

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

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

POSTMODERN
HESAPLAMALAR
EVEREST

EINSTEIN VE TAM GÜNEŞ TUTULMASI

PETER COLES

ÇEVİRİ: KANAN H. ÖKTEN

SECRET

Peter Coles, kozmoloji eğitimi gördükten sonra Nottingham Üniversitesi'nde Astrofizik Profesörü olmuştur. En son çalışmaları arasında *The Icon Critical Dictionary of the New Cosmology* (1998)

Kaan H. Ökten, 1969 doğumlu. İstanbul Üniversitesi'nde araştırma görevlisi. Kant ve Heidegger üzerine çalışan Ökten'in, Erich Fromm ve Stephen Mulhall çevirileri bulunmaktadır.

PETER COLES

Einstein

ve

Tam Güneş Tutulması

Türkçesi:

Kaan H. Ökten

Düşünce Dizisi 1

Einstein ve Tam Güneş Tutulması

Peter Coles

Kitabın Özgün Adı

Einstein and the Total Eclipse

Icon Books, 2000

Kapak tasarım: Mithat Çınar

İngilizce'den çeviren: Kaan H. Ökten

Yayına hazırlayan: Osman Akınhay

Son okuma: Kemal Taşkın

© 2000, Peter Coles

© 2000; bu kitabın Türkçe yayın hakları

Kesim Ajans Aracılığıyla Everest Yayınları'na aittir.

Birinci Basım: Ağustos 2000

ISBN: 975 - 316 - 651 - 6

Baskı ve Cilt: Melisa Matbaacılık

EVEREST YAYINLARI

Çatalçeşme Sokak No: 52/2 Cağaloğlu/İSTANBUL

Tel: 0 212 513 34 20-21 Fax: 0 212 512 33 76

e-posta: everest@alfakitap.com

Genel Dağıtım: Alfa, Tel: 0 212 511 53 03 Fax: 0 212 519 33 00

**EINSTEIN
VE
TAM GÜNEŞ TUTULMASI**

Tam Güneş Tutulması

Vakit gün ortası, ama ortalık kararmaya başlıyor. Gözlerinizi gökyüzüne çeviriyorsunuz. Güneş'e bir şeyler oluyor. Güneş'i izlerken, şeklinin değiştiği izlenimi uyanıyor içinizde. Sanki tam yuvanlak değil gibi. Zaman geçtikçe karanlık bir gölgenin Güneş'i bir kenarından yavaş yavaş kemirmeye başladığını görüyorsunuz. Biraz daha beledikten sonra Güneş'in daha büyük bir kısmı yutuluyor. Artık neredeyse Güneş'in tamamı koyu bir

diskle örtülmüş. Sadece parlak bir kenarı kaldı, ama az sonra o da yok olacak. Derken gece karanlığı çöküyor. Güneş'in her zaman olduğu yerde, sadece mürekkep siyahı bir daire bulunuyor. Dairenin çevresinde ise ışık huzmesinden esrarengiz bir hale. Hava soğuyor. Garip bir rüzgâr çıkıyor. Kuşlar şakımayı bırakıyorlar. Gözleriniz karanlığa alışınca gökyüzündeki yıldızları görebiliyorsunuz. Dakikalar geçiyor. Ansızın Güneş'in her zaman bulunduğu yerin bir kenarından parlak bir nokta fırlıyor. Göz alıcı bir parlaklık bu. İncecik haleyle birlikte, bir yüzükte ışıldayan dev bir elmasa benziyor. Ona bakmaya devam ettikçe, noktanın ince bir hilâle dönüştüğünü görüyorsunuz. Elmas yüzük kayboluyor. Yavaş yavaş hilâl büyüyor. Karanlık çekilirken gökyüzü aydınlanmaya başlıyor. Bir süre sonra Güneş yine yuvarlak haline kavuşuyor. Gündüz geri geliyor, yıldızlar görünmez oluyor. Hava bir kez daha ısınmaya başlıyor. Artık her şey bitti. Az önce bir tam güneş tutulmasına şahit oldunuz.

Eski Çağlarda Güneş Tutulmaları

Eski çağlardaki insanlar için güneş tutulması korkutucu bir olaydı. Çünkü Güneş, son keredede yeryüzündeki tüm hayatın bağımlı oldu-

ğu tek enerji kaynağıdır. Işık ve ısı vermenin yanı sıra (onlar olmasa hepimiz mahvolurduk), paha biçilmez bir düzenleme görevini de üstlenir. İnsanlık, tarih öncesi çağlardan beri Güneş'in hareketlerindeki düzenliliğinden, yani her gün doğup batışıyla gökkubbenin mevsimler sırasındaki düzenli seyrinden, yiyecek toplama stratejilerini planlamak amacıyla yararlanmıştır. Güneş'in gökyüzündeki konumu, ne zaman bir şeyler ekilip, ne zaman kötü havanın geleceğini belirler. Dolayısıyla, bu temel düzenlilikte meydana gelebilecek herhangi bir aksama hepimiz için tam bir felaket olurdu. Nitekim tam güneş tutulmaları sırasında benliğimizi saran o mutlak ürkme duygusu bunun sadece bir göstergesidir. Zaten bu yüzden güneş tutulmalarını önceden tahmin etmek için gerekli bilgilere sahip olmayan insanların gözünde, gündüz vakti Güneş'in kararması âdeta dünyanın sonunun geldiğine işaret ediyor olmalıdır.

Uygarlıklarla birlikte yazılı kayıt tutma geleneği de geliştikçe, eski çağ astronomları güneş tutulmalarının tesadüfen cereyan eden olaylar olmadıklarını kavramaya başlamışlardı. Tutulmanın görülebildiği yer ve zamanlarda belirli düzenlilikler vardı. Yazılı

kayıt tutma geleneğinden önce bu tür bilgiler dikkatimizi hiç çekmeden kayboluyordu, çünkü güneş tutulmasına aynı yörede rastlanması çok ender bir durumdur ve her kuşakta belki de sadece bir kere görülebilmektedir. Tabii zamanla, güneş tutulmalarıyla ilgili oldukça iyi tahmin yapma olanakları geliştirilmiştir. Bu tahminler özellikle astrolojik amaçlarla kullanılmıştır. Güneş tutulmaları önemli işaretlerdi. Örneğin Antik Çin’de, imparatorun ya da maiyetinin yararını gözetmek amacıyla astronomlarca önceden tahmin edildiği halde, sıradan halk aniden bir tutulmanın başlaması karşısında hâlâ endişeye kapılmaktaydı. Yine de güneş tutulmasının kesin zamanını bilememek bir astronom açısından çok daha korkutucuydu, çünkü elindeki araçlar pek hassas değildi ve tahmin ettiği bir zamanda Güneş’in tutulmaması astronomun kaçınılmaz olarak idam edilmesi anlamına geliyordu.

Bilim Çağında Güneş Tutulmaları

Güneş, Yerküre ve gezegenlerin hareketini kavrayışımızda on altıncı yüzyıldan itibaren meydana gelen ve öncülüğünü Kopernikus,

Kepler ile Newton'un yaptıkları devrim sayesinde, güneş tutulmalarını artık yıllar öncesinden çok kesin ve net bir biçimde tahmin edebiliyoruz. Üstelik bu, tutulmanın ne zaman ve nerede olacağıyla sınırlı kalmıyor; tutulmanın ne kadar süreceğini ve en iyi hangi yerlerden gözlenebileceğini önceden belirlemek de artık mümkün. Tur operatörleri sırf bu amaçla dünyanın dört bir yanındaki egzotik yörelere geziler düzenleyip, güneş tutulmasını yerinde izlemek isteyenlere hizmet sunabiliyorlar (örneğin 1999 yılı Ağustos ayındaki güneş tutulmasını izlemek amacıyla Kanal Adaları'ndan birisi olan Alderney'e bile tur düzenlenmiştir).

Bizler yeni milenyuma girerken artık güneş tutulmalarını doğaüstü bir olay saymıyoruz. Güneş tutulması "kavranmış" fenomenler kategorisindeki yerini almıştır. İsa betli biçimde önceden tahmin edilip dehşete kapılmadan izlenebilir. Fakat iyi ki ve tüm bunlara rağmen, tutulmanın tarif edilemez güzelliği ve onu izleyen kişilerde uyandırdığı hayret duygusunda herhangi bir azalma olmamıştır.

Tutulmaların önemli bilimsel olaylar olduğuna ve tutulmalar sırasında çok önemli

bilgiler toplamak üzere tüm astronomi teleskoplarının kullanılıp denendiğine dair yaygın bir kanı vardır. Oysa bu doğru değil. Aslına bakılırsa, güneş tutulmasının bizzatıhi kendisinde profesyonel astronomları doğrudan ilgilendirecek pek fazla şey yok. Çünkü bu fenomen artık o kadar iyi araştırılmış durumdadır ki, yeryüzüne bağlı gözlemlerle edinilebilecek pek yeni bilginin kalmadığını kolaylıkla söyleyebiliriz. Britanya'da profesyonel astronomları temsil eden kurum olan Royal Astronomical Society'nin ülke çapındaki 1999 yılı toplantısının, tam güneş tutulmasının gözlemlenebilmesi için Kanal Adaları'nda yapıldığı doğrudur, yine de bu sadece, daha ziyade bir sosyal etkinlik ve fotoğraf çekme imkânı veren, böylece basının gözünde Britanya'nın astronomi alanındaki profilini iyileştiren ve bilimsel mirasımızın önemli bir temsilcisini yeniden hatırlatmaya yarayan unsurları bir arada değerlendirerek verilmiş son derece pragmatik bir karar olmasıyla dikkat çekmektedir.

Geçmişte güneş tutulmalarını gözlemleyerek çok değerli bilgiler edinilmiş; sadece

Güneş'in kendisi ya da Dünya'nın güneş çevresindeki hareketi hakkında değil, ayrıca bir bütün olarak Evren'in işleyişini belirleyen temel yasalar hakkında da önemli bulgulara ulaşılmıştır. Zaten elinizdeki bu kitapta da, bir güneş tutulması sırasında yapılan herhalde en ünlü keşiflerden birisinin hikâyesi anlatılmaya çalışılacaktır: 1919 yılındaki tam güneş tutulması sırasında, Güneş'in bir ışık huzmesini gerçekten de eğdiğinin gözlenmesinin hikâyesi. Bu gözlem bilimsel açıdan Einstein'ın genel görelilik kuramının (bkz. kitabın sonundaki "Temel Kavram ve Fikirler" bölümü) ilk deneysel sınanışı anlamına geliyordu. Ancak bu gözlemin, temel fiziğin sınırlarını aşan daha büyük bir önemi vardır. 1919 yılında gerçekleştirilen bu deney, bir taraftan Einstein'ı dünyanın her köşesindeki gazetelerin baş sayfalarına taşıyıp, onu tanıdığımız ve sevdiğimiz bir kültürel ikon haline getirmiş, diğer taraftan da siyaset ve sosyoloji gibi alanlara nüfuz ederek, günümüzde olduğu kadar seksen yıl önce de geçerli olan bilim ile "hakikat" arasındaki ilişki hakkında önemli dersler bırakmıştır.

Tutulmanın Anatomisi

Yolculuğumuz bizi temel fizik dünyasının derinliklerine götürecektir. Bu yüzden en iyi yol, tutulmanın fiilen nasıl olduğunu tarif etmektir. Okulda hepimizin öğrendiği gibi, Dünya neredeyse dairesel bir yörünge üzerinde, aşağı yukarı 93 milyon mil (150 milyon km.) uzaklıktaki Güneş'in çevresinde döner. Her dönüş yaklaşık 365 günde tamamlanır. Ayrıca Dünya kuzey kutbu ile güney kutbu arasından geçen bir eksen üzerinde kendi çevresinde de döner. Tek bir dönüş yine yaklaşık 24 saatte tamamlanır. Nitekim Güneş'in sabahları doğduğunu, akşamları battığını görmemizin nedeni, Dünya'nın kendi çevresinde dönmesidir.

Ay da benzer bir dairesel yörüngede hareket eder, ama Güneş çevresinde değil, Dünya çevresinde. Ay'ın her dönüşü yaklaşık 28 günde tamamlanır. "Ay" dediğimiz zaman birimi yaklaşık olarak bu süreye denk düşer. Her ay boyunca Dünya, Ay ve Güneş'in konumları birbirlerine göre değişirken, Ay'ın Güneş'e bakan ve Dünya'dan görünen yüzü de bu konumsal değişmeye bağlı olarak de-

gişik bir görünüm alır. Biz Ay'ı, Güneş'ten alıp kendi yüzeyinden yansıttığı ışık aracılığıyla görebiliriz. Ay'ın değişik hallerinin açıklaması burada yatar. Ay "dolunay" halindeyken, Güneş'ten gelen ışığı bütün yüzeyiyle yansıtır. "Yeni Ay" halindeyse, Ay'ın ışık alan yüzü Dünya'dan görünmez. Bu iki hal arasında da Dünya, Güneş ve Ay'ın konumlarına bağlı olarak değişik büyüklüklerdeki hilâller olarak görünür. Bu hallerin hepsini bir top ve güçlü bir ışık kullanarak evlerimizde kendimiz de tekrarlayabiliriz.

Ay'ın Dünya çevresindeki yörüngesinin, Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesiyle neredeyse aynı düzlem üzerinde olması çok ilginç bir durumdur ve tüm bu hareketlerin düz bir kâğıt parçası üzerinde düzenlendiği izlenimini vermektedir. Dolayısıyla bazen Ay, Güneş ve Dünya dümdüz bir çizgi üzerinde birleşirler. Bu durumda ya Dünya, Ay ile Güneş arasında, ya da Ay, Dünya ile Güneş arasında bulunur.

