmişti. Kendisini ziyaret etmem ve Enstitü'yü görmem için beni Princeton'a davet etti. Oraya ilk gidişimdi ve yerleşkenin dingin güzelliğinden çok etkilendim. Birkaç saati gezinerek geçirdik ve sonra otomobille kasabaya doğru yola çıktık.

Çok fazla ilerlememiştik ki arkadaşım pencereden dışarıyı işaret etti. Einstein yolun kenarında yürüyordu. Onu bir başkasıyla karıştırmak mümkün değildi. Denizci ceketine benzeyen bir ceket giymişti ve denizcilerin taktığı türden lacivert bir yün başlık takıyordu. Yavaşça ama duraklamadan yürüyordu. Yüzü yaşlılıktan kırışmıştı. Bizim veya herhangi birinin varlığından tamamen habersiz görünüyordu. Otomobili durdurup en azından bilim ve hatta insanlık için yaptığı her şey için ona teşekkür etmeyi çok istedim. Ama derin düşüncele-

re dalmıştı. Ne hakkında olduğunu bilemiyorum, ama büyük ihtimalle birleşik alan kuramı hakkındadır diye düşündüm. Ne olursa olsun, kimsenin bölmeye hakkının olmadığı türden bir dalgınlıktı bu. Başımla selam verdim. Beni gördü mü bilmiyorum, biz yolumuza devam ettik.

Michelson-Morley Deneyi

1880-81 kışında Amerikalı fizikçi Albert Michelson, tanınmış Alman fizikçi Hermann Helmholtz'un Berlin'deki laboratuvarında çalışıyordu. Aynı yıl, keşfettiği bilimsel aletler arasında en önemlisi olan ve sonradan Michelson girişimölçeri adı verilen girişimölçer fikri aklına geldi. Bu buluşun görelilikle ne ilgisi olduğunu görmek için tarihte biraz geriye gitmeliyiz.

Michelson'un Avrupa seyahatinden kısa süre önce, İskoç fizikçi James Clerk Maxwell Dünya'nın esir içindeki hareket hızının nasıl ölçüleceği sorusuyla ilgilenmeye başlamıştı. Dünya Güneş'in etrafındaki neredeyse dairesel yörüngesini bir yılda tamamlar. Maxwell Dünya'nın bu yörünge boyunca esiri de beraberinde sürüklediğini düşünmek için hiçbir neden olmadığını öne sürdü. Dünya esirin içinde sürtünmesiz bir geminin suda ilerlediği gibi ilerliyordu. Dolayısıyla Dünya'nın esirin içindeki hızı en az Güneş'in çevresinde yörüngede ilerkenki hızı kadar olmalıydı. Bu hızı hesaplamak kolay.

Dünya'dan Güneş'e olan uzaklığın $1,5x10^8$ kilometre olduğu biliniyor ve bir yılda yaklaşık $3x10^7$ saniye var. Dünya'dan Güneş'e olan uzaklığı, Dünya'nın dairesel yörüngesinin uzunluğunu hesaplamak için kullanabiliriz. Bir dairenin çevresi olan C, o dairenin yarıçapı olan R'yle $C=2\pi R$ formülü üzerinden ilişkilidir. Buradan Dünya'nın hızını hesaplayabiliriz; sonuç saniyede 30 kilometre çıkar. Maxwell Dünya'nın durağan esir içindeki hızının da buna yakın olması gerektiğini savunuyordu. Ama bu nasıl hesaplanacaktı?

