

Fizik Yasaları Üzerine

RİCHARD P. FEYNMAN

20. yüzyılın önemli fizikçilerinden olan Richard Feynman (1918-1988), 1940'lı yılların sonlarında yüklü parçacıkların etkileşimini tanımlayan görelî kuantum kuramına ve kuantum elektrodinamiğine önemli katkılar yapmıştır. 1965 yılında Amerikalı Julian Schwinger ve Japon Sin-İtiro Tomonaga ile beraber Nobel Ödülü kazanmıştır. Sıvı helyumun mutlak sifıra yakın sıcaklıklardaki davranışlarını açıklamış ve temel parçacıklar kuramında yeni gelişmelere imza atmıştır. 1963'te yayınlanan üç ciltlik 'Fizikte Feynman Dersleri' isimli eseri o günden beri öğrenciler kadar, öğretmenler ve araştırmacı fizikçilerin de ilgisini çekmektedir.

NERMİN ARIK (1928-2005)

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Matematik Bölümü'ne yıllarca hizmet veren Nermin Arık, burslu olarak gittiği Glasgow Üniversitesi'nin Elektrik-Elektronik Bölümü'nden 1954'te mezun oldu ve 1963'te de George Washington Üniversitesi'nin Matematik Bölümü'nden yüksek lisans derecesini aldı. TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları dizisinin oluşturulma sürecine büyük emeği geçmesinin yanısıra bu diziden sayısız kitabı dilimize kazandı ve yine TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi için çeşitli makaleler yazarak çeviriler yaptı.

Fizik Yasaları Üzerine

© 2012, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

The Character of Physical Law

© 2011 by the President and Fellows of Harvard College

Kitabın Türkçe yayın hakları **Akcalı Ajans** aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında hiçbir yöntemle çoğaltılamaz.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankoçak

Kapak Tasarımı Ferah Perker

Grafik Uygulama Mürüvet Durna

ISBN 975-403-018-9

1. Basım: Mart 1995

6. Basım: Ekim 2012

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Ticarethane Sokak No: 53 34110 Cağaloğlu İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 10905

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 12088

FİZİK YASALARI ÜZERİNE

Richard P. Feynman

Çeviri: Nermin Arık

İçindekiler

Cornell Üniversitesi Rektörü Dale R. Corson'un 1964 Messenger Konuşmacısını Takdimi.....	11
Giriş	15
1 Fizik Yasalarına Bir Örnek: Kütleçekim yasası	17
2 Matematik ve Fizik Arasındaki Bağlantı	45
3 Büyük Korunum İlkeleri	71
4 Fizik Yasalarında Simetri	99
5 Geçmiş ile Geleceği Ayırt Etme	125
6 Olasılık ve Belirsizlik Kuantum Mekaniği Açısından Doğa	145
7 Yeni Yasalar Arayışı.....	169

ÖNSÖZ

Bu kitabı oluşturan yedi bölüm Amerika Birleşik Devletleri'nin Cornell Üniversitesi'nde verilmiş olan Messenger Konferansları'nı kapsamaktadır. Bu konferanslar "Fizik Yasalarının Ortak Özellikleri" konusundaki bilgilerini genişletmek isteyen öğrencilerden oluşmuş bir dinleyici kitlesine verilmişti. Konferanslar önceden hazırlanmış bir metne göre değil, doğaçlama, sadece birkaç nottan yararlanılarak gerçekleştirilmişti.

Messenger Konferansları bir matematik profesörü olan Hiram J. Messenger'in, dünyanın çeşitli yerlerinden ünlü kişilerin Cornell'deki öğrencilere konuşma yapmalarını sağlamak amacıyla bir bağışta bulunduğu 1924 yılından bu yana her yıl verilmektedir. Bu bağışı yaparken Messenger amacını şöyle belirtmiştir: "Uygarlığın gelişimi konusunda, özellikle politika, iş ve sosyal yaşantımızda manevi standartları yükseltmek amacıyla bir ders veya bir dizi ders verilmesini sağlamak."

Kasım ayında, seçkin bir fizikçi ve eğitimci olan Profesör Richard P. Feynman 1964 konferanslarını vermek üzere buraya davet edildi. Kendisi daha önce Cornell'de profesör olarak bulunmuştu. Şimdi ise California Teknoloji

Enstitüsü'nde (*California Institute of Technology*) fizik profesörüdür. Yakın zamanda Royal Society'nin¹ Yabancı Üyeliği'ne seçilmiştir. Sadece fizik yasalarının bugünkü anlamına yaptığı katkılarla değil, konusunu fizikçi olmayanlara da ilginç kılma yeteneği ile ünlüdür.

Bu kitabın bölümleri, Profesör Feynman'ın, kendisine sınırsız konuşma olanağı sağlayan büyük bir sahnedeki kalabalık bir dinleyici topluluğuna yaptığı konuşmaların yazıya dökülmüş şeklidir. Konuşmacı olarak uluslararası üne sahip olan Feynman, kürsüdeki heyecanlı üslubu ile tanınmıştır. Bu kitap, konferansları izleyip de ileride onlara başvurmak isteyen televizyon seyircileri için kalıcı bir kaynak olarak düşünülmüştür. Bir ders kitabı olarak algılanmaması gerekir; ancak öne sürdüğü tartışmalar, yasaları daha net bir şekilde kavramak isteyen fizik öğrencileri için de aydınlatıcı olacaktır.

Richard Feynman, Philip Daly'nin *Man at the Heart of the Matter* (*Maddenin Özündeki İnsan*) programında yer alan fizikçilerden biri olarak ve son bilimsel keşifler hakkında 1964'te yayınlanmış son derece ilginç programlardan biri olan *Strangeness Minus Three* (*Acaiplik Eksi Üç*)'ye yaptığı büyük katkı dolayısıyla, BBC-1 izleyicilerinin yabancıları değildir.

Messenger Konferansları'nın Profesör Feynman tarafından verilmesi kararlaştırıldığında BBC'nin Science and Features (Bilim ve İlginç Konular) Bölümü harekete geçti. Bu konferans dizisi şimdi BBC-2'de ileri Eğitim Projesi'nin bir bölümü olarak yayınlanmaktadır. Program daha önce görelilik konusunda Morrison ve termodinamik konusunda Porter tarafından verilen konferanslar doğrultusunda devam etmektedir.

Okuyacağınız metin konferansların yazıya dökülmüş şekli olup bilimsel doğruluk yönünden Profesör Feynman

1 Royal Society: 1660'da kurulmuş, İngiltere'nin en eski bilim derneği -çn.

tarafından gözden geçirilmiştir. Ben ve asistanım Fiona Holmes sözcükleri derleyip yazı şekline dönüştürdük. Kitabı beğeneceğinizi umarız. Richard Feynman ile çalışmak bizim için doyurucu bir deneyim olmuştur; izleyici ve okurların bu projeden yararlanacaklarını sanıyoruz.