Yukarıdaki ilk örnekte, Ay, Dünya'nın gölgesinin bulunduğu bir bölgeden geçer: bu olaya *ay tutulması* denir. Ay tutulmasının gerçekleşebilmesi için, Ay'ın gökyüzünde Güneş'in

tam aksi konumda olması gerektiğinden, bu sadece dolunay halinde veya dolunaya yakın hallerde gözlemlenebilir. Ay tutulmaları dramatik izlencelere benzer: Tutulma sırasında Ay tuhaf bir turuncu kırmızı renge ve esraren-giz bir karanlığa bürünür. Ama yukarıdaki ikinci örnekte, yani *güneş tutulmasıyla* karşılaştırıldığında bu etki çok sıradan kalacaktır.

Güneş tutulması aslında Ay'ın gölgesinin dünyada belirli bir bölgeye düşmesinden başka bir şey değildir. O bölge gözlemlenirse, söz konusu gölgenin birkaç yüz kilometre genişliğinde ve yaklaşık olarak oval biçimde olduğu görülür. Dünya döndüğü ve Ay da Dünya ile Güneş'i birleştiren hat üzerinde hareket ettiği için, söz konusu oval gölge de yeryüzü üzerinde hareket eder ve yeryüzü üzerinde *tam tutulma hattı* olarak bilinen bir gölgelenme bölgesini oluşturur. İşte geçiş hattı üzerinde bulunan herkes, Ay diskinin Güneş'in önünden geçerken yavaş yavaş Güneş'i örttüğünü gözlemleyebilir. Nasıl ki Ay tutulması sadece dolunayda veya ona yakın hallerde meydana gelebiliyorsa, güneş tutulması da ancak yeni-ayda veya ona yakın hallerde olabilir. Bu yüzden, tutulmadan önce Ay'ı gözlemleyebilmek

neredeys e hiç mümkün olmaz. Aynı neden-
den dolayı, yani Ay'ın görülmemesi nedeni-
yle, konuyu bilmeyenler için güneş tutulması
tam bir sürpriz olacaktır. Gözlemci doğru za-
manda ve doğru yerde bulunuyorsa, Güneş
diski Ay tarafından tamamıyla örtülür. Bu
duruma *tam güneş tutulması* denir ve elinizde-
ki kitabın hemen başında anlatılan tutulmaya
benzer. Tam tutulma hattı boyunca ilerleyen
Ay'ın gölgesi Güneş diskini yavaş yavaş geri-
de bırakırken, hattın gerisinde kalan bölgeler-
deyse gün yeniden ışımakta, hatta yeni giren
bölgelerde gün karanlığa bürünmektedir.
Tam tutulma hattının uzunluğu binlerce kilo-
metreyi, Güneş'in tutulma süresi de yaklaşık
yedi dakikayı bulabilir. Tam tutulma hattının
her iki kenarında bulunan bölgelerdeyse *kısmi
güneş tutulması* meydana gelir. Kısmi tutulma-
da Ay, Güneş'i bir tarafından kemirir, ama
hiçbir zaman tamamen yutmaz.

Buraya kadar anlatılanlar, en basit geomet-
ri kurallarının ve Dünya ile Ay'ın düzenli y-
rnge hareketlerinin bilinmesi halinde çok ko-
laylıkla anlaşılabilir. Fakat tam güneş tutul-
masının meydana gelebilmesi gerçekten de
olağanüstü ve hayret uyandırıcı bir çakışmaya

dayanır. Şöyle ki, Ay bize Güneş'ten çok daha yakın (Ay Dünya'dan 350.000 km. uzaktayken, Güneş 150.000.000 km. uzaklıktadır) olduğu gibi, Güneş'ten çok daha küçüktür (Ay'ın yarıçapı yaklaşık 3.500 km. iken, Güneş'in yarıçapı yaklaşık 1,5 milyon km.'dir). Tüm bu değerler, trigonometrinin temel kurallarıyla birlikte öyle bir durum yaratır ki, Ay diski Güneş diskiyle neredeyse aynı büyüklükte görünür. Böylesine çarpıcı bir tesadüfün nasıl gerçekleştiğini hâlâ tatmin edici bir şekilde açıklayabilmiş değiliz. Çünkü bu tesadüf olmasaydı, tam güneş tutulması da oluşmıyacaktı. Öte yandan, tutulmaların her zaman tam tutulma şeklinde gerçekleşmediği de bilinen bir gerçektir. Çünkü tam tutulma, Ay ile Güneş'in görünürdeki büyüklüklerinin, tutulma sırasındaki uzaklıkların tam uygun değerlere sahip olmaları halinde gerçekleşir. Oysa bazen, Ay'ın görünürdeki büyüklüğü, dünyaya o anki uzaklığı dolayısıyla Güneş'inkinden daha küçük olur. Bu durumda Ay diski Güneş'i tam örtmediğinden, Ay Güneş'in önüne geçtiğinde Güneş'te bir "delik" (âdeta bir delikli nane gibi) oluştuğu izlenimi doğar. Buna da *halkalı güneş tutulması* adı verilir.



Şekil 1: 3 Kasım 1994 günü Putre'de (Şili) gözlemlenen tam güneş tutulmasının bu fotoğrafı, Colorado, Boulder'daki *National Center for Atmospheric Research* adına işletilen High Altitude Observatory'ye bağlı bir araştırma ekibince çekilmiştir. Fotoğrafta güneş koronası açıkça görülebildiği gibi, güneş diskinin sağ alt tarafından çıkan patlamalar da seçilebilmektedir.

Tam bir güneş tutulmasında, Güneş'in diğer hallerinde anlaşılmayan ögeleri de görülebilir. Örneğin, tutulma sırasında karanlık güneş diskini çevreleyen esrarengiz hale, Güneş'in *koronası* ve *kromosferinden* oluşur. Korona ve kromosfer çok ince ve narin bir gazdır, çok daha az yoğunluğa sahip olduğu halde Güneş'ten çok daha sıcaktır (Güneş'in yüzey ısısı 6.000 dereceyken, koronanın ısısı milyonlarca dereceyi bulmaktadır). Şanslı gözlemciler Şekil 1'dekine benzer patlama ve fışkırmaları izleyebilirler. Ancak güneş tutulmalarındaki bu fenomenlerin gözlenmesi sanıldığı kadar yarar sağlamaz, çünkü bu tür patlamaların ürettiği enerjinin sadece küçük bir kısmı görünen ışık biçimindedir. Dolayısıyla mor ötesi ve x-ışını gözlemleri çok daha önemlidir. Yalnız bu ışınlar, tutulma olsun olmasın, Dünya'nın atmosferinden geçemezler. Günümüzde bu amaçla geliştirilmiş detektörler taşıyan özel uydular aracılığıyla Güneş'imiz sürekli gözlem altında tutulmaktadır. Ayrıca, koronagraf denilen özgün bir cihazı kullanmak suretiyle, kesintisiz yappay güneş tutulmaları oluşturulmakta, ko-

rona sürekli ve verimli biçimde gözlemlenilmektedir.

Tam güneş tutulmaları bir açıdan çok ender görülen fenomenler olsa da, başka bir açıdan oldukça yaygın sayılabilir. Çünkü her yıl en az iki güneş tutulması olur ve bunların çoğu, kısmi tutulmalar, yani Ay'ın gölgesinin genellikle Dünya'nın dışındaki yerlere düştüğü tutulmalardır. Bir yıldaki azami toplam tutulma sayısı yedidir ve bunların en az ikisi mutlaka Ay tutulması şeklindedir.

Artık tutulmalar hakkında fazlasıyla bilgimiz var. Ne zaman oluşacağı, ne kadar süreceği, tam tutulma hattının nereden geçeceğini bilebiliyoruz, çünkü Ay'ın ve Dünya'nın Güneş çevresindeki hareketi hakkındaki bilgilerimiz bir hayli çok. Elimizdeki bilgilerin büyük bölümü yüzyıllar süren hassas gözlemlerle elde edildiği gibi, kuramlar yardımıyla da geliştirilmiştir. Astronomların Güneş Sistemi'nin nasıl işlediğine ilişkin matematiksel bir modeli vardır. Bu matematiksel model, bütün gezegenler ile uydularının göreceli konumlarını neredeyse hatasız bir hassaslıkla hesaplamaya yarayan denklemlerden oluşur. Şimdi kullandığımız denklemler üç yüz yıl-

dan daha eskidir. Bunlar, Isaac Newton'ın keşfedip 1689'da yayımladığı anıtsal *Principia*'sında (İlkeler) yer alan evrensel yerçekimi yasası ile hareket yasalarıdır. Burada ironik olan ise, Newton yasalarından tutulmaların önceden tahmin edilmesinde yararlanılması, nitekim 1919'daki güneş tutulması için de bu denklem ve yasaların kullanılması, fakat o yılki tutulmayla keşfedilen gerçeklerin sonuçta Newtoncu dünya görüşünü geçersiz hale getirmesidir.

Evrensel Yerçekimi

Bir fizikçinin gözünde, yerçekimi doğanın temel kuvvetlerinden birisidir. Yerçekimi, maddenin diğer maddeleri çekmesini temsil eder. Bu evrensel kuvvet, örneğin yerçekimini elektrik yüklü cisimler arasındaki kuvvet etkileşiminden ayırmaktadır. Çünkü elektrik yükü pozitif ve negatiftir. Elektriğin gücü, cisimlerin birbirini çekmesine (farklı yükler arasında) ya da itmesine (aynı yükler arasında) neden olurken, yerçekimi her zaman için çeken bir kuvvettir.

Yerçekimi kuvveti pek çok açıdan son derece hafiftir. Maddi cisimlerin çoğu, atomlar arasındaki elektriksel kuvvetle bir arada tutulur. Atomlar arasındaki bu elektriksel kuvvet, atomlar arasındaki yerçekimi kuvvetinden kat kat yüksektir. Ancak bu hafif olma özelliğine karşın, yerçekimi kuvveti astronomik ölçekte ana kuvvettir. Çünkü astronomik cisimler, çok ender rastlanan bazı istisnalar dışında, daima eşit miktarda pozitif ve negatif elektrik yük taşır ve bu yüzden birbirlerini hiçbir zaman elektriksel kuvvetle çekmezler.

Kuramsal fiziğin ilk büyük başarılarından birisi, Isaac Newton'ın evrensel yerçekimi kuramını geliştirmesiydi. O dönemde birbirinden ayrı görünen fiziksel fenomenleri bir araya getirme başarısını yansıtan Newton mekaniği kuramı şu üç basit yasayla ifade edilebilir:

- 1) Her cisim, dışarıdan onu değiştirmeye zorlayan bir kuvvet uygulanmadığı takdirde, durağan ya da sabit bir hareketle düz bir hat üzerinde ilerlemeye devam eder.

- 2) Cisimlerin momentlerindeki değişim oranı, etki yapan kuvvetle eşit orantılı olduğu gibi, o kuvvetin etki yapma yönünde gerçekleşir.
- 3) Her hareketin daima aynı miktarda ve ters yönde etki yapan bir karşı hareketi vardır.

Hareketin bu üç genel yasası, bir bilardo masası üzerindeki toplar için geçerli olduğu kadar, uzaydaki cisimlerin hareketleri için de geçerlidir. Newton'un burada yapmaya ihtiyaç duyduğu tek şey, yerçekimi kuvvetini nasıl tarif edeceğini bulmak olmuştur. Dairesel bir yörünge üzerinde hareket eden bir cismin, örneğin Dünya çevresinde dönen Ay'ın yaptığı hareketin merkezi yönünde bir kuvvete (bir ipliğin ucuna asılan bir ağırlığı başımızın üzerinde çevirdiğimizde, bizim üzerimizde bir kuvvet uygulaması gibi) maruz kaldığının farkına varan Newton, bu kuvvetin ve hareketin nedeninin, yere düşen elma örneğindeki gibi yerçekimine bağlanabileceğini düşünmüştür. Hem Ay hem de elma örneğinde söz konusu kuvvetlerin yönü aynı, yani Dünya'nın merkezine doğru olma-

lıdır. Newton, matematiksel denklemin doğru biçiminin bir "ters kare" yasası olması gerektiğinin farkına varmıştı: "Her iki cisim arasındaki çekim kuvveti, bu iki cismin kütlelerinin çarpımına ve aralarındaki uzaklığın ters karesine bağlıdır."

Evrensel yerçekiminin ters kare yasasına dayanan Newton'un kuramı, kendisinden yaklaşık yüz yıl önce Johannes Kepler'in bulduğu gezegenlerin hareketi yasasını matematik yardımıyla açıklayabildiği için büyük bir zaferdi. Evrenin, Newton'un geliştirdiği hareket yasalarına göre işlediğinin keşfedilmesi o kadar heyecan verici bir sıçramaydı ki, bu kuram ondan sonraki iki yüz yıl boyunca bilimsel alandaki tek egemen düşünce haline gelmişti. Ta ki, kimsenin tanımadığı bir patent bürosu memurunun bilim sahnesine çıkmasına kadar: Albert Einstein.

Einstein Devrimi

Albert Einstein 14 Mart 1879'da Almanya'nın Ulm kentinde dünyaya gelmiş, ama ailesi, o daha çok küçükken Münih'e taşın-

diğından okul yıllarını bu kentte geçirmiş-
tir. Küçük Einstein aslında pek parlak bir
öğrenci değildi. Nitekim ailesi İtalya'ya ta-
şınınca okulu tamamen bıraktı. 1896 yılında
ise ikinci denemesinde Zürih'teki İsviçre
Teknoloji Enstitüsü'ne kabul edildi. Zü-
rih'te oldukça iyi bir öğrenci olduğu halde,
aşırı tembel bir insan izlenimi verdiğiinden
hiçbir İsviçre üniversitesinde iş bulamaya-
caktı. Bunun üzerine akademik dünyadan
ayrılarak 1902 yılında Bern'deki Patent Bü-
rosu'nda memur olarak çalışmaya başladı.
Bu iş ona iyi bir maaş sağlıyor, ayrıca kı-
demsiz bir memur olduğu için işlerinin yo-
ğun olmaması nedeniyle, fizik üzerine dü-
şünmesine olanak tanıyan boş vakitler su-
nuyordu.