Maxwell'in bir önerisi vardı. Kafasındakini anlamak için bir yüzücü örneğini düşünmek yararlı olur. Yalnızca tek bir hızda yüzebilen bir yüzücümüz olduğunu düşünün ve bu hıza c deyin. Bu yüzücünün bir derenin kıyısına paralel olarak belli bir uzaklığı yüzüp sonra da geri yüzmek istediğini varsayın; bu uzaklıkların her biri L olsun. Bu yolculuk ne kadar sürer? Bir şeyin d uzaklığını sabit bir hızla kat etmesi, v cismin hızıyken, her zaman d/v kadar zaman alır. Eğer dere akmıyor olsaydı yanıt 2L/c olurdu, çünkü yüzülen toplam uzaklık 2L ve yüzücünün hızı da c. Şimdi derenin v hızıyla aktığını varsayalım. Yüzücü akıntıyla beraber yüzdüğü zaman yüzücünün hızıyla derenin toplam hızı c+v olur. Ama öte yandan yüzücü akıntıya karşı yüzdüğü zaman akıntının hızıyla yüzücünün toplam hızı c-v olur. Yolculuğun toplam süresine T diyelim. T'yi bulmak için yüzücünün akıntıyla beraber ve akıntıya karşı turlarını toplamalıyız:

$$T = \frac{L}{c+v} + \frac{L}{c-v}$$

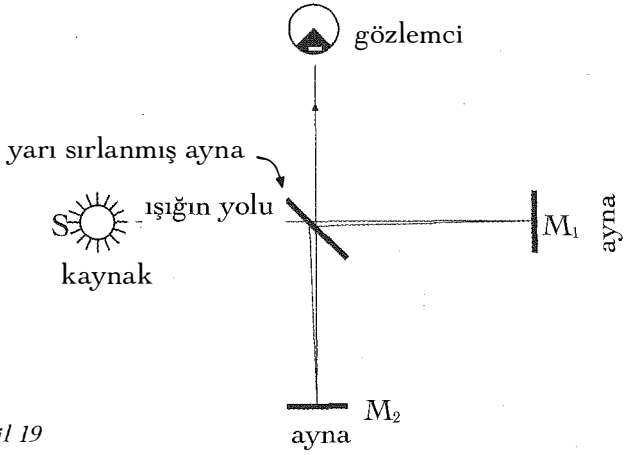
Biraz temel cebirle şunu buluyoruz:

$$T = \frac{L\,(c-v)+L\,(c+v)}{(c-v)x(c+v)} = 2\,\frac{L}{c}\;x\;\frac{1}{1-v^2/c^2}$$

Sonuç size garip görünüyorsa da, doğru olduğu konusunda bana güvenin.

Vurgulamak istediğim önemli nokta, sonuncu ifadenin paydasının, derenin hızının *karesinin* yüzücünün hızına oranını içermesi. Bunun neden bu kadar önemli olduğunu anlamak için Maxwell gibi yapıp, yüzücünün yerine c hızıyla yol alan bir ışık dalgasını, derenin yerine de v hızıyla yol alan esiri koyalım. (Dünya'yı hareketsiz durumda, esiri de onun yanından v hızıyla geçiyor diye düşünebiliriz.) Şimdi karşılıklı iki ayna yerleştirip aralarındaki uzaklığa L diyebilir ve aynı soruyu sorabiliriz: Işığın bir aynadan diğerine ve sonra tekrar ilk aynaya gitmesi ne kadar sürecek? Yüzücüyle yaptığımız hesabın aynısı burada da geçerli ve yanıtı yukarıdaki denklemde verildi. Yanıt $(v/c)^2$'ye bağlı. Maxwell'in keşfettiği buydu. Ama $(v/c)^2$, yani Dünya'nın esir içindeki hızının karesinin ışık hızının karesine oranı ne kadar? Az önce Dünya'nın Güneş'in çevresindeki hızının saniyede 30 kilometre olduğunu, ışığın hızınınsa saniyede 300.000 kilometre olduğunu söyledim. Dolayısıyla v/c yaklaşık olarak 1/10.000, yani on binde bir. Ama Maxwell bize bu oranın karesini almamız gerektiğini söylüyor. Bunu yapınca yüz milyonda bir sonucuna ulaşırız! Maxwell'in vurgulamak istediği buydu. Dünya'da yapılacak ve Dünya'nın esir içindeki hareketini ölçecek kadar hassas bir deneyin en az *yüz milyonda bir* kesinliği olması gerektiğini iddia ediyordu. Maxwell böyle bir kesinliğe ulaşmanın imkânsız olduğuna emindi, çünkü Albert Michelson'un yaptığı aletten haberi yoktu.