Alan Sleath,
BBC Dış Yayınlar,
Bilim ve İlginç Konular Bölümü Prodüktörü,
Haziran 1965

BBC, Cornell Üniversitesi Haber Bürosu'na Resim 2'nin; California Teknoloji Enstitüsü'ne de Bölüm l'de kullanılan diğer resim ve çizimlerin yayınlanmasına izin verdikleri için teşekkür eder.

Profesör Feynman'ın çalışmalarını daha ayrıntılı olarak incelemek isteyen öğrencilere, rektörün takdim konuşmasında sözettiği kitapların California Teknoloji Enstitüsü tarafından The Feynman Lectures in Physics (Feynman Fizik Dersleri) başlığıyla yayınlandığını duyururuz.

**Cornell Üniversitesi Rektörü
Dale R. Corson'un 1964 Messenger
Konuşmacısını Takdimi**

Bayanlar, Baylar. California Teknoloji Enstitüsü'nden Profesör Richard P. Feynman'ı Messenger Konferansçısı olarak takdim etmekten onur duyarım.

Profesör Feynman seçkin bir teorik fizikçidir ve fiziğin savaş sonrası dönemdeki olağanüstü gelişimi sonucu ortaya çıkan karmaşaya bir düzen getirme konusunda çok şeyler başarmıştır. Kendisine verilen ödül ve payeler arasından ben yalnızca 1964 Albert Einstein Ödülü'nü zikredeceğim. Üç yılda bir verilen bu ödül, bir altın madalya ve büyük bir miktar para içermektedir.

Profesör Feynman lisans eğitimini M.I.T.'de (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü), lisansüstü eğitimini de Princeton'da yaptı. Princeton'da, Manhattan Projesi üzerinde, daha sonra da Los Alamos'ta çalıştı. 1944'de Cornell'e yardımcı profesör olarak geldi; kadrolu eleman olarak atanması ise savaş sonrasında gerçekleşti. Cornell'e atanması sırasında hakkında söylenmiş olan

şeylerin ilginç olacağını düşünerek Mütevelli Heyeti Tutanakları'nı inceledim; atanması konusunda hiçbir kayıt yok. Ancak izinler, ücret zamları ve terfilerle ilgili yirmi kadar kayıt buldum. Bunlardan biri ilgimi çok çekti. 31 Temmuz 1945'te Fizik Bölümü Başkanı, Beşeri Bilimler Dekanı'na şunları yazmış: "Dr. Feynman ender rastlanan olağanüstü bir eğitici ve araştırmacı." Bölüm Başkanı, böyle değerli bir öğretim üyesi için yılda üç bin doların biraz yetersiz olduğunu belirterek ücretinin dokuz yüz dolar artırılmasını önermiş. Dekan da, ender bir cömertlik göstererek, üniversitenin mali durumuna aldırmadan dokuz yüz doları çizip rakamı bin dolar yapmış. Görülüyor ki üniversitemiz daha o zamandan Profesör Feynman'ın değerini takdir etmiş bulunuyor! Profesör Feynman 1945'te fakültemizde sürekli olarak çalışmaya başladı ve çok verimli bir beş yılı böylece geçirdi. 1950 yılında Cornell'den ayrıldı ve o zamandan bu yana çalışmakta olduğu California Teknoloji Enstitüsü'ne gitti.

Konuşmasına başlamadan önce, sizlere onun hakkında biraz daha bilgi vermek istiyorum. Üç dört yıl önce Cal. Tech.'te vermeye başladığı fiziğe giriş dersleri, onun ününe yeni bir boyut ekledi (bu dersler iki cilt halinde basılmıştır ve konuya taptaze bir yaklaşım getirmektedir).

Bu basılmış ders notlarının giriş bölümünde Feynman'ın büyük bir mutlulukla bongo davulları çalarken çekilmiş bir fotoğrafı yer almaktadır. California Teknoloji Enstitüsü'ndeki arkadaşlarım, onun arada bir Los Angeles gece kulüplerine gidip davulcunun yerine çaldığını bana anlattılar. Ancak, Profesör Feynman bunun doğru olmadığını söylüyor. Bir başka özelliği de kilitli kasaları açmadaki ustalığıdır. Bir söylentiye göre, gizli bir kuruluştaki bir kasayı açıp gizli evrakı çıkardıktan sonra yerine "Bilin bakalım kim?" yazan bir not bırakmış. Bir konferans vermek üzere Brezilya'ya gitmeden önce İspanyolca

öğrenmesinden de söz edebilirim; ama etmeyeceğim.

Söylediklerimin sizlere yeterli bir ön bilgi verdiğini sanıyorum. Profesör Feynman'ı tekrar Cornell'de görmekten mutluyum. Genel konusu "Fizik Yasaları Üzerine"; bu geceki konusu ise "Fizik Yasalarına Bir Örnek: Kütleçekim Yasası".

Giriş

Bu kitap, biyolojide devrim olarak bilinen yaşamın temel gerçeklerini sunuyor. Bu devrime etkin katkısı olan bir kişi tarafından yazılmıştır. Yalnızca gerçekleri anlatmakla kalmayıp, yeni buluşlara katkıda bulunmanın sevincini, bu sevinçten kaynaklanan estetik zevki ve bilimsel çalışmaların yöntemini de inceliklerle çiziyor.

Bilimle uğraşmayanlar, bilimin, özellikle de biyolojinin çok ince eleyip sık dokuduğundan, ayrıntılarda çok karmaşık olduğundan ve konu dışındakiler tarafından zor kavrandığından yakınırırlar. Diğer yandan, bilim insanları, toplumun, temel araştırma bulgularının değerini çok az takdir ettiğinden, çok az ilgilendiğinden söz ederler. Her iki yakınma da yanlış düşüncelere dayanıyor. Dr. Hoagland'ın kitabıyla aradaki duvarın iki yüzü de onarılacaktır. Artık "canlı oluş" konusunda açık ve net bilgiye sahibiz ve bu bilgi, sahip olduğumuz kadarı ile oldukça anlamlıdır. "Sahip olduğumuz kadarı ile" deyimini önemli bir değerlendirme. Doğanın her yönüyle anlaşılmasından henüz çok uzağız. Anlamayı gereksindiğimiz şeylerin çoğu (örneğin insan düşüncesinin ve dilinin doğası veya

gelişmekte olan embriyon hücrelerinin doku mu yoksa organ mı olacağını yönlendiren mekanizmalar), halâ anlaşılammış durumda ve gidilecek yolumuz çok çok uzun.

Ama bir başlangıç yapıldı. Şimdi biyoloji alanında canlı, istekli, önlerinde araştırma için engel tanımayan bir sürü genç araştırmacı var. Heyecanlarının kaynağı ve iyimserliklerinin temeli olan canlı doğa, bu kitabın da konusunu oluşturuyor.