Einstein, özel görelilik kuramını 1905 yı-
linda yayımladı. Özel görelilik kuramı, in-
sanlığın düşünce tarihinin en büyük ente-
lektüel başarılarından birisidir. Bu başarıyı
perçinleyen gerçek, kuram yayımlandığı sı-
rada Einstein'ın patent dairesinde memur-
luğu sürdürmesi ve fizikle bir tür hobi ola-
rak uğraşmasıydı. Daha da önemlisi, Einste-
in aynı yıl, kuantum kuramındaki pek çok

gelişmeye esin kaynağı olan fotoelektrik olay ile Brown hareketi (mikroskopik ölçekteki parçaların karmaşık hareketlerinin, bu parçalara çarpan atomlar dolayısıyla meydana gelmesi) denilen fenomenlerle ilgili, çığır açan makaleler yayınlamıştı. Fakat özel görelilik kuramının o dönemdeki kendi çalışmaları ile fizik âleminin olağan çalışmalarından çok daha önemli olmasının asıl nedeni, Einstein'ın, zamanın mutlak bir değer olduğu ve herkes için her yerde aynı oranlarda ilerlediği fikrinden tamamen kopabilmiş olmasıdır. Bu mutlak zaman fikri Newtoncu dünya görüşüne o kadar işlemiştir ki, pek çoğumuz bunun tartışılmasının bile akla getirilemeyeceğini düşünen bir noktaya gelmişizdir. Böylesine muazzam kavramsal engelleri ancak bir dâhi yıkabilirdi.

Aslında görelilik fikrini bulan, Einstein değildi. Görelilik ilkesini, Einstein'dan yaklaşık üç yüzyıl önce Galileo dile getirmişti. Galileo, sadece görelî hareketin önemli olduğunu iddia etmiş, dolayısıyla mutlak hareket diye bir şey olamayacağı sonucuna varmıştı. Galileo'ya göre, düz bir gölde sa-

bit hızla ilerleyen bir teknenin içinde dünyadan tamamen yalıtılmış bir kamaradaysanız, teknenin hareket halinde olduğunu gösterebilecek bir deney yapamazsınız. Tabii o zamanlarda fizik hakkında fazla şey bilinmiyordu, bu yüzden Galileo'nun aklına sadece sınırlı sayı ve türde deney düzeneği gelmişti.

Buna karşılık Einstein'ın görelilik ilkesi, doğanın bütün yasalarının göreliliği bir hareket halindeki tüm gözlemcilerde tamamen aynı etkileri bıraktığını öngörür. Einstein bu ilkenin, özellikle elektrik yüklü cisimler arasındaki kuvvetleri de açıklayan James Clerk Maxwell'in geliştirdiği elektromanyetizma kuramına da uygulanması gerektiğine karar vermişti. Maxwell'in kuramının bir sonucuna göre, ışık hızı (boşluktaki bir ışık hızı), evrensel bir sabitlik (genellikle "c" sembolüyle gösterilir) olarak değer kazanır. Görelilik ilkesini ciddiye almak demek, hareket durumları ne olursa olsun bütün gözlemcilerin aynı c değerini ölçmeleri demektir. İlk bakışta çok düz gibi gözüken bu çıkarım, neredeyse devrim niteliğinde sonuçlara yol açmıştır.

Düşünce Deneyi (1)

Einstein kendisine, karşılıklı ışık sinyalleri alıp veren birtakım deney düzenekleriyle ilgili sorular yöneltmeye başlamıştı. Böyle *Gedanken* (düşünce) deneyleriyle çalışmayı çok sevdiği için, örneğin, bir hat boyunca ilerleyen bir tren vagonunun içinde yanıp sönen bir lamba olduğunu, vagonun her iki ucunda birer saat bulunduğunu, lamba her yandığında saate düşen ışıktan zamanın ne olduğunu anlayacağımızı varsayıyordu. Vagonun içinde oturan bir yolcuya göre, lamba söndüğünde ışık sinyali vagonun her iki ucuna aynı anda varacak, dolayısıyla iki saatte de aynı zaman değerleri okunacaktı.

Şimdi, hareketsiz duran birisinin hareket halindeki bir tren vagonuna baktığını varsayalım. Lambadan gelen ışık, trendeki, yani referans çerçevesindeki yolcuya da aynı hızda ulaşacaktır, dışarıdaki gözlemciye de. Fakat vagonun arka kısmında oturan yolcular, trenin ileriye doğru hareket etmesi nedeniyle, lambadan gelen ışığa doğru hareket ediyor gibi görüneceklerdir. Vagonun başında-

kiler ise lambanın ışığından uzaklaşıyor gibidirler. Sonuçta buradaki yolcular, vagonun arka kısmında bulunan saatin, kendi taraflarında bulunan saatten daha önce aydınlandığını görecekler; fakat ön taraftaki saatin, lambadan gelen ışıkla aydınlandığı anda vagonun arkasındaki saatle aynı zaman değerini gösterdiğini fark edince şaşırarak ve saatlerden birinin bozuk olduğuna karar vereceklerdir!

İşte bu örnek, eşzamanlılık kavramının göreliliğini gösterir. Vagonun çerçevesinde lambadan gelen ışığın saatler üzerine düşmesi eşzamanlıyken, hat dışındaki gözlemci açısından eşzamanlı değildir. Göreliliğin tuhaf örnekleri arasında, zamanın uzaması (hareket eden saatler daha yavaş ilerliyor görünür) ve uzunlukların kısalması (hareket halindeki cetveller daha kısa görünür) sayılabilir. Tüm bu fenomenler, ışık hızının bütün gözlemciler için aynı olması gerektiği varsayımından çıkan sonuçlardır. Tabii yukarıda verilen örnekler biraz gerçekdışıdır. Ölçülebilir farklar yaratabilmek için, c 'ye yakın değerlerden bahsetmek gerekir. Oysa trenlerin bu kadar yüksek bir

hıza erişebilmesi mümkün değildir. Yine de bazı deneylerle zamanın uzamasının etkilerinin gerçek olduğu kanıtlanmıştır. Örneğin çok yüksek hızlarla hareket eden radyoaktif parçacıkların bozunma oranı daha düşüktür, çünkü bu atomların içsel saati daha yavaş ilerler.

Özel görelilik kuramı fizik tarihinin en ünlü denklemi olan $E=mc^2$ 'nin bulunmasını da sağlamıştır. Madde ile enerjinin birbirine eşit olduğunu gösteren bu denklem deneysel olarak da kanıtlanmıştır; hatta, atom bombalarının temelinde bu ilke yattığı için, gereğinden fazla kanıtlandığını bile söyleyebiliriz.

Özel görelilik kuramı çarpıcı bir önem taşıdığı halde, birbirlerine göre sabit bir hızla hareket eden cisimlerle ilgili olduğundan, halihazırdaki biçimiyle ciddi biçimde eksik olduğu bellidir. Newton'un yazdığı *Doğanın Yasaları* kitabının ilk bölümü bile, zamanla değişen hızların nedenleri ve sonuçları etrafında kurulmaya çalışılmıştır. Örneğin Newton'un ikinci yasası, bir nesnenin momentum değişimi oranı, ya da daha anlaşılır bir dille, hızlanması hakkındadır. Özel görelilik kuramı ise *atıl* denilen hareketlere iliş-

kindir. Atıl hareketlerde parçacıkların hareketlerine dışarıdan herhangi bir kuvvet etki yapmaz. Yani özel görelilik kuramı, ivmeli hareketleri, özellikle yerçekiminin etkisi altındaki hareketleri tam olarak açıklayamamaktadır.

Eşdeğerlilik İlkesi

Einstein, yerçekiminin görelilik kuramına nasıl dahil edilebileceği konusunda bazı derin sezgi ve içgörülere sahipti. Ama burada ilk olarak Newton'un yerçekimi kuramını ele alalım. Bu kuramda, m kütlesine sahip bir parçacığın üzerine etki eden kuvvet, M kütlesine sahip başka bir parçacığa bağlı olup, söz konusu iki kütlenin birbiriyle ve aralarındaki mesafenin karesiyle çarpımına eşittir. Newton'un hareket yasasına göre, bu durum, birinci parçacıkta $F=ma$ şeklinde ifade edilen bir ivmeye neden olur. Bu denklemdeki m 'ye, parçacığın *atıl* kütlesi denir. Atıl kütle, parçacığın ivmeye karşı gösterdiği direnci belirler. Yerçekiminin ters kare yasasında ise, m kütlesi bir parçacığın

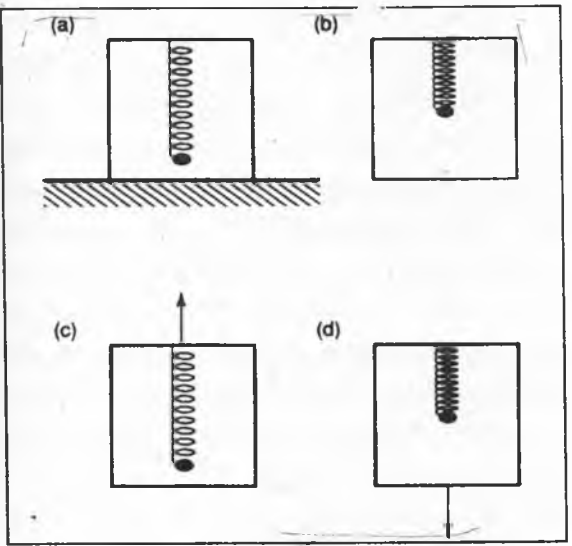
diğer parçacığın neden olduğu yerçekimi kuvvetine gösterdiği tepkinin ölçüsüdür. Dolayısıyla bu değere *edilgen* yerçekimi kütlesi denir. Öte yandan, Newton'un üçüncü hareket yasasına göre, A cisminin B cismine kuvvet uygulaması durumunda, B cismi de A cismi üzerinde aynı miktarda bir ters kuvvet uygulayacaktır. Yani m 'nin aynı zamanda, parçacık tarafından meydana getirilen *etkin* yerçekimi kütlesini (başka bir ifadeyle, yerçekimsel yükü) temsil ediyor olması gerekmektedir. Newton'un kuramında, bu kütlelerin üçü de (atıl kütle, etkin kütle ile edilgen kütle) birbiriyle eşdeğerdir. Yine de bunun niçin böyle olduğunu gösterecek bir neden yokmuş gibidir. Bu ilişki başka türlü de olamaz mıydı?

Einstein bu eşdeğerliliğin, *eşdeğerlilik ilkesi* denilen daha temel bir ilkenin sonucuna bağlanması gerektiğine karar vermiştir. Kendi ifadesiyle, "Serbest düşüş halindeki tüm laboratuvarlar fiziksel deneylerin yürütülmesi açısından birbiriyle eşdeğerdir." Yani öz olarak, yerçekimini, doğanın ayrı bir kuvveti olarak görmekten vazgeçip, ivme-

lenmiş referans çerçeveleri arasındaki hareketin bir sonucu olarak değerlendirmek gerekecektir.

Düşünce Deneyi (2)

Bunun nasıl mümkün olduğunu görebilmek için, bir asansörün içine bir fizik laboratuvarının kurulduğunu düşünelim. Asansör zemin katta hareketsiz biçimde duruyorsa, yapılan deneyler asansörün içindeki insanlar üzerinde bir yerçekimi kuvvetinin etki yaptığını ortaya çıkaracaktır. Örneğin, asansörün tavanına bir yaya bağlı bir ağırlık asacak olursak, ağırlık aşağıya sarkacağından yay uzayacaktır. Bir sonraki deneyde de, asansörü binanın en üst katına taşıdığımızı ve oradan boşluğa bıraktığımızı düşünelim. Serbestçe aşağıya düşen asansörün içinde herhangi bir yerçekimi kuvveti algılanmayacaktır. Yay uzamayacak, çünkü yaya asılı duran ağırlık, asansörün düşme hızı zamanla değişse bile onunla aynı hızda aşağıya düşüyor olacaktır. Asansörü uzaya taşıdığımızda da aynı durumla karşılaşacağız.



Şekil 2: Eşdeğerlilik ilkesini gösteren bu düşünce deneyinde, bir ağırlık bir yaya asılmış, yay ise bir asansörün tavanına bağlanmıştır. (a) durumunda asansör hareketsizdir. Asansöre etki eden yerçekimi kuvveti, ağırlığı aşağıya doğru çektiğinden yay uzamaktadır. (b) durumunda ise asansör bütün yerçekimi kaynaklarından uzakta, uzay boşluğunda bulunur ve hareketsizdir. Bu örnekte yay uzamaz. (c) durumunda, herhangi bir yerçekimsel alan olmadığı halde, asansör bir roket aracılığıyla hızlandırılır. Bunun sonucunda yay uzar. (c)'deki ivme (a)'dakiyle eşdeğer bir yerçekimi kuvveti oluşturur. (d)'de ise, asansör bir yerçekimi alanındayken serbest düşüş durumuna getirilmiştir. Asansör aşağıya doğru ivmelendiğinden içeride yerçekimi hissedilmez. Bu haldeki bir ağırlık ağırlıksız olacağından yay da uzamayaacaktır. Bu örnek (b) ile eşdeğerdir.