Michelson Maxwell'in iddiasının yanlış olduğunu kanıtlamaya karar verdi. Dünya'nın esir içindeki hızını ölçebilecek kadar hassas bir deney yapacaktı. Michelson girişimölçerini bu yüzden icat etti.



Şekil 19

Girişimölçerin birkaç temel özelliği vardır. Solda S ile gösterilen bir ışık kaynağı var. Uygulamada Michelson parlak sarı renkte yanan bir sodyum alevi kullandı. Bu ışık demeti, gelen ışığın yarısını yansıtıp yarısının geçmesine izin veren yarı sırlanmış bir aynanın bulunduğu bir orta noktaya gönderiliyor. Sonuç olarak ışık ikiye ayrılır. Ayrılma sonucunda oluşan ışınların her biri şekilde gösterildiği gibi aynalara doğru ilerler. Yolların uzunluğu uygulamada tamamen eşit olamayacağı halde, kolaylık olsun diye burada eşit gösteriliyorlar. Bu Michelson'un birazdan anlatılacak olan son derece kurnaz bir hileyle üstesinden geldiği bir zorluktu. İki ışık demeti aynalardan yansıyıp tekrar merkeze dönüyorlar. Kat ettikleri yol eşit olduğu için iki ışık demeti de aynaya gidiş ve merkeze dönüş yolunu aynı sürede alıyor. Işığın hızı c, her ışık demetinin aynaya giderken kat ettiği yolların uzunluğu da L ise, gidiş dönüş yolculuğunun süresi 2L/c'dir. Önceki gibi, bir şeyin d uzaklığını kat etme süresi, cismin hareket etmekte olduğu sabit hız v iken, her zaman d/v'dir. Bu nedenle ışık demetleri Michelson girişimölçerinin ortasına döndüğü zaman il-

ginç bir şey olmamıştır. Bir ışık demetindeki ışık dalgalarının tepe noktaları, diğer ışık demetindeki dalgaların tepe noktalarına, alçak noktaları da alçak noktalarına denk gelir.

İki dalganın nasıl "girişim" yaptığını hatırlayın. Örneğin eğer iki taşı yan yana bir havuza atarsanız her biri dairesel bir dalga üretir. Bu dalgalar karşılaştıkları zaman birbirlerinin içinden geçerler. Ama birleştikleri yerde ortaya çıkan şekil genelde tek tek dairelerin şeklinden farklı olur. Bu şekil tek tek dalgaların şekilleri birbirine "eklenerek" belirlenebilir. Yani, bir dalganın tepe noktası ötekinin alçak noktasıyla karşılaşırsa ortaya çıkan dalganın o noktadaki yüksekliği azalacaktır. Ama karşılaşan iki dalganın şekilleri birbirini tutuyorsa -birinin her tepe noktası diğerinin her tepe noktasına uyuyorsa- ortaya çıkan dalganın şekli tek tek dalgaların şekliyle aynı olacaktır. Bir fizikçinin ifade edeceği şekliyle, dalgalar "aynı fazdadır". Bir dalganın fazı, o dalganın tepesiyle çukuru arasındaki belirli bir noktayı betimler.

Eğer Michelson'un girişimölçerinin iki kolu farklı uzunluklarda olsaydı, her ışık demetinin gidiş dönüş yolculuğunun süresi farklı olurdu. O zaman iki ışık demeti girişimölçerin merkezine geri geldiklerinde aynı fazda olmazlardı, yani tepe noktaları ve çukur noktaları denk gelmezdi. Bu ölçülebilirdi, çünkü ışık demetleri birbirleriyle girişim yapmış olurdu. Taşların yol açtığı dairesel dalgalar örneğinde olduğu gibi bu girişim de dalga şekillerinde bir değişikliğe yol açar. Burada insan, eğer uygun bir yüzeyde gösterilebilirlerse, açık renk ve koyu renk saçaklar görür. Bu sayede bir gözlemci iki kolun uzunlukları arasındaki çok küçük farkları ölçebilir; çünkü ışık demetlerinin kat ettikleri yolların