Lewis Thomas

Memorial Sloan-Kettering

Kanser Merkezi Başkanı

1

Fizik Yasalarına Bir Örnek: Kütleçekim Yasası

Sözlerime, bana her zaman tuhaf gelmiş olan bir şeyle başlayacağım. Kalabalık bir toplantıda bongo davulları çalmam istendiği ender zamanlarda, takdimci benim bir teorik fizikçi olduğumdan sözetmeye hiç gerek duymaz. Sanırım bunun nedeni, sanata karşı duyulan saygının bilime duyulandan büyük olmasıdır. Rönesans sanatçıları insanın temel uğraşının insan olması gerektiğini söylemişlerse de, dünyada ilginç başka şeyler de vardır. Sanatçılar bile günbatımının, okyanus dalgalarının ve gökyüzüne serpilmiş yıldızların güzelliğini fark ederler! Bunları gözlemek bize estetik bir haz vermeye yeter. Doğa olguları arasında da gözle görülmeyen, ancak analizci bir gözle bakıldığında fark edilebilen bir ritim ve düzen vardır. Bizim fizik yasaları dediğimiz de bu ritim ve düzenin ta kendisidir. Bu konferans dizisinde fizik yasalarının genel nitelikleri üzerinde durmak istiyorum. Bu, başka

düzeyde bir genelliktir; yasaların kendilerinden daha üst konumda olduğunu söyleyebileceğimiz bir genellik. Ele alacağım konu, ayrıntılı analizler sonucunda gördüğümüz doğa olacak; ancak, bu doğanın sadece en kapsamlı genel nitelikleri hakkında konuşacağım.

Bu ölçüde genellemeler içeren bir konunun felsefeye yönelme eğilimi vardır; konuşmalar 'derin felsefe yapmak' olarak algılanabilir. Ben daha özel bir yaklaşım seçerek, belirsiz olmayı değil, gerçekten anlaşılmayı tercih edeceğim. Bu ilk konferansta genellemeleri bırakıp özel bir fizik yasası üzerinde konuşacağım. Böylece de, daha sonra genel olarak üzerinde duracağım şeylerin bir örneğini vermiş olacağım. Bu örneği, çok soyut olarak algılanabilecek bir şeyi daha somut yapmak için, gerektikçe kullanacağım. Fizik yasalarına özel bir örnek olarak kütleçekim yasasını, kütleçekim olgusunu seçtim. Bu seçimi neden yaptığımı bilmiyorum. Bu, keşfedilen ilk temel yasalardan birisidir ve ilginç bir tarihçesi vardır. Şimdi bana şöyle diyebilirsiniz: "O eski bir hikaye; ben daha modern bilim hakkında bir şeyler duymak isterim." Belki 'daha yeni'den söz edilebilir; ama 'daha modern'den söz edilemez. Modern bilim, kütleçekim yasasının keşfi ile aynı geleneği izlemektedir. Bu nedenle, sadece daha yakın zamanlarda yapılmış keşifler hakkında konuşmuş oluruz. Kütleçekim yasasının kötü bir seçim olduğunu sanmıyorum; çünkü onun tarihini, yöntemlerini, keşfinin özelliğini, niteliğini anlatmakla bütünüyle modern bir yol izlemiş olmalıyım.

Bu yasanın, "insan zekasının gerçekleştirdiği en kapsamlı genelleme" olduğu söylenmiştir. Ancak daha önceki sözlerimden de, benim insan zekasından çok, kütleçekim gibi zarif ve yalın bir yasayla gerçekleşen bir doğa harikası ile ilgilendiğimi tahmin edebilirsiniz. Bu nedenle, onu keşfedecek kadar akıllı olduğumuza değil, doğanın onu dikkate alacak kadar akıllı olduğu konusuna eğileceğiz.

Kütleçekim yasası şudur: iki kütle, birbiri üzerine, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı ve kütlelerin çarpımı ile doğru orantılı olan bir kuvvet uygular. Bu önemli yasayı aşağıdaki matematik formülüyle ifade edebiliriz:

$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$

yani bir sabit sayı çarpı kütlelerin çarpımı bölü uzaklığın karesi. Şimdi buna bir de, bir kütlenin bir kuvvet etkisiyle ivme kazandığını veya hızının her saniye, kütlesiyle ters orantılı olarak değiştiğini veya kütle azalınca hızının daha fazla, kütleyle ters orantılı olarak değiştiğini eklersem kütleçekim yasası hakkında bütün gerekenler söylenmiş olur. Bunun ötesinde söylenecekler, bu iki şeyin matematiksel sonucundan ibarettir. Hepinizin matematikçi olmadığını ve bu iki şeyin bütün matematiksel sonuçlarını hemen göremeyeceğinizi biliyorum. Bu nedenle size keşfin öyküsü, bazı sonuçları, bilim tarihi üzerinde yaptığı etki, böyle bir yasanın içerdiği gizemler, Einstein'ın yaptığı bazı ufak değişiklikler ve biraz da diğer fizik yasaları ile ilişkisi konusunda kısaca bilgi vereceğim.

Tarihçe kısaca şöyledir: Eski bilginler gezegenlerin gökyüzündeki hareketlerini gözlemleyerek onların Dünya ile birlikte Güneş çevresinde döndüğü sonucuna vardılar. Bu sonuç daha sonra Copernicus tarafından da bağımsız olarak keşfedildi -insanlar keşfin daha önce yapıldığını unutmışlardı. Bundan sonra araştırılacak soru şuydu: Güneş çevresinde tam olarak nasıl dönüyorlardı? Güneş'in merkez olduğu bir çember üzerinde mi, yoksa bir başka eğri boyunca mı? Ne hızla hareket ediyorlardı? vb Bunların yanıtlanması daha uzun zaman aldı. Copernicus sonrası dönemler, gezegenlerin gerçekten Dünya'yla birlikte Güneş etrafında mı döndükleri, yoksa Dünya'nın evrenin merkezinde mi olduğu sorularının tartışıldığı