O halde yerçekimsizlik, yerçekimi kuvvetine karşı eşit bir serbest düşüş haliyle eşdeğerdir. Şimdi de, asansörümüzün gerçekten uzay boşluğunda (ve yerçekiminin erişemediği bir noktada) bulunduğunu, ama ona bir roketin bağlı olduğunu düşünelim. Roket ateşlendiğinde asansör hızlanıp ivme kazanacaktır. Uzay boşluğunda yukarı veya aşağı diye yönler bulunmasa dahi, roketin asansörü eski konumunun tersi bir yönde, yani asansörün tavanı yönünde ittiğini varsayabiliriz.

Bu durumda- *yaya* ne olacaktır? İvme, ağırlığı aşağıya doğru, yani asansörün göreli hareketinin tersi yönde çekeceğinden *yay* uzayacaktır. (Benzer bir örnek, bir otomobilin aniden hızlanması sırasında arabadaki yolcuların başlarının arkaya doğru itilmesi- dir.) Ancak *yayın* uzaması burada yerçekimsel bir alan bulunduğunu akla getirir. Asansör hızlanmaya devam etseydi *yay* uzamış halde kalacak, sanki asansör hızlanmıyor ve yerçekimsel bir alan içinde bulunuyormuş gibi olacaktı. Bu noktada Einstein dahice bir fikir geliştirerek bu durumları birbirine benzetmekle kalmaz, *birbirlerinden*

ayırt edilmelerinin bile mümkün olmadığını ileri sürer. Uzay boşluğundaki ivmelendirilmiş bir asansörde yapılacak herhangi bir deney, yerçekimsel kuvvetlerin etki yaptığı bir asansörde yapılan deneylerle tamamen aynı sonuçları doğurur. Tablomuzu tamamlayabilmek için, asansörümüzün yerçekimsel bir alan içinde bulunduğunu ve bu alan içinde serbest düşüş haline geçtiğini düşünelim. Böyle bir durumda asansör içindeki hiçbir şeyin ağırlığı olmayacak, yay gerilmeyecektir: Asansörün hareketsiz durduğu ve hiçbir yerçekimsel kuvvetin etki yapmadığı bir duruma özdeştir bu. Öyleyse serbest düşüş halindeki bir gözlemci, kendisini atıl bir hareket halinde bulunuyormuş gibi düşünmekte son derece haklıdır.

Genel Görelilik Kuramı

Einstein genel görelilik kuramını nasıl oturtması gerektiğini artık biliyordu. Fakat kuramı nihai şekline sokması için bir on yıl daha geçecekti. Geriye kalan, ivmelendirilmiş her türlü hareketi ve her türlü yerçe-

kimsel etkiyi ele alabilecek bir yasalar dizisini ortaya koymaktı. Einstein bu amaçla tensör analizi ve Riemanncı geometri gibi karmaşık matematiksel teknikleri öğrenip, hareketlerin olası tüm hallerini tarif edebilecek genellikte bir formalizm geliştirdi. Yine de bu başarıya ulaşması hiç kolay olmadı. 1905'te yayınladığı klasikleşmiş makalelerinde öne sürdüğü fikirler çok açık ve net olduğu, matematiksel hesaplamalara en az derecede yer verdiği halde, daha sonraki çalışmaları baştan sona teknik zorluklarla doludur. Bazılarına göre, Einstein genel kuramını geliştirdiği sıralarda bir bilim insanı olmuştur. Durum gerçekten böyleyse, bu sürecin Einstein açısından çok sancılı geçmiş olduğunu varsayabiliriz.

Genel görelilik kuramının teknik zorluklarını anlamak hakikaten güç bir iştir. Kuramın tamamını kullanarak yararlı bir şey hesaplamak en yetenekli uzmanları bile zorlar. Newton'un yerçekimi kuramını uygulamak tek bir denklemin çözülmesini gerektirirken, Einstein'ın kuramında en az on denklem aynı anda çözülmek zorundadır.

Üstelik bu denklemler Newton'un basit ters kare yasasından çok daha karmaşıktır. Özel görelilik kuramında gösterilen kütle ile enerji arasındaki eşitlik ($E=mc^2$) nedeniyle, enerjinin bütün biçimleri yerçekimi yaratır. Bir cismin oluşturduğu yerçekimsel alan da bir enerji biçimidir, dolayısıyla bu alan da yerçekimi yaratır. Böylesi bir tavuk-yumurtta problemine fizikte "doğrusal olmama" adı verilir. Doğrusal olmama, denklemlerin çözülmesi sırasında bazen içinden çıkılmaz matematiksel karmaşıklıklara yol açmaktadır.

Bu kuramın anlaşılması kavramsal düzeyde bile kolay değildir. Özel görelilik kuramında yer alan zamanın göreliliği genel kuramda da vardır. Fakat genel kuramda, zaman uzaması ve uzunluk kısalması hallerine yerçekimsel etkilerin neden olduğu yeni eklemeler gelmiştir. Ayrıca mevcut sorunlar zaman sorunuyla da kalmaz! Özel görelilik kuramında, en azından uzay alışık olduğumuz şekildedir. Genel kuramda ise uzayın alışık olduğumuz özellikleri de ortadan kalır. Burada uzay *eğilmiş* bir haldedir.

Işığın Eğilmesi:

İlkelerden Principe Adasına

Uzayın kendi içine bükülmüş olduğu fikrini kavramak o kadar zor bir şeydir ki, bunun nasıl bir şey olduğunu tahayyül etmekten fizikçiler bile kaçınmaya çalışırlar. Doğal dünyamızın geometrik özelliklerine ilişkin anlayışımız Yunanlı matematikçilerin gayretlerine, Pisagor'un ve özellikle Öklid'in formülleştirdiği sisteme, Pisagor'un paralel çizgilerin birbirine asla değmeyeceğini ortaya koyan teoremine, bir üçgenin iç açılarının toplamının 180 derece olması gibi keşiflere dayanır. Bu kuralların hepsi Öklidyen geometride kendine bir yer ve anlam bulmuştur. Ancak bu yasa ve teoremler sadece soyut matematikten ibaret değildir. Gündelik hayat deneyimlerimizden, bu yasa ve teoremlerin fiziksel Dünya'nın özelliklerini çok iyi yansıttığını biliyoruz. Öklid yasaları her gün mimarlar, ölçüm mühendisleri, tasarımcılar ve haritacılar, hatta cisimlerin biçimleri ve uzay içindeki konumlarıyla ilgili herkesçe kullanılmaktadır. Geometri gerçektir.

Bu yüzden, küçüklükten beri aşına olduğumuz uzayın bu özelliklerinin, çevremizde

ölçüp değerlendirdiğimiz bina ve toprakların ötesinde de geçerli olduğu son derece açıktır. Onlar bir bütün olarak evren için de geçerli olmalıdır. Öklid yasaları yeryüzünün dokusuna nüfuz etmiştir. Yoksa yanılıyor muyuz? Öklid yasaları, matematiksel açıdan şık, mantıksal açıdan bağlayıcı gibi gözükse de, bir geometri sistemi oluşturmakta kullanılabilecek tek kurallar dizisi olma özelliğine sahip değildir. On dokuzuncu yüzyılda yaşamış Gauss ve Riemann gibi matematikçiler, Öklid yasalarının geometrinin sadece özel bir halini (bu özel halde uzay düzdür) temsil ettiğinin farkına varmışlardır. Dolayısıyla Öklid yasalarının geçersiz kaldığı farklı sistemler geliştirmek pekâlâ mümkündür.

Örneğin düz bir kâğıt parçasına bir üçgen çizdiğimizi varsayalım. Bu örnekte Öklid teoremleri geçerlidir. Yani örneğimizdeki üçgenin iç açılarının toplamı 180 derece (iki dik açının toplamına eşit) olmak zorundadır. Sonra, aynı üçgeni bir küre üzerine çizdiğimizi varsayalım. Bu durumda küre üzerindeki üçgende *üç* dik açının bulunması mümkündür. Söz konusu kürenin “kuzey

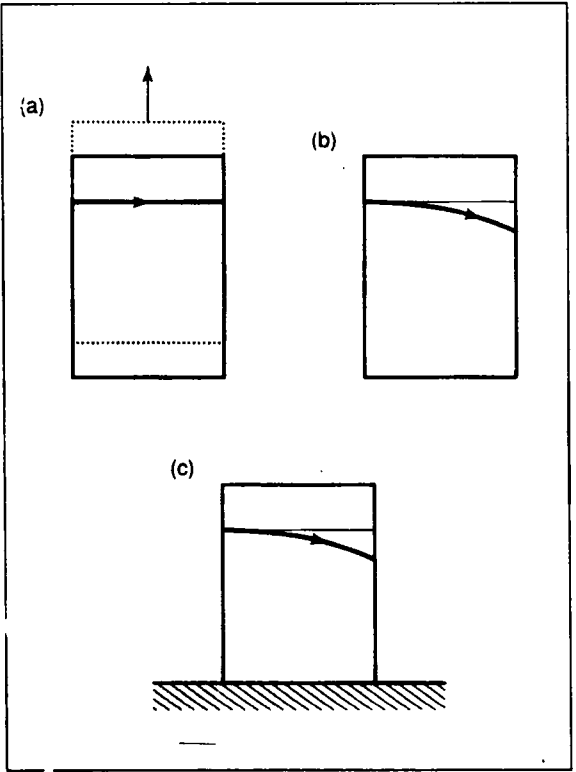
kutbu"na bir nokta, "ekvator"una iki ayrı nokta koyup (aralarındaki mesafenin, ekvator çevresinin dörtte biri olmasına dikkat ederek) bunları birleştirdiğimizde ortaya çıkan şekil, Öklidyen geometriye aykırı biçimde üç dik açıdan oluşan bir üçgen olacaktır.

Böyle bir yaklaşım iki boyutlu geometriye çok uygun düşse de, içinde yaşadığımız dünyanın üç boyutlu olduğunu biliriz. Üç boyutlu olarak bükülmüş bir yüzeyi zihnimize canlandırmamız çok daha zordur. Hatta bu şekilde "uzay" diye bir şeyi hayal etmek bile yanlış olabilir. Ne de olsa uzayı ölçmek mümkün değildir. Bizim ölçebildiğimiz şeyler, metrik ölçekler ya da astronomik bağlamlar söz konusu olduğunda ışık huzmelerinden faydalanarak uzay içinde yer alan cisimlerin kendi aralarındaki mesafeleridir. Uzayı düz veya bükülmüş bir kâğıt parçası olarak düşünürken, bunu uzayın bizatihi kendisi için geçerli sayma eğiliminde oluruz. Oysa gerçeklik böyle değildir. Einstein "uzay" gibi, varlık kategorileri net olmayan mevcutluklardan söz etmemeye her zaman özen göstermiş, daha çok, verili bir deneyde

gözlemcinin fiilen ölçebileceği şeyler hakkın-
da düşünmeyi yeğlemiştir.

Biz de onu takip ederek, ışık huzmeleri-
nin genel görelelik kuramına göre hangi yo-
lu izlediğini sorabiliriz. Öklidyen geometri-
de ışık düz bir çizgi üzerinde ilerler. Işığın
izlediği bu düz çizgiyi, uzayın düz oluşuna
dair bir kanıt sayabiliriz. Özel görelilik ku-
ramında da ışık düz bir çizgi üzerinde iler-
lediğine göre, özel kuramda da uzayı bir
düzlük olarak düşünebiliriz. Ne var ki, ge-
nel görelilik kuramının ivmelendirilmiş ha-
reketlere ya da yerçekimsel etkilerin söz ko-
nusu olduğu hareketlere uygulandığını
unutmayalım. Böyle bir durumda ışığın iz-
lediği yol ne olacaktır?

Bu soruyu yanıtlamak için asansörle ilgi-
li düşünce deneyine geri dönmemiz gerekir.
Şimdi deney düzeneğini değiştirelim ve
ucuna ağırlık takılmış yay yerine, asansörün
içine bir duvardan diğerine ışın yollayan bir
lazer cihazı yerleştirelim. Asansörümüz her-
hangi bir yerçekimsel kuvvet kaynağından
uzakta, uzay boşluğunda olsun. Asansör ha-
reketsizse veya sabit bir hızla hareket edi-
yorsa, lazer ışını karşı duvara, yani bulun-



Şekil 3: Bu şekil ışığın eğilmesini gösterir. (a) durumunda asansör Şekil 2(c)'deki gibi yukarıya doğru hareket eder. Dışarıdan bakıldığında lazer ışını düz bir çizgi üzerinde hareket ediyor gözükür. (b) durumunda asansörün içinde bulunan bir gözlemci, lazer ışınının aşağıya doğru eğildiğini kaydeder. Bu etki, (c) durumunda gördüğümüz gibi, yerçekimsel bir alan içinde bulunan hareketsiz bir asansörde de aynıdır.

duğu noktanın tam karşısına isabet edecektir.

Özel görelilik kuramının öngörüsü de bu yöndedir. Fakat şimdi, asansörün bir roketle bağı olduğunu ve roketin ateşlendiğini varsayalım. Asansör bu durumda yukarıya doğru ivme kazanır. Asansörün dışında duran hareketsiz bir gözlemci ise, asansörün yukarıya doğru hareket ettiğini kaydeder. Aynı gözlemci, asansörün içini de görebilirse, lazer ışınının düz bir çizgi üzerinde hareket ettiğini gözlemler. Çünkü dışarıdaki gözlemci hareketsiz olduğundan, bu örnekte özel görelilik kuramı geçerlidir. Öte yandan, aynı asansörün içinde bulunan bir fizikçi çok tuhaf bir gözlem yapacaktır. Lazer ışını bir duvardan ötekine giderken geçen kısa süre içinde asansör de hareket eder ve bir yol kat eder. Sonuçta, lazer ışınının karşı duvarda düştüğü nokta, çıkış noktasının bir miktar altında olur. Bu deneyde ivmelendirme ışığı aşağıya doğru “eğmiştir”.