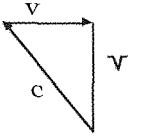
uzunlukları arasındaki fark, ışık demetlerinin aletin merkezine biraz farklı zamanlarda dönmelerine, yani "faz dışı" olmalarına yol açar. Maxwell'in bunun aksini iddia etmesine rağmen, girişimölçer Dünya'nın hareketini göstermek için nasıl kullanılacaktı? Şekil 19'a geri dönelim. Eğer Dünya esir içinde hareketsizse ilginç hiçbir şey olmaz. Kolaylık olsun diye yine ışık demetlerinin aldıkları yolun tamamen eşit uzunlukta, L uzunluğunda olduğunu varsayıyorum. Şimdi de farz edin ki Dünya v hızıyla hareket ediyor. Yüzücü örneğinde yaptığımız hesaptan, Dünya'nın hareket yönüne paralel giden ışığın gidiş dönüş yolculuğunun süresi olan T'nin

$$T = 2\frac{L}{c} \times \frac{1}{1-v^2/c^2}$$

olduğunu biliyoruz.

Peki ya Dünya'nın hareket yönüne dik olarak hareket eden ışık? Bu noktada akan bir derenin karşı kıyısına yüzüp gelmek isteyen bir yüzücüyü içeren biraz daha zor bir sorunla karşı karşıyayız. Derenin tam karşısına doğru yüzmeye başlayan bir yüzücü, akıntı kendisine dik açıyla hareket ettiği için, karşı kıyıya başlangıç noktasından akıntı yönünde biraz daha aşağıda bir noktada ulaşır. Dolayısıyla yüzücü karşı kıyıya, yüzmeye başladığı noktanın tam karşısına gelen noktada ulaşabilmek için akıntıya karşı bir açıyla yüzmelidir; böylece yüzücünün ve akıntının toplam hareketi bunun olmasına izin verir. Yüzücü yüzmeye başladığı kıyıya geri gelirken de aynı şekilde akıntıya karşı ilkine tamamen simetrik bir açıyla yüzmelidir. İlk bakışta bu rota, akıntı boyunca ve akıntıya karşı rotadan daha uzunmuş ve daha uzun sürermiş gibi görünüyor, ama acaba bu doğru mu? Bunu matematiksel olarak ifade etmek için yüzücünün derenin karşısına yüzüp sonra öbür

kıyıya geri dönerkenki hızlarına odaklanabiliriz. Yüzücü yalnızca c hızıyla yüzebiliyor. Dere v hızıyla akıyor. Yüzücünün akıntı yönüne dik açıyla yüzerkenki hızını bilmek istiyoruz. Aşağıya gerekli şekli çizdim.



Şekil 20

Yüzücünün akıntıya dik açıyla yüzerkenki hızını bulmak için Pythagoras teoremini kullanabiliriz. Yüzücünün akıntıya dik açıdaki hızı V iken:

$$c^2=v^2+V^2$$

Biraz temel cebirle, V için:

$$V=\sqrt{c^2-v^2}=c\sqrt{1-v^2/c^2}$$

sonucunu veriyor. Bu durumda derenin karşı kıyısına her gidiş t zamanı kadar sürecek ve şöyle hesaplanacak:

$$T=\frac{L}{c}\,\mathrm{x}\,\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Böylece yüzücünün toplam gidiş dönüş süresi, yani T′ iki kat uzun sürecek:

$$T'=2\,\frac{L}{c}\,\mathrm{x}\,\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Şimdi T ve T′'nün farklı olduğunu görüyoruz. Michelson'un ölçmeyi istediği de tam olarak bu farktı. Michelson'un deneyinde T zamanı ışığın Dünya'nın hareket yönünde gidip gelmesi için gereken süre, T′ ise ışığın Dünya'nın hareket yönüne dik açıyla gidip gelmesi için gereken süre. Bu iki süre farklı olduğuna göre iki ışık

dalgası girişimölçerin merkezine farklı zamanlarda dönecek ve fazları denk gelmeyecek. Dalgaların tepe ve çukur noktaları birbirlerine göre biraz kaymış olacak ve girişim saçakları oluşacak. Michelson da bunu gözlemlemeyi bekliyordu.