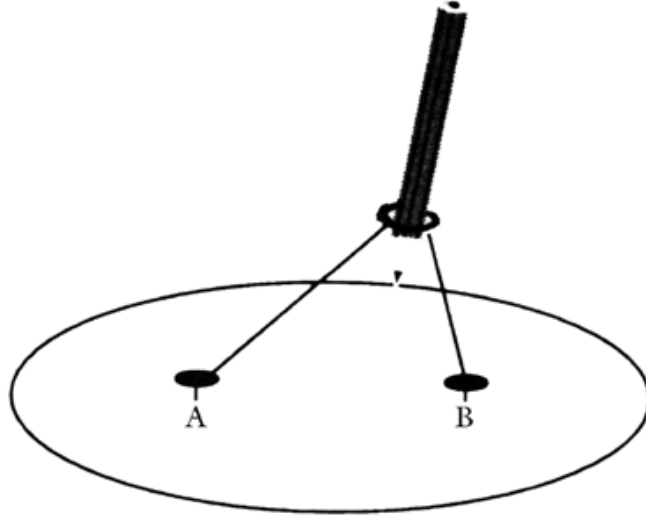
dönemlerdi. Daha sonra Tycho Brahe² adında bir adam, soruyu yanıtlamak için bir yöntem önerdi. Eğer gezegenler çok dikkatle gözlenip gökyüzündeki yerleri tam olarak kaydedilirse, teorilerin durumu belki açıklığa kavuşabilirdi. Bu, modern bilimin anahtarı ve doğanın gerçekten anlaşılmasının başlangıcı oldu: bir şeyi gözlemek, ayrıntıları kaydetmek ve bu bilgilerin şu veya bu yorumu çıkarılmayı sağlayacak ipuçlarını içerdiğini ummak. Zengin bir kişi olan Tycho'nun Kopenhag yakınlarında bir adası vardı. Buraya pirinçten yapılmış kocaman daireler yerleştirdi ve özel gözlem yerleri yaptırdı. Sonra, geceler boyunca gezegenlerin konumlarını kaydetti. İşte ancak bu tür yorucu ve yoğun çalışmalar yoluyla bir şeyler bulunabilirdi.

Toplanan bütün bilgi Kepler'in³ eline verildi; o da gezegenlerin Güneş etrafında ne tür bir hareket yaptığını incelemeye koyuldu. Bunun için deneme-yanılma yöntemini uyguladı. Bir ara yanıtı bulduğunu sandı: Gezegenler Güneş'in merkez olduğu çemberler üzerinde hareket ediyorlardı. Ancak daha sonra bir gezegenin, sanırım Mars'ın sekiz dakikalık bir yay kadar sapma yaptığını fark etti. Kepler, Tycho Brahe'nin bu ölçüde bir hata yapamayacağını düşünüp yanıtın doğru olmadığı sonucuna vardı. Deneylerin çok dikkatli yapılmış olması nedeniyle başka bir yol deneyerek sonunda üç şey keşfetti.

İlk olarak, gezegenler Güneş'in odak olduğu elips şeklinde bir yörünge izliyorlardı. Elips bütün ressamların bildiği bir eğridir: basık bir daire. Çocuklar da onu iyi bilir; iki ucu tesbit edilmiş bir ipe bir halka geçirip halkaya da bir kalem sokulunca elips çizilebileceğini birileri onlara söylemiştir (Şekil 1).

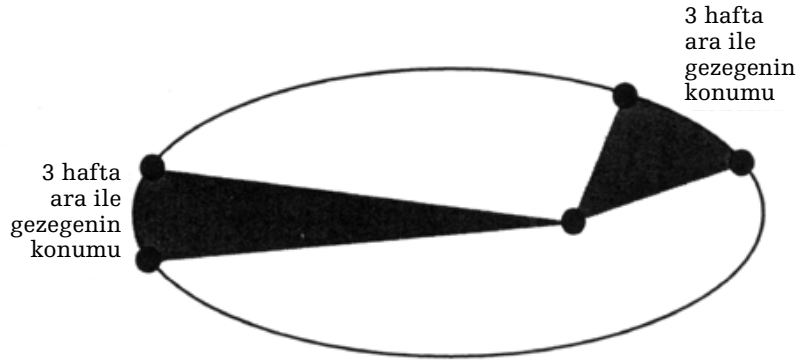
2 Tycho Brahe (1546-1601) Danimarkalı astronom.

3 Johann Kepler (1571-1630): Brahe'nin asistanlığını yapmış olan Alman astronom ve matematikçi.



Şekil 1

A ve B noktaları odaktır. Bir gezegenin Güneş çevresindeki yörüngesi bir elipstir; Güneş de odakların birindedir. Bundan sonra gelen soru şuydu: Güneş'e yaklaştıkça hızı artıyor, uzaklaştıkça yavaşlıyor mu? Kepler bunun da yanıtını buldu (Şekil 2).



Şekil 2

Bulduğu yanıt şöyle açıklanabilir: Örneğin üç hafta gibi belirli bir ara içeren iki farklı zamanda gezegenin konumunu saptayalım. Sonra, yörüngenin başka bir bölümünde, gezegenin yine üç hafta ara ile iki ayrı konumunu saptayalım ve Güneş'le gezegeni birleştiren doğruları çiz-

lim (bilimsel deyiimiyle bunlar yarıçap vektörleridir). Üç hafta ara ile çizilen iki doğru ve yörünge arasında kalan alan, yörünge için aynıdır. Demek ki, gezegen Güneş'e daha yakın olduğu yerlerde daha hızlı hareket ediyor ve uzaklaştıkça aynı alanı taramak için daha yavaş ilerliyor.

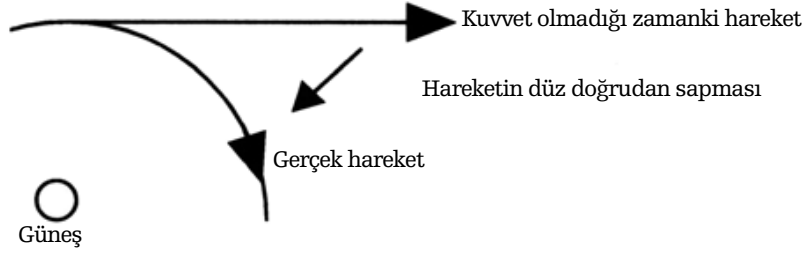
Birkaç yıl sonra Kepler üçüncü bir kural keşfetti. Bu kural yalnızca tek bir gezegenin Güneş çevresindeki hareketiyle ilgili değildi; farklı gezegenler arasında da ilişki kuruyordu. Bu kurala göre, bir gezegenin Güneş çevresinde tam bir devir yapması için gereken zaman, yörünge boyutuna bağlıdır; bu zaman da yörünge boyutunun küpünün kare kökü ile orantılıdır. Yörünge boyutu elipsin en büyük çapıdır. Kepler'in bu üç yasası şu şekilde özetlenebilir: *Yörünge bir elipstir; eşit sürelerde eşit alanlar taranır ve bir devir için geçen süre, boyutun üç bölü ikinci kuvvetiyle orantılıdır*, yani boyutun küpünün kare kökü ile. Kepler'in bu üç yasası gezegenlerin Güneş çevresindeki hareketlerini tam olarak belirlemektedir.

Bundan sonraki soru şuydu: Gezegenleri Güneş çevresinde hareket ettiren şey nedir? Kepler'le aynı dönemde yaşamış bazı kişiler bu soruyu şöyle yanıtlıyordu: Melekler kanatlarını çırpılarak gezegenleri arkadan yörünge boyunca iterler. Daha sonra göreceğiniz gibi bu yanıt gerçeğe pek de uzak sayılmaz. Tek fark, meleklerin farklı bir yönde oturup kanatlarını içeriye doğru çırpıyor olmalarıdır.