Şimdi, yay örneği ile eşdeğerlilik ilkesini hatırlayalım. İvmelendirme yokken, yani asansör sadece yerçekimsel bir alan içinde bulunurken de asansör sanki ivmelene-yormuş gibi bir sonuç ortaya çıkmaktaydı. Öy-

leyse bir varsayımda daha bulunalım ve asansörün yeryüzünün üzerinde sabit biçimde durduğunu düşünelim. Bu durumda ışık huzmesi, yukarıya doğru ivmelenen asansördekiyle aynı sonucu vermeli, aşağıya doğru eğilmelidir. Demek ki yerçekimi ışığı eğmekte ve ışığın izlediği yol düz bir çizgi değil de eğikse, uzay düz değil, bükük olmaktadır.

Newton ile Soldner

Şimdiye kadar anlattığımız hikâyeden, Einstein'dan önce sanki hiç kimsenin ışığın eğilebileceğini düşünmediği izlenimi doğabilir. Oysa bu tam doğru değildir. Işığın büyük kütleli bir yerçekimsel cisim tarafından eğilebileceği daha önce düşünülmüştür. Bunu düşünen kişi Isaac Newton'un bizzat kendisidir. Newton *Opticks* adlı eserinde retorik bir soru yöneltmektedir:

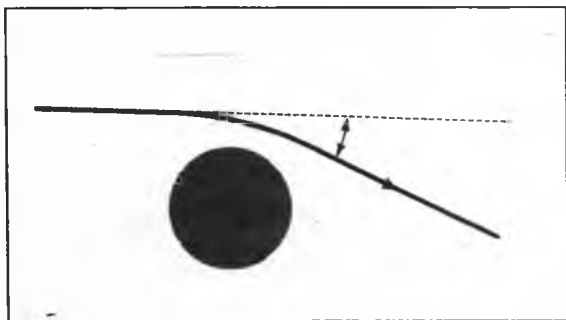
Cisimler ışığı uzaktan etkilemez mi ve bu etkiyle ışınları eğmez mi? Üstelik bu etki, uzaklıklar arttıkça ... daha da çoğalmaz mı?

Başka bir deyişle, Newton ışık ışınlarının da ters kare yasasına bağlı olarak yerçekimi

kuvvetine tabi olacağını iddia eder. Fakat bildiğimiz kadarıyla, bu fikrini, gözlemlediği herhangi bir şeye uygulamaya çalışmış değildir. Newton'un yukarıdaki sorusu, 1801 yılında Johann Georg von Soldner tarafından yenilenmiştir. Soldner'in çalışmalarının asıl amacı da, ışığın eğilmesinin birtakım astronomik gözlemlerde düzeltme yapılmasını gerekli kılp kılmayacağını irdelemektir. Soldner bu sorunu, ışığın çok küçük parçacıklardan meydana gelen bir huzmeden oluştuğunu savunan Newton kuramından yararlanarak çözmeye çalışmıştır. Işık böyle bir özelliğe sahipse, her parçacığın kütlesi çok küçük olmalıdır. Soldner, yine Newton'un yerçekimi kuramına başvurarak, günümüz fizikçilerinin "balistik saçılma problemi" dediği bir örneği çözmüştür.

Soldner'e göre, büyük bir yerçekimsel cismin yanından geçen küçük bir parçacık, söz konusu cismin yerçekimini hisseder ve bu cismin merkezine doğru çekilir. Parçacık, cisimle karşılaşma süresi olabildiğince kısa olacak kadar yüksek bir hızla hareket ediyorsa ve kütlesi diğer cisminkinden çok daha azsa, parçacığın hareket yönünü küçük oranda değiştiren bir eğilme meydana gelir. Bu eğilme

ya da çekilmenin ve buna bağlı olarak eğilme açısının büyüklüğü kolayca hesaplanabilir, çünkü bu örnekte parçacığı çeken cismin hareketini dikkate almamız gerekmez. Söz konusu iki cisim birbirine eşit ve ters kuvvetler uyguladıkları halde, Newton'un üçüncü yasasına göre, çeken cismin çok daha büyük bir kütleyle sahip olması, çekilen cismin ivmesinin çok daha düşük olması anlamına gelmektedir. Zaten saçılma etkisi, gezegenler arası araştırmalarda yararlanılan uzay araçlarının hareketlerinde özellikle dikkate alınır. Uzay araçları da, itici bir roketle ihtiyaç kalmadan, kendisinden çok daha ağır bir gezegenin ya da Güneş'imizin yerçekimi alanından fayda-



Şekil 4: Balistik saçılma problemi. Ağır bir cismin yanından geçen küçük bir cisim, ilerlerken küçük bir oranda yönünden sapar.

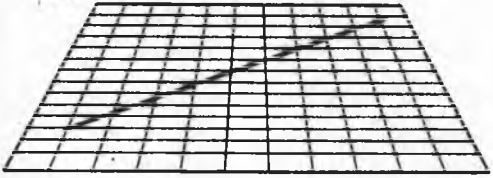
lanılarak bir "dönme-hızlanma" hareketiyle gerekli ivme ve yön kazandırılabilir.

Ne yazık ki bu hesaplamalarla birlikte bir takım sorunlar da ortaya çıkar. Sorunların en başında, ışığın herhangi bir kütleye sahip olmaması gelir. Newton, ışığın bir parçacıklar huzmesinden (günümüzde bunlara foton denir) meydana geldiği fikrini ortaya atmışsa da, fotonların kütesiz olduğu artık bilinen bir gerçektir. Newton'un kuramını kütesiz parçacıklara uygulamak ise olanaksızdır: Zira bu parçacıklar, herhangi bir yerçekimsel kuvvet hissetmeyecek (yerçekimi kuvveti cismin kütesine bağlı olduğundan) ve herhangi bir ataletle sahip olmayacaklardır. Newton'un dünyasında fotonların ne işe yaradığını kimse bilmez. Fakat Soldner'in bulguları, daha iyi bir ifade bulunamadığı için genellikle "Newtoncu Öngörü" şeklinde isimlendirilmiştir.

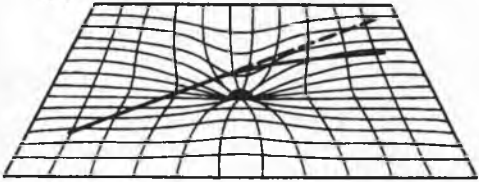
Soldner'in hesaplamalarından haberi olmayan Einstein, 1907'de ışığın eğilme ihtimaline kafa yormaya başlamıştır. O aşamaya kadar eşdeğerlik ilkesini fark etmiş, ama genel görelilik kuramını tamamlayabilmesi sekiz yılını daha almıştır. Einstein, eşdeğerlik

ilkesinin ışığın yerçekimsel cisimler tarafından eğilmesini gerektirdiğinin farkına varmışsa da bu etkinin pratikte ölçülemeyecek kadar küçük olduğunu düşünmüş, bunun üzerine hesaplamalarını rafa kaldırmıştı. Einstein 1911'de, yani henüz genel kuramını tamamlamamışken, bu soruna tekrar geri dönmüştür. Bu seferki hesaplamalarında yaptığı, söz konusu argümanı Newtoncu kurama dayanarak bir kez daha elden geçirmek, ama geliştirdiği en ünlü denklem olan $E=mc^2$ 'nin etkilerini de göz önünde bulundurarak, kütle (m) ile enerji (E) arasındaki eşdeğerlikten yararlanmaktı. Fotonların kütlesi olmasa da enerjileri var, diye düşünüyordu. Geliştirdiği kurama göre, en saf enerji bile bir tür kütle gibi davranmak durumundaydı. Einstein bu argümandan hareketle, ışığın eğilmesini artık deneysel olarak ölçmenin de mümkün olabileceğini düşününce, gökküre üzerinde Güneş'in arkasına denk düşen yıldızlardan gelen ışığın Güneş tarafından eğilmesini hesaplamaya girişmişti. Güneş'in yüzeyinden teğet geçen bir ışık huzmesi için bu eğilme 0,81 ark derece olmalıydı. (Bir ark bir derecenin 1/3600'üne denk gelir. Karşılaştır-

(a)



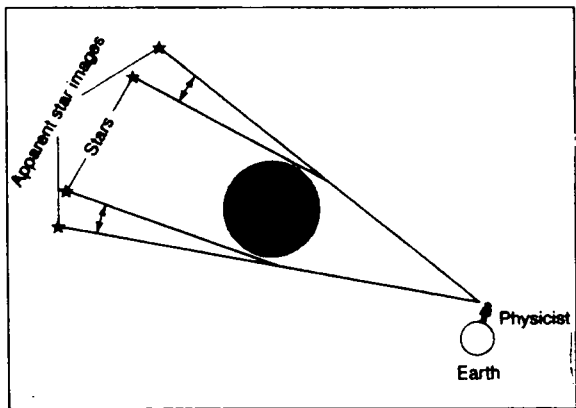
(b)



Şekil 5: Bükülmüş uzay ve ışığın eğilmesi. Yukarıdaki şekilde uzay, iki boyutlu bir yüzey olarak temsil edilmiştir. Herhangi bir yerçekimsel cismin bulunmadığı bir ortamda, ışık düz ve pürüzsüz bir masa üzerinde hareket eden bir top misali düz bir çizgiyi takip ederek ilerler (a). Fakat ışığın izlediği güzergâha ağır kütleli bir cisim yerleştirildiğinde uzay bükülür: Cisme yaklaştıkça uzayın bükülmüştük derecesi artacaktır (b). Bükülmüştüğün ışık üzerindeki etkisi, masanın ortasında bir oyuk bulunduğu halde bir topun oradan geçmesine benzer ve topun, çizgisel güzergâhından saçılıp, yönünün eğildiğini görürüz.

ma yapmak açısından, Güneş'in gökküremizde işgal ettiği yerin yaklaşık yarım derece olduğunu söyleyebiliriz.) Einstein'ın bulduğu bu çözüm, Soldner'in yaklaşık yüz yıl önce hesapladığı Newtoncu değerle neredeyse eşittir.

Öngörülen eğilme değeri çok küçük olmasına rağmen, Einstein'ın danıştığı astronomlar, bu değer, ölçülebilirlik sınırının biraz üzerinde olduğuna dikkat çekmişlerdir. Güneş'in çok yakınında görünen bir yıldız, Güneş'in gökkürede başka bir konum-



Şekil 6: Güneş'in ışığı eğmesi. Güneş'in arkasında kalan bir yıldızın ışığı Şekil 4'tekine benzer bir yol izleyerek gözlemciye ulaşır. Sonuçta gözlemlenen yıldız, Güneş'in başka bir konumdaki yerine göre sanki biraz farklı bir yerde duracaktır.

dayken sahip olduğu konuma göre biraz farklılık gösterecektir. İşte Einstein'ın kuramının tam da böyle bir gözlemle sınanabileceği d ş n lmekteydi. Aşılmaması gereken tek sorun, bir şekilde Güneş'in üzerinin kapatılmasını sağlamaktı. Aksi takdirde Güneş'in yakınındaki yıldızları görmek olanaksızdı. Dolayısıyla bu konuyla ilgili gözlemler tam güneş tutulması sırasında yapılmalıydı.

Hayati  neme Sahip Bir Düzeltme

1919'daki  nl  Güneş tutulmasının hik yesini anlatacağımız aşamaya henüz gelmedik. Einstein 1915'te genel görelilik kuramını tamamlamış olduğu halde, ışığın eğilmesi sorununa yeniden kafa yoruyordu. Nitekim 1911'deki hesaplamalarında bir hata yaptığını anladı. Zira doğru yanıt, Newtoncu değerle aynı *değil*, bu değerden *iki kat* daha büyüktü. 1911'de bükülmüş uzayın tüm etkilerini dikkate almadığından, genel kuramın sınanması için çok daha güçlü bir motivasyonu vardı artık. Hesaplanan değerin Newtoncu kuramdaki gibi 0,87 ark derece değil, 1,74

ark derece olması gerekiyordu. Hem bu büyüklükteki bir değeri ölçmek daha kolaydı, hem de bu şekilde kuram nihai bir sınavdan geçecekti.

1912 yılında bir Arjantin keşif ekibi tam güneş tutulmasını gözlemlemek üzere Brezilya'ya gönderildi. Arjantin ekibinin görevleri arasında ışığın eğilmesinin gözlemlenmesi de vardı. Fakat kötü hava koşulları nedeniyle herhangi bir gözlem yapılamadı. 1914'te ise Erwin Freundlich'in düzenleyip ünlü silah firması Krupp'un finanse ettiği bir Alman keşif ekibi, 21 Ağustos günü Kırım'da izlenebilecek bir güneş tutulmasını gözlemlemek üzere yola çıktı. Gelgelelim, Birinci Dünya Savaşı'nın patlak vermesi yüzünden ekip Almanya'ya geri çağırıldı. Ekibin birçok üyesi Almanya'ya geri dönebildiyse de bazıları Rusya'da tutsak düştü ve bu girişimden de hiçbir sonuç alınamadı. Birinci Dünya Savaşı, Avrupa'dan yola çıkacak diğer keşif ekiplerini engellemişti. Doğrusu insan, 1912 ya da 1914 yılındaki keşifler başarılı olsaydı, Einstein'ın tarihi öneminde nasıl bir değişme olurdu, diye merak etmeden duramıyor. Zira daha 1915 yılma dek, yanlış olan 0,87 ark

derece değerinde ısrar etmekteydi. Einstein'ın hesaplarında dzelittiği ikinci değerin doğru olduğu daha sonra, 1919 yılında Sobral ve Principe'ye giden Britanya keşif ekip-lerince kanıtlanacaktı. Bundan sonrası da artık tarihe mal olmuştur..