Ama ufak bir sorun vardı. Girişimölçerin iki kolunun uzunluklarının daha önce de bahsetmiş olduğumuz gibi, birbirlerine yüz milyonda bir kesinlikle eşit yapılamayacağı gerçeği. Yani eşit olmayan uzunluklar girişim saçakları yaratacaktır. Bu saçaklar, Dünya'nın esir içindeki hareketinden kaynaklanan farklı sürelerin neden olduğu girişim saçaklarından nasıl ayırt edilebilir? Michelson'un dehası burada devreye giriyor. Girişimölçeri düzeneğin tamamının içinde rahatça döndürülebileceği bir cıva havuzuna yerleştirdi. Düzeneği doksan derece döndürürseniz iki kolun rolleri değişir. Dik olan kol paralel, diğeri de dik olur. Dolayısıyla fiili yol uzunluğunda bir değişiklik varsa, bu durum girişim örüntüsünde bir *değişiklik* olarak gözükür. Böylece farklı uzunlukların ve farklı sürelerin neden olduğu etkiler ayırt edilebilir.

Dünya üzerindeki *bütün* laboratuvarlar Dünya'nın hareketini paylaştığı için, deneyi yapmak için girişimölçeri özel bir yere götürmek gerekmez. Aslında bu hareketi *paylaşmayan* bir laboratuvar bulmak çok zor olurdu, bu yüzden Michelson düzeneğini nerede kurarsa kursun kaymış girişim saçakları görmeyi umuyordu. Deney sonuçlarını Ohio'da almayı umut ediyordu.

Michelson 1881'de Cleveland'deki Case Uygulamalı Bilim Okulu'un fizik bölümüne katıldı ve Edward W. Morley adında bir kimyacıyla çalışmaya başladı. İki adam 1887 yılının Temmuz ayında 5 günlük bir sürede günümüzde Michelson-Morley deneyi adı verilen deneyi gerçekleştirdiler. Bu deneyde kullanılan girişimölçe-

rin kolları 11 metre uzunluğundaydı. Düzenek milyarda bir bölü dört seviyesinde, yani ışık Dünya'nın esir içindeki hareket yönüne paralel ve dik hareket ettiğinde oluşacak girişim saçaklarını göstermeye yetecek kadar hassastı. Ama çok şaşırtıcı bir şey oldu ve Michelson ve Morley *hiçbir şey* görmediler! Etki yoktu. Kopernik yanılmış olabilir miydi? Dünya uzayda hareketsiz miydi?

Michelson o kadar utanmıştı ki 1907'deki Nobel Ödülü konuşmasında -Michelson bilim alanında Nobel Ödülü'nü alan ilk Amerikalıydı- bundan bahsetmedi bile, zaten Nobel Komitesi tarafından ödülün verilme nedenleri arasında bu deney yer almıyordu. Görünüşe göre Michelson'un çalışmasının o yönünü "tartışmalı" bulmuşlardı. Michelson bir türlü deneyinin sonuçlarını kabullenemedi ve yaşamının sonuna kadar "(artık bir kenara bırakılmış olan ama benim hâlâ biraz inandığım) sevgili esir" demeyi sürdürdü.