Aynı sıralarda Galileo da Dünya'daki sıradan cisimlerin hareket kurallarını inceliyor, bu inceleme sırasında da bazı deneyler yapıyordu. Toplar eğik bir düzlemden aşağı doğru nasıl yuvarlanıyor, sarkaçlar nasıl sallanıyordu? Galileo eylemsizlik ilkesi denilen önemli bir kural keşfetti. Kural şuydu: Düz bir doğru üzerinde belirli bir hızla hareket eden bir cisim, hiçbir etken olmazsa bu doğru bo-

yunca, aynı hızla, sonsuza kadar gitmeye devam edecektir. Bir topu durmamacasına yuvarlamaya çalışmış olan herkes için buna inanmak güç olsa da; bu ideal şartların varlığında, yerdeki sürtünme vb etkenler olmasa, top gerçekten de düzgün bir hızla sonsuza kadar gidecektir.

Daha sonraki gelişme Newton'un şu soruyu tartışması ile başladı: Eğer cisim düz bir doğru boyunca hareket etmiyorsa *ne olur?* Buna verdiği yanıt da şu oldu: Hızı herhangi bir şekilde değiştirmek için kuvvet uygulamak gerekir. Örneğin, bir top hareket ettiği yönde itilirse hızı artar. Eğer gidiş yönü değişmişse kuvvet yandan uygulanmış demektir. Kuvvet iki etkinin çarpımı ile ölçülebilir. Ufak bir zaman aralığında hızın ne kadar değiştiği, "ivme" olarak tanımlanır. Bunu cismin kütlesi veya eylemsizlik katsayısı ile çarparsak kuvveti buluruz. Bu ise ölçülebilir. Örneğin, bir ipin ucuna bağlanmış bir taş başımızın üstünde bir daire çizecek şekilde döndürürsek, ipi çekmemiz gerektiğini fark ederiz. Nedeni şudur: Taşın hızı sabit olmakla beraber, bir çember çizerek döndüğü için yönü değişmekte, bu nedenle de taş sürekli içeriye doğru çeken bir kuvvet gerekmektedir; bu kuvvet de kütle ile orantılıdır. Şimdi iki ayrı taş alıp önce birini sonra diğerini döndürelim ve ikinci taş için gereken kuvveti ölçelim. Bu kuvvet, birinciden, kütlelerinin farklılığıyla orantılı olarak daha büyük olacaktır. Hızı değiştirmek için gereken kuvveti saptamak, kütleleri ölçmek için de bir yöntem oluşturur. Newton bundan bir başka sonuç daha çıkardı. Onu da basit bir örnekle açıklayalım: Eğer bir gezegen Güneş çevresinde bir çember boyunca yol alıyorsa, onun *yana doğru, teğet boyunca gitmesi için hiçbir kuvvete gerek yoktur*. Eğer herhangi bir kuvvet olmasaydı başını alır giderdi. Ancak gezegen bunu yapmıyor; kuvvetin olmaması durumunda bir süre sonra gitmiş olacağı ta uzaklarda değil, Güneş'e yakın bir yerde bulunuyor (Şekil 3). Başka



Şekil 3

bir deyişle, hızı ve hareketi Güneş'e doğru sapıyor; yani meleklerin, kanatlarını sürekli Güneş'e doğru çırpmaları gerekiyor.

Bir gezegenin düz bir doğru boyunca hareket etmesinin bilinen bir nedeni yoktur. Nesnelere sonsuza dek gitmeyi sürdürmelerinin nedeni bulunamamıştır. Eylemsizlik kuramının da bilinen bir kökeni yoktur. Melekler gerçek olmasa da hareketin süregittiği bir gerçektir. Ancak, düşme olgusu için kuvvete gereksinim vardır ve kuvvetin kökeninin Güneş'e doğru olduğu da anlaşılmıştır. Newton eşit sürelerde eşit alan taranması kuramının, hızdaki bütün değişimlerin Güneş yönünde olduğu savının doğrudan bir sonucu olduğunu; bunun eliptik yörünge için de geçerli olduğunu göstermeyi başardı. Bir sonraki konuşmamda bunu daha ayrıntılı olarak açıklayacağım.

Bu yasayı kullanarak Newton, kuvvetin Güneş yönünde olduğunu ve eğer gezegenlerin periyotlarının Güneş'ten olan uzaklıklarıyla nasıl değiştiği bilirse, bu kuvvetin uzaklık ile nasıl değiştiğinin de bulunabileceğini gösterdi ve kuvvetin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu saptadı.

Buraya kadar Newton pek bir şey söylemiş sayılmaz; çünkü yalnızca Kepler'in ifade ettiği iki şeyi farklı biçimde dile getirmiş oluyordu. Birincisi, kuvvetin Güneş yönünde olduğunu söylemekle; ikincisi de, kuvvetin uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu söylemekle aynı şeydi.

İnsanlar Jüpiter'in uydularının Jüpiter çevresinde nasıl hareket ettiklerini teleskopla görmüşlerdi. Bu hareket tıpkı Güneş sisteminde olduğu gibiydi; sanki uydular Jüpiter'e doğru çekiliyorlardı. Ay da Dünya'nın çekimindedir; Dünya çevresinde döner ve Dünya'ya doğru çekilir. Sanki her şeyin birbirinin çekimi altındaymış gibi görünmesi bir sonraki kuramı; genelleme yapacak olursak her cismin her cismi çektiği yolunda olması sonucunu getirdi.

Eğer bu doğru ise, Güneş'in gezegenleri çektiği gibi, Dünya da Ay'ı kendisine doğru çekiyordu. Dünya'nın cisimleri çektiği bilinen bir şeydi: hepimiz havada uçmak istesek de iskemlemizde sıkı sıkı oturduğumuzu biliyoruz-. Yeryüzündeki çekim, kütleçekim olgusu olarak iyi bildiğimiz bir şeydir. Newton, Ay'ı yörüngede tutan çekimin, nesnelere Dünya'ya çeken kuvvetle aynı şey olabileceğini düşündü.

Ay'ın bir saniyede ne kadar yol aldığını bulmak zor değildir. Yörünge boyutunu biliyoruz; Ay'ın Dünya çevresini bir ayda dolaştığını da biliyoruz. Öyleyse, bir saniyede ne kadar yol aldığını hesaplayabiliriz. Buradan da Ay'ın, düz doğru boyunca gitmeyip yörünge boyunca gitmekle, düz doğrudan ne kadar aşağıda olduğu hesaplanabilir. Bu uzaklık bir inç'in⁴ yirmide biri (0,127 cm) kadardır. Ay'ın, Dünya'nın merkezinden uzaklığı bizim merkezden uzaklığımızın altmış katıdır. Biz merkezden 4.000 mil⁵ uzaktayken Ay, Dünya merkezinden 240.000 mil uzaktadır. Bu durumda ters kare yasası doğru ise, yeryüzündeki bir cisim saniyede 1/20 inç x 3.600 (60'ın karesi) kadar düşer. Çünkü kuvvet Ay'a gidene kadar ters kare yasasına göre 60 x 60 kat zayıflamıştır. 1/20 inç x 3.600 yaklaşık 16 foot (ft.)'tur.⁶ Galileo'nun deneylerinden, cisimlerin saniyede 16 foot

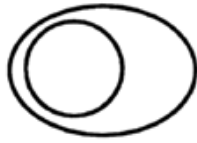
4 1 inç: 2.54 cm.