Eddington ve Keşif Gezileri

1919 tarihli keşif gezisinin hikâyesi, Arthur Stanley Eddington ismindeki bir astronom etrafında şekillenir. 1882 yılında Cumbria'da doğan Eddington, babasının ölümü üzerine, 1884 yılında annesiyle birlikte Somerset'e taşınmış ve sofı bir Quaker tarafından yetiştirilmişti. (Güneş tutulmasını gözleyen keşif ekibinin hikâyesinde önemli bir rolü vardır bunun.) Eddington 1912'de, yani henüz 30 yaşındayken, Cambridge Üniversitesi'ne Britanya'daki en itibarlı astronomi kürsüsü olan Plumian Astronomi ve Deneysel Fizik Profesörü olarak atandı. İki yıl sonra ise Cambridge gözlemevlerinin müdürlüğüne getirildi. 1912'de Brezilya'daki güneş tutulmasına giden Britanya keşif ekibinin başkanı olan Ed-

dington, bu nitelikleriyle ışığın öngörülen eğilme etkisini ölçebilecek en yetkin kişiydi.

Einstein 1915'te genel görelilik kuramını Prusya Bilimler Akademisi'ne sunduğunda Eddington İngiltere'deydi. O yıllarda İngiltere ile Almanya savaş halinde olduğundan, aralarındaki bütün bilimsel ilişkiler kesilmişti. Fakat Eddington şanslıydı, çünkü Willem de Sitter ismindeki arkadaşı (ile ride modern kozmolojinin kurucularından birisi olacaktı) o sıralarda, tarafsızlığını koruyan Hollanda'da bulunuyordu. De Sitter'in eline Einstein'ın makalelerinin kopyaları geçmiş, o da bunları 1916'da Eddington'a ulaştırmıştı. Eddington, Einstein'ın çalışmalarından fazlasıyla etkilenmiş ve hemen meslektaşlarıyla tartışmaya başlamıştı. 1917 yılı başlarında Kraliyet Astronomi Cemiyeti'ne verdiği bir raporda, ışık eğilmesi ölçümleriyle söz konusu kuramın sınanabileceğini vurgularken, birkaç hafta sonra da Kraliyet Astronomu Sir Frank Watson Dyson, 29 Mayıs 1919'da beklenen tam güneş tutulmasının en uygun fırsat olduğunu açıklayacaktı. Tam Tutulma hattı Brezilya'dan başlayıp Atlantik Okyanusu'nu ge-

çerek Batı Afrika'ya kadar uzandığı halde, Güneş'in tutulma sırasında gökkürede bulunduğu konum çok idealdi: Tutulma anında çok iyi tanınan ve Hyades denilen bir yıldız kümesinin önünde bulunacak, tutulmanın gerçekleştiği anda Güneş'in ardındaki gökyüzü bu yıldız kümesindeki yıldızlarla parlayacaktı. Ölçüm tam bu sırada yapılabilirdi.

Dyson hemen muhtemel gözlem noktalarını araştırmaya koyuldu ve bir yerine iki keşif ekibinin gönderilmesine karar verildi. Ekiplerden birisinin başkanı Eddington olacak, bu ekip Batı Afrika'da, İspanya Ginesi'nin açıklarındaki Principe adasına gönderilecekti. Öteki ekip ise Andrew Crommelin (Greenwich Kraliyet Gözlemevi astronomlarından) başkanlığında oluşturulacak ve Brezilya'nın kuzeyindeki Sobral'e gidecekti. Keşif ekiplerinin hazırlık çalışmalarına zaman kaybetmeden başlandıysa da hemen birtakım sorunlarla karşılaşıldı.

Britanya ile Almanya 1914'ten beri savaş halindeyken, İngiltere'de genel seferberlik ancak 1917'de ilan edilmişti. 34 yaşındaki Eddington'un silah altına alınması gereki-

yordu. Ne var ki katı bir Quaker olan Eddington askere gitmeyeceğini açıkladı. Dönemin toplumsal atmosferi vicdani retçilerin aleyhineydi. Eddington'la diğer Quaker arkadaşlarının bir toplama kampına gönderilip savaşın geri kalan kısmını patates soyarak geçirmeleri işten bile değildi. Bunun üzerine Dyson, bazı ünlü Cambridge'li akademisyenlerle birlikte İçişleri Bakanlığı'na başvurup, bu kadar önemli bir bilim adamının Somme'da savaş alanları ve siperlerde ölmesinin ulusal çıkarlarla bağdaşmadığını savundu. Sonunda bazı siyasal manevralarla bir uzlaşmaya varıldı. Eddington'u silah altına çağıran emir ertelenecekti, fakat, 29 Mayıs 1919'da savaşın bitmesi halinde Principe'ye yapılacak keşif gezisine Eddington'un başkanlık etmesi koşuluyla.

Yine de bu engelin kalkması her şeye çözüm değildi. Başka sorunlar da vardı. Örneğin keşif gezilerine özel teleskoplar ve fotoğraf aletleri verilmesi gerekirken, bunları üretecek firma ve insanlar ya silah altındaydı ya da silah üretmekle meşguldü. Bu yüzden Kasım 1918'de mütarekenin imzalanmasına kadar fiilen hiçbir hazırlığa girişilemedi. O tarihten

sonra da çok hummalı bir çalışma başladı. Zira gözlem merkezlerine zamanında varabilmek için en geç Şubat 1919'da yola çıkılmış olmalıydı. Yapılacak gözlemlerin temel mantığı, söz konusu yıldız kümesinin iki ayrı fotoğraf dizisinin çekilmesi idi. Bu fotoğraf dizisinin birincisi tabii ki güneş tutulması sırasında, öteki ise Güneş'in, söz konusu yıldız kümesinin gökkürede bulunduğu yere uzak bir konumdayken çekilecekti. Başka bir deyişle, o tarihte Dünya'mız Güneş çevresindeki dönüşünde Güneş'e tam tersi bir açıda bulunduğundan, tutulma tarihinden altı ay önce harekete geçilmesi gerekiyordu.

Keşif ekipleri her şeye rağmen zamanında yola çıkarken, özellikle Britanya'daki astronomi çevreleri heyecanlı bir bekleyiş içindeydi. Gözlemlerin muhtemel sonuçlarından birincisi, gözlem ekibinin (kötü hava koşulları ya da başka bir aksaklık yüzünden) hiçbir ölçüm yapamadan geri gelmesi; ikincisi, ölçümlerden sonra ışığın eğilmesi diye bir şey olmadığı sonucuna varılmasıydı (bu ise o zamana kadarki tüm kuramsal fikirleri alt üst edecekti). Muhtemel sonuçların üçüncüsü, Newtoncu bir değerın tespit edilmesi (bu

Einstein'ın kuramını bozardı); dördüncü ise Einstein'ı doğrulayan ölçümler yapılmasıydı (yani Newtoncu değerin iki katı bir eğilmenin gözlenmesi). Acaba sonuç hangisi olacaktı?

Kraliyet Astronomi Cemiyeti'nin yayın organı *Observatory* dergisinin Haziran 1919 tarihli sayısında bir son dakika haberi çıkar. Bu habere göre Cemiyet'e son anda iki telegraf gelmiştir. Birincisi, Sobral'daki Crommelin'den gelmekte ve şu mesajı içermektedir: "TUTULMA MUHTEŞEMDİ." İkincisi ise Eddington'dan gelmiştir ve biraz umut kırıcıdır: "HAVA BULUTLU. BEKLEMEDEYİZ." Keşif ekipleri yurtlarına döndükten hemen sonra ellerindeki verileri analiz etmeye başladılar. Astronomi çevreleri hâlâ beklemedeydi.

Her iki keşif gezisiyle ilgili bütün ayrıntılar *Philosophical Transactions of the Royal Society* dergisinin 1920 tarihli sayısında yer almıştır. Bu rapordan anlaşılabacağı üzere, ekipler bazı sorunlarla karşılaşmışlardır. Örneğin güneş tutulmasının gerçekleşeceği günün sabahı Principe'de hava bulutluydu. Eddington'un morali çok bozuktur. Ama gözlemden tam vazgeçileceği anda, güneş ışıkları bulutların

ardından hafif hafif belirmeye başladı. Tutulma sırasında bazı çekimler yapıldıysa da fotoğrafların çoğu işe yaramazdı. Principe misyonunun elinde işe yarar sadece iki fotoğraf vardı. Sobral'de ise hava çok daha iyiydi ve burada çekilen fotoğraflar görelilik kuramının kanıtlanması açısından en iyi gözlem sonuçları olmuştu.

Gelgelelim, sorunlar bunlarla kalmıyordu. Tahmin edilen ışık eğilmesi, yukarıda açıklandığı gibi iki ark dereceden daha azdı ve bu, gözlemlenmesi oldukça zor bir değerd. Ayrıca, bir yıldızın bir fotoğraf üzerinde kayma göstermesinin başka nedenleri de olabilirdi. Örneğin fotoğraf filmleri, ısıya bağlı olarak genleşebilmektedir. Kullanılan emülsiyon pek düzenli ve homojen olmayabilir. Güneş tutulması sırasındaki çekim koşulları ile daha önceki referans koşulları birbirini tutmayabilir, vb. Örneğin Sobral ekibi, güneş tutulması sırasında çevre ısısının önemli derecede düştüğünü tespit etmişti ve bu, fotoğraf filmlerindeki genleşmenin ciddi sayılabilecek bir miktarda olması anlamına geliyordu. Ayrıca tutulma sırasında dünya atmosferinin ışığı kırma değerleri değişmekte, alınan

görüntünün distorsiyonu farklılaşmaktadır. Verilerin nihai analizi aşamasında bu olumsuzlukların hepsi hep dikkate alınmak zorundaydı.

Bilimsel gözlemler yukarıdaki türden hatalara her zaman açıktır. Bilimsel deneylerdeki birbirine benzer belirsizlik faktörleri ve değerleri, teknik literatürde, bilimsel sonuçları sadece tek bir yanıtla bağlamamayla, "standart hata" denilen bir değer gösterilmesiyle önlenmeye çalışılır. Standart hata, deney sonuçlarını etkileyen muhtemel yanlışlık ve yanılğı kaynaklarını gösterir. Diyelim, ölçülen ışık eğim değeri 1 ark derece olsun. Standart hata değeri de 1 ark derece civarındaysa, yapılan ölçümün güvenilirliği kalmayacaktır. Ölçüm değeri " 1 ± 1 " ark derece olarak gösterilecek, böyle bir sonuca hiç kimse inanmayacak, hatanın kullanılan aletlerden ileri geldiğı sonucuna varılacaktır. Zaten fizikçilerin birinci kuralı, ölçülen değeri, standart hatanın en az iki katı olmadığı sürece hiçbir şeye inanmamaktır. Gözleme giden keşif ekipleri, topladıkları verileri analiz ettikten sonra, referans fotoğraflarıyla karşılaştırdılar ve ardından standart hata değerlerini

tain edip, her şeyi bir kez daha gözden geçirdiler. Sıra artık sonuçları ilan etmeye gelmişti.

Kraliyet Astronomi Cemiyeti ile Londra Kraliyet Cemiyeti'nin 6 Kasım 1919'da yapılan özel toplantısında Dyson çıkarılan ana sonuçları sundu. Ardından Crommelin ile Eddington'un raporları dinlendi. Sobral'daki ölçümler, iyi görüntü alınabilmiş yedi adet yıldız dayanıyordu ve ışık eğimini $1,98 \pm 0,16$ ark derece olarak belirlemişti. Principe'den gelen değerlerin inandırıcılığı ise biraz daha azdı. Çünkü sadece beş yıldız gözlemlenebilmiş, yerel koşullar çok daha yüksek bir standart hataya yol açmıştı. Tüm bunlara rağmen, Eddington'un elde ettiği ışık eğimi değeri $1,61 \pm 0,40$ ark derece olarak hesaplanmıştı. Elde edilen iki değer de, Einstein'ın öngördüğü $1,74$ 'lük değer için iki standart hata payı sınırı içinde, Newtoncu değer olan $0,87$ 'nin ise iki standart hata değerinden daha uzağındaydı. Büyük ikramiyeyi Einstein kazanmıştı.

Bu özel toplantıya katılan bilim insanlarının tepkileri değişti. Bazıları bu kadar az sayıda yıldızdan elde edilen istatistiki değer-

lerin güvenilirliğini sorgularken, Ludwick Silberstein gibi bazıları ise katılımcıları uyardılar. Silberstein, toplantı salonunda asılı bulunan Newton'un portresini işaret edip, "Şu büyük adama olan borcumuzdan dolayı, yerçekimi yasasında değişiklik yapmak veya rötuşlamak için çok dikkatli olmalıyız," dedi. Toplantı başkanı ve elektronun kâşifi ünlü Profesör J.J. Thomson ise sonuçtan tatmin olmuştu: "Newton'dan bu yana yerçekimi kuramıyla ilgili olarak edilen en önemli bulgu budur."