Michelson ve Morley'in deneylerini yaptıkları dönemde "sevgili esir"i kurtarmak isteyen başka fizikçiler de vardı. Bunlar arasında İrlandalı fizikçi George Francis Fitzgerald ve Einstein'ın tanıdığı fizikçiler arasında en çok hayran olduğu kişi olduğunu söylediği Hollandalı fizikçi Hendrik Antoon Lorentz de vardı. Hem Lorentz hem Fitzgerald aynı öneriyi yaptılar. Eğer hareket yönündeki kol,

$$\sqrt{1-v^2/c^2}$$

çarpanı kadar küçülürse, bu yeni durum hareket yönünde esir içinde gidip gelmek için gereken daha uzun süreyi tam olarak telafi ederdi. Şimdi sorun bu küçülmenin nasıl olabileceğini açıklamaktı. İlk bakışta bu çok saçma gelebilir. Cisimlerin hareket ederken küçüldüklerini görmeyiz. Ama öte yandan ışık hızına yakın hızlar-

la hareket eden cisimler de görmüyoruz. Bu nedenle zihnimizi açık tutmalıyız. Aslında Lorentz ve Fitzgerald fazla bir küçülme istemiyorlardı, yüz milyonda bir kadar bir küçülme istiyorlardı. Bu kadarlık bir küçülmeyi ölçmek için o kadar kesin bir deney gerekirdi. Lorentz-Fitzgerald küçülmesi Einstein'ın görelilik kuramının bir parçası olarak ortaya çıkıyor.

1879
Hermann ve Pauline Koch'un oğulları Albert Einstein 14 Mart günü 11:30'da Almanya'nın Ulm şehrinde doğdu.

1881
Kız kardeşi Maria (Maja) doğdu.

1888
Einstein Münih'teki Luitpold Gymnasium'una girdi.

1894
Aile İtalya'ya taşındı.

1895
İtalya'da ailesiyle buluştu; 1895 sonbaharında İsviçre'deki Aarau'da liseye başldı.

1896
Zürich'teki ETH'ye girdi; 1900'de mezun oldu.

1902
Bern'de patent inceleyici oldu.

1903
Mileva Maric'le evlendi; ilk oğlu Hans Albert 1904'te doğdu.

1905
Einstein'ın modern fiziğin temellerini attığı "mucize yıl"

1908
Bern'de ilk öğretmenlik görevine başladı.

1910
İkinci oğlu Eduard doğdu.

1911
Ders vermek için Prag'a taşındı; ertesi yıl ETH'de ders vermek için Zürich'e geri döndü.

1914
Berlin'e taşındı; Mileva'dan ayrıldı.

1916
Genel görelilik ve kütleçekimi makalesini yayımladı.

1919
Mileva'dan boşandı; genel görelilik kuramı kanıtlandı; kuzeni Elsa'yla evlendi.

1922
1921 yılı Nobel Ödülü'nü kazandı.

1932
Bir daha dönmemek üzere Avrupa'dan ayrıldı.

1933
Princeton, New Jersey'deki Yüksek Araştırma Enstitüsü'nde profesör oldu.

1936
Elsa Einstein öldü.

1939
Einstein Başkan Roosevelt'i nükleer enerjinin tehlikelerine karşı uyaran mektubu imzaladı.

1940
Amerikan vatandaşı oldu.

1951
Kız kardeşi Maja öldü.

1955
18 Nisan günü 1:15'te Princeton Hastanesi'nde öldü.

DİZİN

Aarau, İsviçre, 30, 32
Anderson, Carl, 164
Annalen der Physik, 77, 87
Antimadde, 75
Atom çekirdeği, 138
Avogadro, Amedeo, 92
Avogadro sayısı, 92, 94

Becquerel, Henri, 75
Bell, John, 182
Berlin Üniversitesi, 109
Bernstein, Aaron, 24
Besso, Michele, 35, 61, 76, 89, 104, 123
Bohr, Niels, 138-141, *143*, 149-151, 167-169
Boltzmann, Ludwig, 81
Born, Max, 147-148, 163
Brown hareketi, 82-83
Brown, Robert, 82
Büyük Patlama, 182-183

Chadwick, James, 165
Compton, Arthur, 85
Crommelin, Andrew, 119

de Broglie, Louis, 142
de Broglie, Maurice, 142, 144-145
de Sitter, Wilhelm, 130-133
Dirac, Paul, 164
Doppler kayması, 101-102, 131
Dördüncü boyut, 7
Dukas, Helen, 69