5 1 mil: 1.609 m.

6 1 foot: 30.5 cm.

düşüğü bilinmekteydi. Bu, Newton'un doğru iz üzerinde olduğunu, geriye dönüş olmayacağını ortaya koyuyordu. Çünkü, Ay'ın yörüngesindeki periyodu ve Dünya'ya uzaklığı ile Dünya'daki bir nesnenin düşerken bir saniyede ne kadar yol alacağı gibi birbirinden tamamen bağımsız iki olguyu birleştiren yepyeni bir şey bulunmuştu. Bu sonuç her şeyin doğru olduğunu gösteren çarpıcı bir sınavdı.

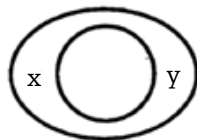
Daha sonra Newton birçok yeni şey ortaya çıkardı. Çekim yasasının ters kare olması durumunda yörünge şeklinin ne olacağını hesapladı ve bunu bir elips olarak buldu. Ayrıca birçok farklı olaya da açıklama getirildi. Bunlardan biri gel-git olayıydı. Gel-git, Dünya ve denizlerin Ay tarafından çekilmesinden kaynaklanıyordu. Bu, daha önceleri de düşünülmüştü; ancak ortada bir pürüz vardı: Olay, Ay'ın denizleri çekmesinden kaynaklanıyorsa Ay'ın bulunduğu taraftaki sular yükselecek, o zaman günde ancak bir gel-git olacaktı (Şekil 4). Gerçekte ise yak-



Su, Dünya'dan Ay'a doğru kısmen çekiliyor.



Dünya sudan Ay'a doğru kısmen çekiliyor.



Gerçek konum.



laşık on iki saatte bir, yani günde iki gel-git olduğunu biliyoruz. Farklı bir sonuca varan bir düşünce ekolü daha vardı. Buna göre de Dünya, Ay tarafından suyun dışına çekiliyordu. Gerçekte ne olup bittiğini ilk fark eden Newton oldu: Ay'ın aynı uzaklıktaki kara ve denizler üzerindeki çekim kuvveti aynıydı, y'deki sular Ay'a Dünya'dan daha yakın, x'deki sular ise daha uzaktır. Dünya sıvı de-

Şekil 4

ğil, katıdır. Bu nedenle, y'deki sular Ay'a Dünya'dan daha fazla, x'deki sular da daha az çekilir. Bu iki resmin bir çeşit bileşiminden görülebileceği gibi, iki gel-git olayı ortaya çıkar. Gerçekte Dünya da Ay gibi bir çember boyunca hareket eder. Ay'ın Dünya'ya uyguladığı kuvvet dengelenmiştir; ama dengeleyici nedir? Ay'ın Dünya'nın çekim kuvvetini dengelemek için dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmesi gibi, Dünya da dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. Bu dairenin merkezi Dünya'nın içinde bir noktadır ve Ay'ın kuvvetini dengelemek için dairesel bir hareket yapmaktadır, ikisinin de ortak bir merkez etrafında dönmesiyle, Dünya açısından kuvvetler dengelenmiş oluyor; ancak, x'deki su daha az, y'deki su daha çok çekildiği için su iki yanda kabarıyor. Her neyse, gel-git olayı ve günde iki kez gerçekleşmesinin nedenleri böylece açıklanmış oluyordu. Bu arada açıklanan daha birçok şey vardı: Dünya, her şey içe doğru çekildiği için yuvarlak değildi. Dış bölgeler biraz uzağa itilmişlerdi ve denge oluşuyordu.

Bilim ilerleyip daha hassas ölçümler yapıldıkça Newton yasası da daha zorlu sınamalarla karşılaştı. Bunlardan ilki Jüpiter'in aylarıyla ilgiliydi. Uzun süre dikkatle yapılmış gözlemlerle hareketlerinin Newton yasasına uyumu saptanabilirdi. Ancak sonuç bunun doğru olmadığını gösteriyordu. Jüpiter'in ayları, Newton yasası ile hesaplanmış zamana göre, bazen sekiz dakika ileri, bazen de sekiz dakika geri olan bir fark oluşturuyorlardı. Bu fark Jüpiter'in Dünya'ya yakın olduğu zamanlarda ileri, uzak olduğu zamanlarda ise geriye doğruydü. Bu tuhaf bir durumdu. Kütleçekim yasasına güveni tam olan Roemer⁷, bu durumda, ışığın Jüpiter'in aylarından Dünya'ya gelmesinin zaman aldığı gibi ilginç bir sonuç çıkardı. Ayrıca, bu

7 Olaus Roemer (1644-1710) Danimarkalı astronom.

aylara baktığımız zaman gördüğümüz şey onların o andaki durumu değil, ışığın bize varması için geçen zamandan önceki durumuydu. Jüpiter bize yakın olduğunda ışık daha kısa sürede, uzak olduğunda ise daha uzun sürede varıyordu. Bu nedenle Roemer'in, gözlemleri zaman farkı yönünden şu kadar erken, bu kadar geç olmalarına göre düzeltmesi gerekiyordu. Bu yolla ışığın hızını ölçmeyi başarmış, ışığın bir anda yayılan bir şey olmadığını da ilk kez göstermiş oldu.

Bu noktaya özellikle dikkat çekmek istiyorum: Eğer bir yasa doğru ise başka bir yasanın bulunmasına da yol açabilir. Eğer bir yasaya güveniyorsak, ona ters bir şeyin ortaya çıkması bizi başka bir olguya doğru yöneltir. Kütleçekim yasasını bilmeseydik Jüpiter'in aylarından ne bekleyeceğimizi de bilemezdik; ışığın hızını ölçmek ise çok daha sonralara atılmış olurdu. Bu süreç adeta bir keşifler çağına yol açtı. Her yeni keşif, bir yenisine daha yol açan araçları da beraberinde getirir. Dört yüz yıldan beri süregelen ve büyük bir hızla sürmeye devam edecek olan bu çağ, işte bu şekilde başlamıştır.