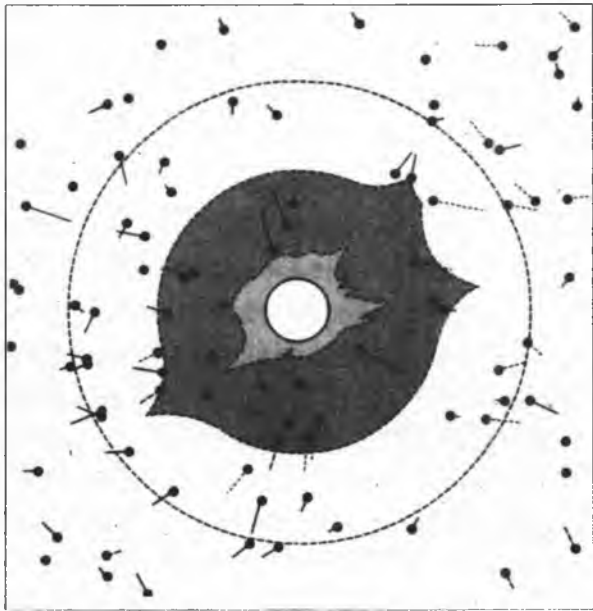
Einstein, İngiliz keşif ekiplerinin elde ettiği bulguları Kasım 1919'daki resmi açıklamadan daha önce öğrenmiş ve 27 Eylül'de annesine yolladığı bir kartta heyecanlı bir dil kullanmıştı:

... bugün sevindirici haberler aldım. H.A. Lorentz'in yolladığı telegrafa göre, İngiliz keşif ekibi, yıldızlardan gelen ışığın Güneş tarafından eğimini başarıyla ölçebilmiş.

Einstein daha sonra o günkü heyecanını, dostu ve meslektaşı ünlü fizikçi Max Planck hakkında şaka yollu bir açıklama yaparak saklamaya çalışmıştı:

Tanıdığım en iyi insanlardan biriydi ... fakat fiziği gerçek anlamda anlamamıştı, [çünkü] 1919'daki güneş tutulması sırasında bütün gece uyumamış ve ışığın yerçekimsel bir alanda eğilip eğilmeyeceğinin kanıtını beklemişti. Eğer [genel görelilik kuramını] gerçekten anlamış olsaydı, benim gibi rahatça yatağına girip uyuyabilirdi.

1922 yılında Avusturalya'da gerçekleşen başka bir güneş tutulmasında da çeşitli deneysel gözlemler yapılmış ve yıldızların görünürdeki konumlarını değiştirdikleri çok daha iyi istatistikî verilerle saptanmıştı. Yine de bu gözlemler sırasındaki standart hata payı 1919'dakilerle neredeyse aynıydı: yaklaşık 0,20 ark derece. Işık eğilmesi gözlemleri 1950'lere kadar optik teleskoplar kullanılarak devam ettiyse de, standart hata payında ciddi bir düşüş sağlanamadı. Çünkü yıldızların yer yüzünden gözlemlenmesi sırasında dünya atmosferi mevcut verileri çarpıtiyordu. Daha yakın zamanlarda ise görünür ışık değil, radyo dalgaları kullanılmıştır. Radyo dalgaları görünür ışıktan farklı olarak dünya atmosferinde dağılıp saçılmamaktadır. Öte yandan



Şekil 7: 1922 yılındaki güneş tutulması sırasında Campbell ve Trumper tarafından ölçülen yıldızların görünürdeki yer değişimi. 1919 yılındaki gözlemler sırasında elde edilen fotoğraflar, burada yeniden basılamayacak kadar yetersiz kalitede olduğundan, bu çizim onlara benzeyen 1922 yılındaki fotoğraftan alınmıştır. Ortadaki dairede Güneş, çevresindeki gri alanda ise Güneş koronası yer almaktadır. Koronaya çok yakında bulunan yıldızları ölçüm için kullanmak mümkün değildir. Öteki yıldızların tespit edilen görünürdeki yer değiştirmeleri ise kısa çizgilerle gösterilmiştir (ölçeğe göre değildir).

radio dalgaları yayan kaynaklara göre yapılan ışık eğimi ölçümlerinde güneş tutulmasını

beklemeye de gerek yoktur. Örneğin her yıl, çok uzakta bulunan bir radyo dalgası kaynağı olan 3C279 nolu kuasar Güneş'in arkasından geçmekte ve ölçülebilir bir eğilme değeri ortaya çıkarmaktadır. Bu şekilde yapılan ölçümler de Einstein'ın öngördüğü değerleri doğrulamaktadır.

Dahası, genel görelilik kuramının diğer öngörülleri de (yerçekimsel zaman uzaması, yerçekimsel kırmızıya kayma, ikili pulsarlar da yörüngesel dönme, Merkür gezegeninin yörüngesinin değişmesi, vb.) yapılan gözlemlerle uyum içindedir. Tüm bu öngörüler fiziksel ölçümlerle belirlenmiş olup, hepsi de Einstein'ın kuramın doğrular niteliktedir. Hatta günümüz astronomları söz konusu kuramsal temellerden o kadar emindirler ki, ışık eğilmesinin bizatihi kendisi bile bir ölçüm aracı olarak kullanılır olmuştur. Örneğin uzaktaki bir galaksinin odaklama etkisi, arka alanda kalan kuasarlara benzeyen gök cisimlerinin görüntülerinde çoğalmaya neden olmaktadır. Bu fenomene yerçekimsel odaklama da denir. Bu fenomenden yararlanarak, gözlemlenen galaksiler hakkında değerlendirmelerde bulunmak, kütlelerini tahmin etmek ve hatta ev-

renimizin sonlu mu sonsuz mu olduğuna dair kestirimler yapmak mümkündür.

1919 yılındaki güneş tutulması keşifleri, bilimsel çevrelerin Einstein'ın genel görelilik kuramını yavaş yavaş kabul etmesini sağlamıştır. Bu kuram, artık her yeni fizikçinin eğitiminin vazgeçilmez bir parçasıdır ve yerçekimine ilişkin çeşitli fenomenleri açıklayabilme açısından elimizde bulunan kuramların halihazırdaki en iyisi olarak görülmektedir. Ayrıca 1919'daki olaylar, Einstein'ı haklı olarak yüzyılımızın en önemli düşünürlerinden birisine, kuramsal fizik alanının ender insanları arasından çıkartıp, popüler kültür dünyasının etkili bir simasına çevirmiştir. Peki, tüm bunlar nasıl olmuştur?

Put Olarak Einstein

Einstein'ın adı ve görelilik kuramı, özellikle Alman gazetelerinde, yukarıdaki güneş tutulmasıyla ilgili tarihlerden önce de geçmiştir. Örneğin kendisi 1914'te *Die Vossische Zeitung*'da bu konuda bir yazı yazmıştı. Ama 1919'daki Kraliyet Cemiyeti toplantısının açıklamasından sonra gazetelerin göste-

receği ilgiyi önceden tahmin etmesi bile olanaksızdı. Çok iyi bir Einstein biyografisi yazmış olan Abraham Pais'in belirttiği üzere, *New York Times* gazetesinin endeksine bakılırsa, 9 Kasım 1919'dan önceki sayılarda Einstein'ın adına bile rastlanmazken, o tarihten 1955 yılındaki ölümüne dek Einstein'ın adının anılmadığı hiçbir yıl yoktur.

7 Kasım 1919 tarihli *The London Times* gazetesi, Kraliyet Cemiyeti'nin toplantısı hakkında uzun bir yazı yayınlamış ve şöyle bir başlık atmıştı: "BİLİMDE DEVRİM. YENİ EVREN KURAMI." İki gün sonra *New York Times*'da şöyle bir manşet vardı: "GÖKLERDEKİ BÜTÜN IŞIKLAR BÜKÜLÜYÖR." Üstelik bu ilgi saman alevi gibi gelgeç değildi. Her gün dünyanın dört bir yanında bu konuda yazılar çıkıyor, Einstein ve kuramı hakkında açıklamalar yapılıyordu. *The London Times* bizzat Einstein'dan bir yazı yazmasını istemiş, o da bu öneriyi "büyük bir zevk ve heyecanla" kabul etmişti. Basın yavaş yavaş "dahi" ve "kahraman" Einstein imajını kurmaya, onu, sade insan ile dâhiyi birbirinden ayıran entelektüel uçurumun öteki yakasına yerleştirmeye başlıyordu. Sonuçta Einstein,

neredeyse bir aziz mertebesine yükselip, ef-sanevi bir karaktere dönüştü.

Bu büyük ilginin bir kısmı Eddington'a da sıçramış, Cambridge'de Einstein'ın kuramı hakkında verdiği bir dizi derslere yüzlerce kişi katılmıştı. Eddington, yeni kuramın İngiltere'deki en ateşli savunucularından birisi olurken, Cambridge ve dışındaki pek çok üniversitedeki bir kuşak astrofizikçiye ilham kaynağı olacaktı. Yine de Albert Einstein'a gösterilen ilgiyle karşılaştırıldığında tüm bunlar çok sönük kalıyordu.

Günümüzde hiçbir bilim insanı Einstein'ın ününü kıskanmıyor. Onun geliştirdiği fikirler akıllara durgunluk vericiydi. Bir dâhiyi nite-lendiren her şeye sahipti. Yine de, neredeyse bir aziz mertebesine yükselmesinde bilimsel çalışmalarının ayrı bir yeri bulunduğu doğru olsa bile, kamuoyunun Einstein'a gösterdiği ilgiyi sadece bu çalışmalarla açıklamak mümkün değildir.

Bu süreçte rol oynayan faktörlerden birisi, 7 Kasım 1919 tarihli *The London Times*'ta çıkan diğer haberlere bir göz atıldığında rahatlıkla açıklığa kavuşur. Güneş tutulmasıyla ilgili haberin yer aldığı aynı sayfada, şu

başlıkları taşıyan haberler de bulunmaktadıdır: "MÜTAREKENİN VE BARIŞ ANTLAŞMASININ MADDELERİ", "ALMANLAR PARİS'E ÇAĞRILDI", "YENİDEN İNŞA FAALİYETİ SÜRÜYOR" ve "SİRBİSTAN'DA SAVAŞ SUÇLARI". Korkunç bir savaştan yorgun düşüp savaşın etkisini hâlâ hissedenden bir dünya için, bu şirin, küçük adam ve onun çılgın kuramları (fikir ve görüşleri sıradan insanların anlayış kapasitesini çok aşsa bile) hoş bir gündem değişikliği demekti. Ayrıca Britanya ile Almanya arasındaki uyumu sağlayacak bir olaydı. Einstein *Times*'a yazdığı makalede, bilimin ulusal sınırları aştığını, siyasetçilerin bilim insanlarını örnek alarak onlar gibi davranmaları halinde Avrupa'nın yaşadığı ölçüdeki anlamsız yıkımların bir daha tekrarlanmayacağını vurgulamıştı.

Einstein fenomeninin daha insani bir yönü de vardı. Bizzat Einstein'ın sergilediği imaj, kamuoyunun bir bilim insanının nasıl olması gerektiğine ilişkin beklentilere tıpatıp uymaktaydı. Einstein, tam anlamıyla doğuştan gelen bir klişeye uygundu; dalgın profesör stereotipini sergiliyordu. Her an hatırlanabilecek se-

vimli çehresi, saygın kişisel davranışları ve sembol niteliği taşıyan görünümüyle, insanların “en sevdiği amca” tipindeydi. Bir dâhi olduğu halde kendini beğenmiş değildi. Siyasal görüşleri ve çok konuşulan pasifizmi, Einstein ile Avrupa’yı feci bir savaşa sokan kurulu düzeni ayıran bir göstergeydi. Hatta Newton’un yerçekimi yasasının yıkılması bile eski düzene indirilmiş sıkı bir yumruk diye değerlendiriliyordu. Einstein, kamuoyunun ihtiyaç duyduğu bir boşluğu doldurmuştu.

Einstein dışında dünya çapında bu kadar tanınan tek fizikçi, İngiliz kuramcı Stephen Hawking’dır. Hawking örneğinde de kişisel bilimsel başarılar hikâyenin sadece bir bölümünü oluşturur. Hawking’in bir kültürel put olarak ortaya ıkışı Einstein’ın durumuna çok benzese de, Hawking’in temsil ettiği klişe farklıdır: sakat bir bedene hapsedilmiş parlak bir beyin. (Hawking yirmili yaşlarından itibaren bir tür motor nöron hastalığına yakalanmıştır.) Yalnız Hawking ile Einstein arasında ciddi bir fark vardır: Hawking sanılanın aksine modern fizik dünyasının odağında yer almaz. Ayrıca henüz Hawking’in

kuramlarının doğrulanıp, onu Einstein'ınki ne benzer bir yere kavuşturacak kadar zaman geçmiş değildir.

Basın, Bilim ve Hakikat

Bundan birkaç yıl önce BBC için kozmoloji üzerine bir program çekiliyordu ve benden bu konudaki görüşlerimi sormuşlardı. Söyleşiyi yapan kişi basit bir soru yöneltmişti: Kamuoyunun anlayamayacağı kadar uzaktaki bir alanda da bilimsel çekişme ve tartışmalar var mıdır? Sıradan insanlar hangi tarafın haklı olduğuna nasıl karar verebilir? Şaşırmıştım. Daha sonra program yayınlandığında sadece kafamı kaşıdığım ve yanıtı gerçekten bilmediğimi söylediğim kısım verildi. Arkadaşlarımla birlikte çok eğlenmiştik. O tarihten sonra bu konu üzerinde uzun uzun düşündüm. Doğrusu, yanıtı hâlâ bilmiyorum. Nihayet bunun yanlış bir soru olduğuna karar verdim.

Bilim "doğrular" ve "yanlışlar"la uğraşmaz. Gerçeklik tarifleriyle uğraşır. Bu tarifler ya "faydalı"dır ya "faydasız". Güneş tutul-

masını inceleyen keşif ekibi Newton'un yerçekimi kuramının "yanlış" olduğunu kanıtlamış değildir. Sadece bazı fenomenlerin söz konusu kuramca tarif edilemediğini, daha karmaşık bir kurama ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Newton'un kuramı her şeye rağmen pek çok durum karşısında (tam güneş tutulmalarının önceden hesaplanması gibi) mükemmel bir araç olma özelliğini korumaktadır. Bir kuramın çok geniş bir olaylar yelpazesi içinde faydalı olduğu gösterilmişse, dünyamıza ilişkin standart modelimizin bir parçası haline gelir. Yine de bu, kuramın doğru olduğunu göstermez. İleride ortaya çıkacak başka kuramların daha başarılı olma ihtimali her zaman vardır. Örneğin genel görelilik kuramının yerine başka bir yerçekimi kuramının geçmesine neden olacak bazı fiziksel fenomenler ortaya çıkabilir. Günümüz fizikçileri, Einstein'ın kuramının, maddenin çok küçük ve yoğun olduğu, kuantum etkisinin ön plana çıktığı durumlarda çöktüğünü bilirler. Zaten bizzat Einstein da kuramının böyle bir durumla karşılaşabileceğinin farkındaydı.