Eddington, Arthur, 119-120
Einstein, Albert,
  ABD'ye yerleşmesi, 159-161
  Alman vatandaşlığından vazgeçmesi, 26, 32
  atom bombası ve, 169-176
  boşanması, 110, 112
  dini inançları, 42-43
  ETH'ye kabul edilmesi, 30-31, 32
  evlenmesi, 46, 123
  evrenbilimsel kuramları, 126-131, 133
  gençlik yılları, 17-26, 30-36
  ilk bilimsel deneyimleri, 21-25
  kadınlarla ilişkileri, 34-35, 110, 112-113, 123, 125

kuantum kuramı ve, 80-83, 88-89, 91, 134-139, 141-142, 146-151, 162-163, 165, 181-184
Nazi rejiminin hedefi olarak, 153-157, 159-160
Nobel Ödülü'nü kazanması, 141
öğretmen olarak, 95-96
ölümü, 178-179
Pythagoras teoremini kanıtlaması, 27-29
sağlık sorunları, 112, 176
savaş karşıtlığı, 20-21, 111
Soğuk Savaş ve, 176
ve birleşik alan kuramı, 163, 179
ve genel görelilik kuramı, 115-119, 125
ve İsviçre Ulusal Patent Bürosu, *45*, 94, 95
ve keman, 19, 178
ve lazer, 135-137
ve Olympia Akademisi, *46*
ve özel görelilik kuramı, 48-51, 55-69, 72-75
ve Siyonizm, 156-157
Yahudilik ve, 17-18, 156-157
Einstein, Eduard (oğlu), 104
Einstein, Elsa Lowenthal (ikinci karısı), 110, 112, 123, *124*, 125, 160
Einstein, Hans Albert (oğlu), 71, 179
Einstein, Hermann (babası), 17, 20, 25, *46*
Einstein, Jakob (amcası), 20, 25
Einstein, Maria (kız kardeşi), *16*, 17, 18, 32, 176
Einstein, Mileva Maric (ilk karısı), 34-39, *45*, *46*, 61, *70*, 71, 105, 108, 110, *111*
Einstein, Pauline (annesi), 17, 19, 20, 122, 123
Einstein: Yaşamı ve Devri (Frank), 11
Elektromanyetizma, 23, 64
Eötvös, Roland, 98
Eşdeğerlik ilkesi, 98-99, 100, 102-104, 108, 113
ETH (Eidgenossische Technische Hochschule), 30-32, *45*, *46*, *93*, 109
Evrenbilimsel öğe, 128, 157

Fermi, Enrico, 165-166, 167-168, 172
Fitzgerald, George Francis, 195
Flexner, Abraham, 157-159
Fotoelektrik etki, 91
Frank, Philipp, 11-13, 69, 105, 160
Fresnel, Augustin-Jean, 54
Freundlich, Erwin, 119
Friedmann, Aleksandr Aleksandroviç, 128-130, 132
Frisch, Otto, 166, 174

"Galaksi Ötesi Bulutsular Arasında Uzaklık ve Işınsal Hız Bağıntısı" (Hubble), 132
Galilei, Galileo, 43, 47, 55-56, 96
Geiger, Hans, 138
"Genel Görelilik Kuramının Evrenbilimsel Sonuçları" (Einstein), 125
"Genel Görelilik Kuramının Temelleri" (Einstein), 116
Gibbs, Willard, 82
Göreliliğin Anlamı (Einstein), 9
Görelilik kuramı, 7-14, 48-50, 55-69, 72-74, 77-80
Grossman, Marcel, 34, 114

Habicht, Conrad, 46-47, 84
Hahn, Otto, 166, 167, 174
"Hareketli Cisimlerin Elektrodinamiği" (Einstein), 99
Hasenhohrl, Friedrich, 155
Heisenberg, Werner, 143, 146, 148, 149-151, 167
Helmholtz, Hermann, 187
Hertz, Heinrich, 90, *91*
Herzog, Albin, 30
Hubble, Edwin, 127, *132*, 132-133, 157
Hume, David, 47
Huygens, Christiaan, 52