Daha sonraları ortaya yeni bir sorun çıktı. Newton yasasına göre gezegenler yalnızca Güneş'in çekiminde değildi; birbirlerini de biraz çekiyorlardı. Öyleyse yörüngeleri eliptik olmamalıydı. Gerçi bu küçük bir çekimdi; ancak "küçük" olan da önem taşıyabilir ve hareketi etkiler. Jüpiter, Satürn ve Uranüs'ün büyük gezegenler oldukları biliniyordu. Her birinin diğerleri üzerindeki çekimi sonucu, yörüngelerinin Kepler'in kusursuz elipslerinden ne ölçüde farklı olduğunu saptayacak hesaplar ve gözlemler yapıldı. Sonuçta Jüpiter ve Satürn'ün hesaplamalara uygun hareket ettikleri; Uranüs'ün ise, 'tuhaf' davrandığı ortaya çıktı. Newton Yasaları'nın hatalı olduğunu göstermek için bir fırsat daha... Ama sıkı durun! Adams ve Le-

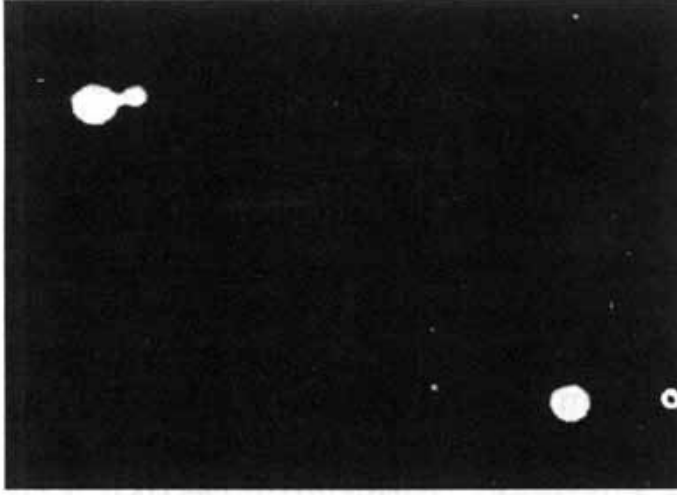
verrier⁸ adında iki şahıs birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları çalışmalar sonucunda, neredeyse aynı anda, Uranüs'ün hareketlerinin görünmeyen bir gezegenden etkilendiğini ileri sürdüler. Her biri kendi gözlemine "Teleskobunuzu çevirin ve orayı gözleyin. Yeni bir gezegen göreceksiniz" şeklinde birer mektup yolladılar. Gözlemlerinden birinin tepkisi "Saçma! Eline kağıt-kalem alıp oturan biri, bize bir gezegen bulmak için nereye bakacağımızı söylüyor" şeklindeydi. Diğer gözlemevi ise daha... neyse, yöntemi farklıydı ve Neptün'ü buldu.

Daha yenilerde, 20. yüzyıl başlarında Merkür'ün hareketinin de tam 'doğru' olmadığı anlaşıldı. Einstein, Newton yasalarının biraz hatalı olduğunu ve değiştirilmeleri gerektiğini gösterinceye kadar bu durum hayli sıkıntıya neden oldu.

Şimdi de, bu yasanın kapsamının genişliği sorusu ortaya çıkıyor. Yasa, Güneş sistemi dışında da geçerli midir? Şimdi size, Resim 1 üzerinde, çekim yasasının Güneş sisteminin ötesini de kapsadığına ilişkin kanıt göstereceğim. Burada çift-yıldız dediğimiz bir şeyin üç ayrı fotoğrafını görüyoruz. Resimde, şans eseri üçüncü bir yıldız daha var. Bu da bize, astronomide kolayca yapılabileceği gibi birisinin çerçeveyi döndürmediğini, çiftyıldızın gerçekten döndüğünü gösteriyor. Yıldızlar gerçekten de dönüyorlar; izledikleri yörüngeyi Şekil 5'te görebilirsiniz. Birbirlerini çektikleri ve beklendiği gibi bir elips boyunca döndükleri açıkça belli. Şekildeki noktalar değişik zamanlarda, saat yönünde, ardarda izledikleri konumlardır. Her şey yerinde; ancak, eğer daha önce dikkat etmediyseniz, merkezin elipsin odağında olmadığına, hayli ötede olduğuna dikkatinizi çekerim. Yasada bir yanlışlık mı var?