Elinizdeki bu kitap için malzeme toplarken, 1919 yılındaki olaylar ile 1999 yılı gazetelerinde benzer konularda çıkan haberler arasındaki paralellikler beni çok şaşırttı. 1999 yılı Ocak ayında gazetelerde yer alan olaylardan birisi, bir uluslararası astronomlar grubunun patlayan yıldızlarla (süpernovalar) ilgili keşfiydi: Uzaktaki süpernovalar öngörülenden çok daha az ışıldıyordu. Sözü uzatmadan söyleyecek olursak, bu keşfin anlamı, o yıldızların düşünülenden daha uzakta olduklarıydı. Evrenimiz genişliyor ve bu genişleme zaman geçtikçe artıp hızlanıyordu. Başka bir deyişle, evrenimiz hızlanarak genişlemektedir. Elimizdeki modern kuramların böyle bir ivmelenmeyi açıklayabilmesi için, uzay boşluğunu dolduran ilave bir enerji kaynağının daha bulunduğunu iddia etmek gerekir. Dolayısıyla, söz konusu gözlemlerin temel fizik üzerinde derin etkileri olacağı düşünülmektedir.

Her zaman olduğu gibi basın bu gözlemleri çıplak gerçekler diye sunuyor. Ancak bir astrofizikçi olarak biliyorum ki, süpernovalarla ilgili gözlemlerin astronomi çev-

relerince hiç şüphe duyulmadan karşılanması olanaksızdır. Pek çok bilimsel toplantıda bu bulgularla ilgili hararetli tartışmalar yürütüldüğünden bilimsel geçerlilikleri henüz kesinlik kazanmamıştır. Aslına bakılırsa, bundan birkaç yıl önce, aynı uluslararası ekip o zaman ellerinde bulunan eski verilere dayanarak şimdiki görüşünün tam tersini savunuyordu. Anlaşılan medya, bilimi gerçekte işlediği gibi yansıtip sunmaktan hoşlanmıyor: Bilim, yoğun tartışmaların yaşandığı, her görüşün mümkün olduğunca hatalardan arındırılmaya çalışıldığı bir arayış zeminidir. Basının derdiyse, bilim insanlarını fetva veren birer din adamı gibi sunmak. Kuram ne kadar ezoterikse, uzman olmayanların kavrayışları o kadar aşıl-makta ve sözde din adamı o kadar yüceltil-mektedir. Kamuoyu *bilmek* istemez, *inanmak* ister.

1919'daki durum da buna çok benzerdi. Sobral ve Principe'den gelen sonuçlar başka bağımsız gözlemlerle (süpernova gözleminde olduğu gibi) doğrulanmadığı halde, kamuoyuna çok önemli bir kesin açıklama ve kanıt olarak sunulmuştu. Tutulmalarla ilgili

gözlemlerin daha sonra doğrulanmış olması buradaki tartışmamız açısından çok önemli değildir. Önemli olan, basındaki bu tür haberlerin bilim insanlarını en azından bir süreliğine din adamı mertebesine yükseltmesidir. Oysa bilim insanlarının yaptıkları ile kamuoyunun bilim insanlarının ne yaptığına ilişkin görüşleri arasındaki uçurum bu şekilde kapatılamaz. Bazen modern bilim insanları bu oyuna bizzat katılmakta, elde ettiği bulguları tek taraflı olarak basma aktarmakta, böylece çok acımasız bir bilimsel rekabet ortamı içinde gerekli mali kaynaklara kamuoyu baskısı yaratarak kavuşmak istemektedirler. Böyle bir davranışın belki kısa vadede yararı dokunur, fakat uzun vadede bilim ile toplum arasındaki ilişkiyi gölgelemekten başka bir işe yaramayacaktır. Bilim, bir din olmadığı gibi, din olduğunu ima dahi etmemelidir.



Albert Einstein'ın en iyi biyografisi için bkz. Pais, A., *"Subtle is the Lord ..."* *The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford: Oxford University Press, 1992.

Einstein'ın hayatını, teknik konulara daha az girerek anlatan bir kaynak için bkz. Hey, T. ve Walters, P., *Einstein's Mirror*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

Eddington'un hayat hikâyesi için bkz. Douglas, A.V., *The Life of Arthur Stanley Edding-*

ton, Londra: Thomas Nelson and Sons, 1957.
Chandrasekhar, S., *Eddington. The Most Distinguished Astrophysicist of His Time*, Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

Sobral ve Principe'ye yapılan keşif gezilerinin bilimsel sonuçları ile orijinal fotoğraflarından birinin yer aldığı bir eser için bkz. Dyson, F.W., Eddington, A.S. ve Davidson, C., *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Seri A, Cilt 220, s. 291-333, Londra: 1920.

Işığın eğilmesi ölçüleriyle ilgili ayrıntılı bir teknik araştırma ve Einstein'ın kuramının test edildiği diğer deneyler hakkında bkz. Bertotti, B., Brill, D.R. ve Krotkov, R., "Experiments on Gravitation", *Gravitation: An Introduction to Current Research* içinde, der. L. Witten, s. 1-48, New York: John Wiley and Sons, 1962.

Bu konuda İnternet'te birçok güzel resim, film ve genel bilgi içeren şu siteye bakılması da önerilebilir:

<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>



Işığın Eğilmesi

Işık iki nokta arasında en kısa yoldan ilerler. Düz bir uzayda bu yol düz bir çizgidir. Fakat bükülmüş bir uzayda bükülmüş olacaktır. Bu şekilde, kütlesi büyük olan bir cismin, örneğin Güneş'in, yanından geçen ışığın eğilmesini ölçmek mümkündür. Güneş'e uzak noktalarda uzay neredeyse düz olduğundan, ışık hemen hemen düz bir hat üzerinde ilerler. Fakat Güneş'in yakınındaki

noktalarda uzay bükülmüştür. Dolayısıyla, buradan geçen bir ışık huzmesinin izlediği hat bir miktar eğilir. Güneş'in arka planında kalan yıldızları gözlemlediğimiz takdirde, konumlarına ilişkin elde ettiğimiz değerlerin, Güneş'in gökküre üzerinde başka bir noktada bulunuyorken ölçülen değerlerden farklı olduğu saptanır. Bu fark çok küçük olsa da ölçülebilir büyüklüktedir. Yıldızlardan gelen ışığın eğilmesi ölçülerek uzayın gerçekten bükülmüş olduğuna ilişkin kuvvetli kanıtlar elde edilebilmiştir.

Bükülmüş Uzay

Einstein'ın genel görelilik kuramının sonuçlarından birine göre, kütlesi fazla olan bir cisim kendi çevresindeki uzayı bükmektedir. Newtoncu görüşte uzay "düz"dür, yani geometri ve trigonometri yasaları her zaman her yerde geçerlidir. Bir üçgenin iç açılarının toplamı daima 180 dereceye tekabül eder. Halbuki Einstein'a göre, bir cismin çevresindeki uzay düz olmadığından, aynı yasalar buralarda geçerli

değildir. Bükülmüş uzaya dair gösterilebilecek basit bir benzetme için, lastik bir yüzeyin gerilerek iki yana doğru çekilmesini hayal edebiliriz. Elimdeki bu lastik Newtoncu uzayı temsil edecektir (örneğimizde üç yerine iki boyuttan bahsettiğimiz gözden kaçırılmamalıdır). Yüzeyin üzerine bir ağırlık konduğunda lastik tam o noktada aşağıya doğru bükülür. Genel görelilik kuramının öngördüğü bükülmüş uzay tam da buna benzer.

Einstein'ın Görelilik Kuramı

Görelilik kuramı yalnızca görelî hareketin ölçülebilir olduğu fikrine dayanır. Einstein'ın kuramı birtakım önemli sonuçlar doğurmanın yanı sıra, Newtoncu dünya görüşünü derinden sarsmıştır. Uzay ve zaman artık mutlak değerler olarak görülmez; bunlar ölçümü yapan kişinin konumu ve hareketine bağlı olmaktadır. Hareket halindeki saatler daha yavaş ilerlerken, hareket halindeki cetveller de daha kısa görünür. Uzay ve zaman mutlak olmayıp, dört boyutlu "uzay-zaman" içeri-

sinde birbiriyle kaynaşmaktadır. Tüm bunlar, 1905'te yayınlanan ve sadece sabit hızlara sahip hareketlerle ilgilenen "özel" görelilik kuramının sonuçlarıdır. Daha sonra yayınlanan "genel" görelilik kuramı (1915) ise, ivme ve yerçekimi etkenlerinin de kurama dahil edilmesiyle son şeklini almış ve uzay-zamanın bükülmüşlüğü saptamasını ortaya atmıştır. Genel görelilik kuramında, uzay-zamandaki hareketler, bizatihi uzay-zamanın özelliklerini etkilemektedir. Uzay ve zaman Newtoncu mekanikte pasif durumlar, genel görelilik kuramında doğası gereği dinamiklerdir.

Işık ve Enerji

Işık elektromanyetik ışınımın bir biçimidir (radyo dalgaları ya da x-ışınları gibi). Böylesi bir ışınım, saf enerjiden oluşan küçük paketlerden ("fotonlar") meydana gelir. Bu küçük paketler bazı hallerde birer parçacık gibi davranırsa da, maddi parçacıklardan farkları kütlelerinin olmayışıdır. Newtoncu mekaniğe göre, bunlar yerçekimi kuvvetinin et-

kisine tabi olmaması gerekirken, görelilik kuramında enerji ile kütle arasında eşitlik söz konusudur. Bu eşitlik şu ünlü denklemle gösterilir: $E=mc^2$. Einstein'ın genel görelilik kuramında bu ifadenin anlamı, ışığın da kütleli cisimler gibi yerçekimi kuvvetine tabi olduğudur.

Newtoncu Mekanik

Sir Isaac Newton on yedinci yüzyılda meydana gelen bilimsel devrimlerde önemli ve etkili bir rol oynamıştır. *Principia* isimli ünlü kitabında hareketin matematiksel yasalarını ortaya koyarak evrensel yerçekimi yasasını formüle etmiştir. Newton'un tarif ettiği mekaniğin işlediği alan mutlak- tır. Örneğin "uzay", değişmez bir fon gibidir. Tüm cisimler bu fona göreli olarak hareket eder ve birbirlerine nüfuz ederler. Böyle bir uzay Öklid'in geometri yasalarıyla kusursuz biçimde açıklanabilmektedir. Öte yandan zaman da mutlak- tır, evrensel- dir ve cisimlerin uzay içindeki hareketin- den bağımsızdır.

Tam Tutulma Hattı

Güneş tutulması sırasında Ay'ın gölgesinin yeryüzüne düştüğü hatta bu isim verilir. Bu hat üzerindeki gözlemciler, Güneş'i tam tutulma halinde izlerler. Tam tutulma hattı birkaç yüz kilometre uzunluğundadır. Dünya kendi eksenini çevresinde döndüğünden, söz konusu hat üzerindeki Ay'ın gölgesi de hareket eder ve yeryüzü üzerinde karanlık bir şerit halinde iz bırakır. İşte *tam tutulma hattı* denilen şey budur. Tam tutulma hattı üzerindeki gözlemciler tam güneş tutulmasını gözlemledikleri halde, hattın dışındakiler ya kısmi bir tutulma izleyebilecekler ya da onların bulunduğu noktada tutulma hiç gerçekleşmeyecektir.

Tutulma Türleri

Güneş tutulması, Ay'ın Güneş ile Dünya arasında oluşan düz bir çizginin arasına girmesi ve gölgesinin yeryüzüne düşmesiyle meydana gelir. Bu sırada Dünya-Ay-Güneş sisteminin oluşturduğu geometri doğru ve

yeryüzündeki gözlemci uygun bir noktada bulunuyorsa tutulma *tam* olur, yani Güneş diski Ay diski tarafından tamamıyla örtülür. Daha yaygın biçimde gözlemlenen başka bir örnek *kısmi* tutulmadır. Bu durumda Ay diski, Güneş diskini tam örtmez. Bazı durumlarda, Ay diski Güneş diskinden daha küçük görünür ve Güneş diskini halka şeklinde örter. Buna da *halkalı* tutulma denir. *Ay* tutulması ise, Güneş ile Ay'ın oluşturduğu düz bir çizginin arasına Dünya'nın girmesiyle oluşur. Bu durumda Dünya'nın gölgesi Ay'ı tamamıyla örter ve Ay'ın görünürdeki rengini değiştirir.



**Milenyumdan psikanalize, kuantum
kuramından kaçıklık kuramına kadar
bir dizi temayı işleyen**

***Postmodern Hesaplaşmalar* serisi,
her biri çağdaş düşüncenin keskin ucunda
duran anahtar bir fikri ele alan ve yirmi
birinci yüzyıl düşüncesinin temellerini
atmış paradigmatik düşünür ve beyinlerin
yaklaşımlarını anlaşılır bir dille ortaya
koyan kitaplardan oluşmaktadır.**

**"Bilim, bir din olmadığı gibi, bunu ima
dahi etmemelidir."**

P. Coles