"Işığın Elektromanyetizma Kuramı Üzerine Bir Not" (Maxwell), 54
Işık kuramı, 52-54

İzotoplar, 168-169

Kara cisim ışınımı, 86-87
Kaufmann, Walter, 77-78
Kirchhoff, Gustav, 86
Kleiner, Alfred, 94-95
Koch, Caesar (dayısı), 57
Kopernik kuramı, 44, 55
Kopernik, Mikolaj, 44
Kraliyet Derneği, 120-121
Kuantum kuramı, 80-83, 84, 85, 88, 89, 90-91, 94, 133, 134-139, 141-142, 146-151, 162-163,184
Kuantum Mekaniği (Dirac), 164
"Kütleçekiminin Işığın Yayılmasına Etkileri Üzerine" (Einstein), *104*

Langevin, Paul, 142
Lazer, 136, 137
Lenard, Philipp, 90-91, 154-155
Leverrier, Urbain, 117-118
Lorentz, Hendrik, 78, 122, 141, 150, 155, 184, 195-196

Mach, Ernst, 47, 50, 80, 82, 83, 105
Marsden, Ernest, 137-138
Maxwell, James Clerk, 23, 54, 64, 81, 84, 187-192
Mayer, Walther, 160
Mazer, 136
Mekanik Bilimi (Mach), 47
Meitner, Lise, 166, 167, 174
Michelson, Albert, 58, *58*, 157, 161, 187-196
Michelson girişimölçeri, 187-195
Michelson-Morley deneyi, 58-59, 76-77, 187-196
Miller, Dayton, 161
Millikan, Robert, 91, 159
Minkowski, Hermann, 46
Morley, Edward, 58, 194
Münih, Almanya, 20, 21, 24

Newton, Isaac, 13, 18, 41-42, *43*, 43-44, 47, 52-53, 57, 59-60, 72-73, 80, 97, 116-117, 126, 128
Nükleer fisyon, 166, 167-168

Oliphant, Mark, 175
Olympia Akademisi, 46, 47

Oppenheimer, J. Robert, 176
Opticks (Newton), 52

Peierls, Rudolf, 174, 175
Penzias, Arnold, 182, 183
Perrin, Jean, 83
Planck, Max, 79, *79*, 80, 85, 86-87, 88, 91, 110, 134-135, 150, 184
Pound, R. V., 102, 113
Principia (Newton), *40*, 41, 59
Prusya Bilimler Akademisi, 110, 134
Pythagoras teoremi, 25, 27-29

Radyoaktivite, *75*
Riemann, Bernhard, 114-116
Rolland, Romaine, 111-112
Rosenthal-Schneider, Ilse, 78-79
Rutherford, Ernest, 137-139, *139*, 165, 167

Sachs, Alexander, 171, 174
Samanyolu, 127, 132
Savic, Helene, *45*
Schrödinger, Erwin, 146-148, *146*, 150
Singer, I. B., 183
Soldner, Johann Georg, 154
Solovine, Maurice, *46*
Solvay, Ernest, 19
Solvay Konferansları, 149-150
Strassmann, Fritz, 166, 174
Szilard, Leo, 71, 166-167, 168-174

Talmud, Max, 24
Teller, Edward, 171-174
Thomson, J. J., 78, 137
Tümleyicilik ilkesi, 149

Ulm, Almanya, 17
Uranyum, 168-169
Uzay, Zaman ve Kütleçekimi (Eddington), 119

Von Laue, Max, 79, 166-167

Weizmann, Chaim, 157
Whitehead, Alfred North, 121
Wien, Wilhelm, 86-87
Wigner, Eugene, 170-171, 174
Wilson, Robert, 182-183

Young, Thomas, 53, 145
Yüksek Araştırma Enstitüsü, 153, 158, 185

Zinn, Walter, 168