8 John Couch Adams (1819-1892): Matematiksel astronom. Urbain Leverrier (1811-1877): Fransız astronom.

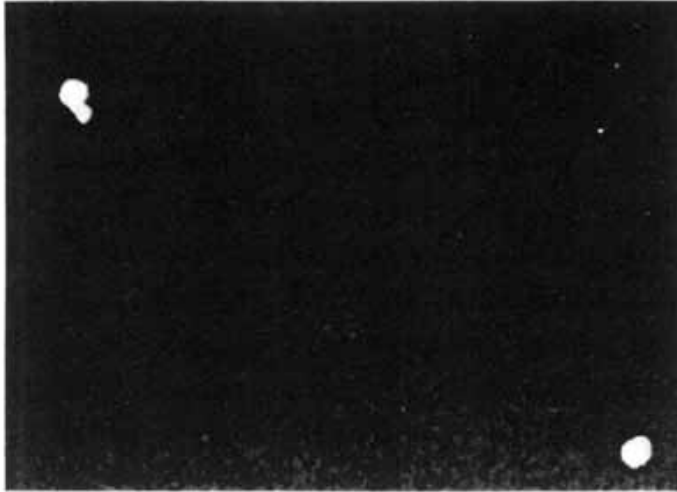
FİZİK YASALARI ÜZERİNE



21 Temmuz 1908

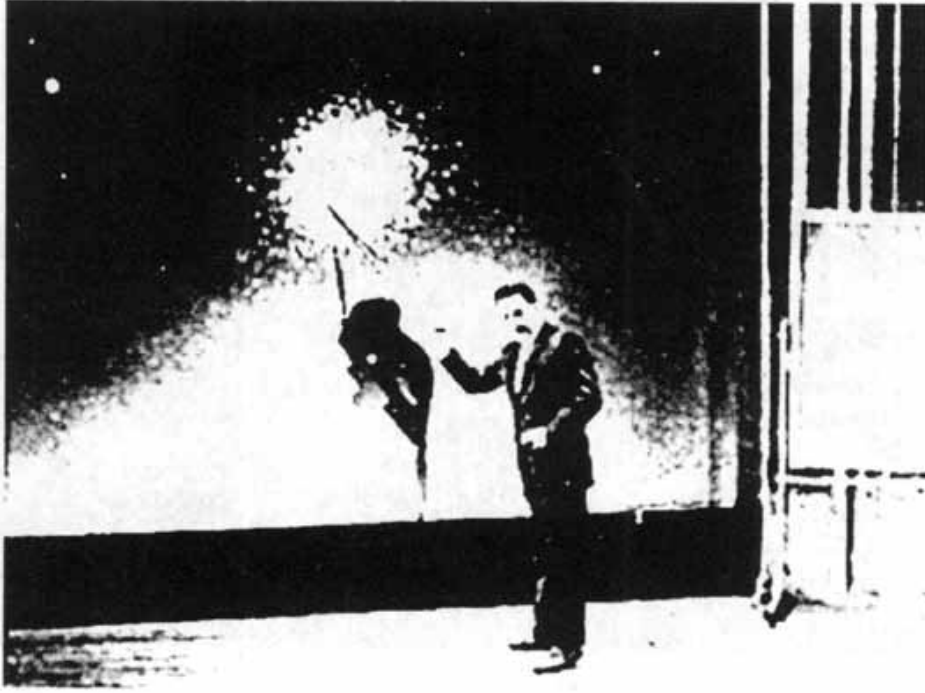


Eylül 1915



10 Temmuz 1920

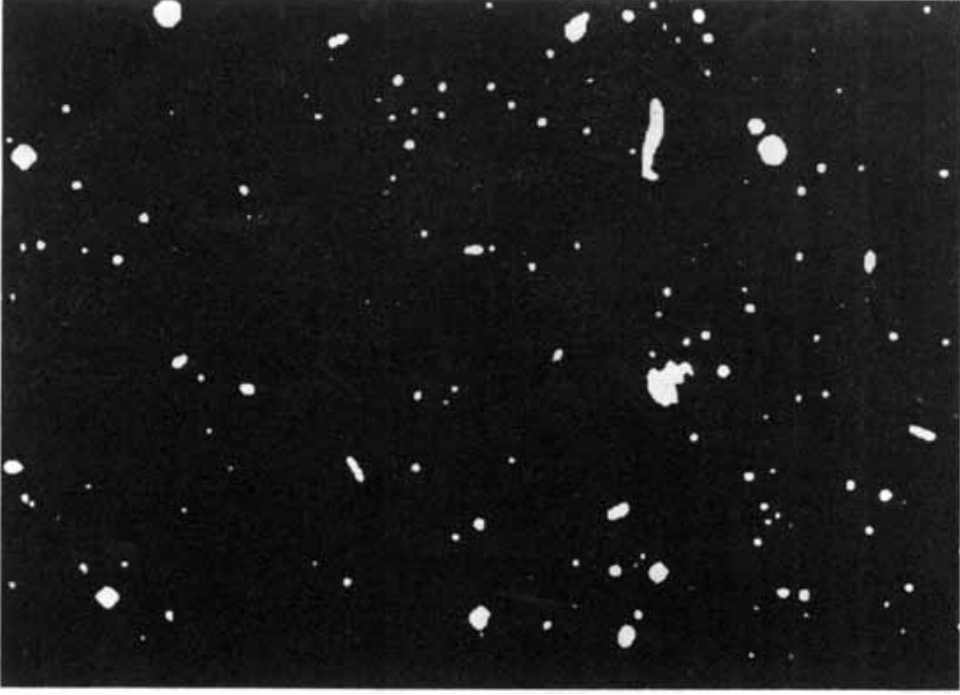
Resim 1: Aynı çift-yıldız sisteminin farklı zamanlarda çekilmiş üç fotoğrafı



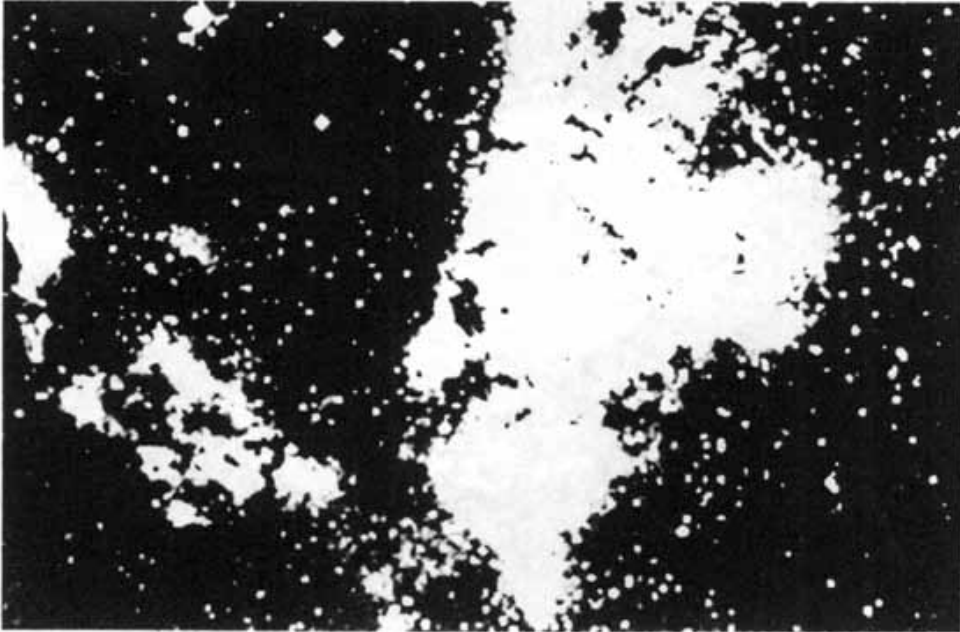
Resim 2: Küresel bir yıldızlar kümesi



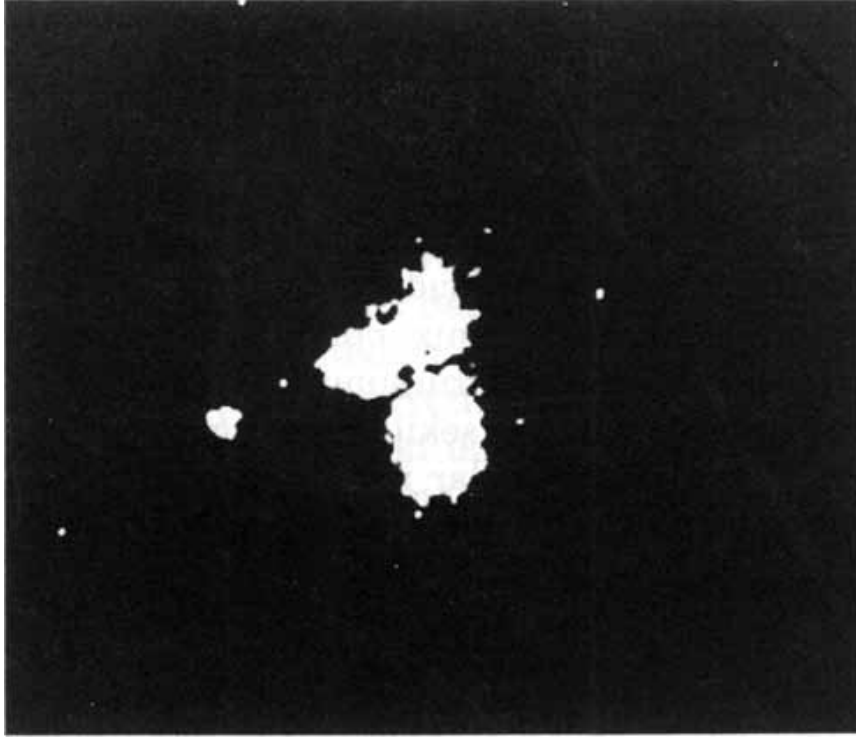
Resim 3: Spiral galaksi



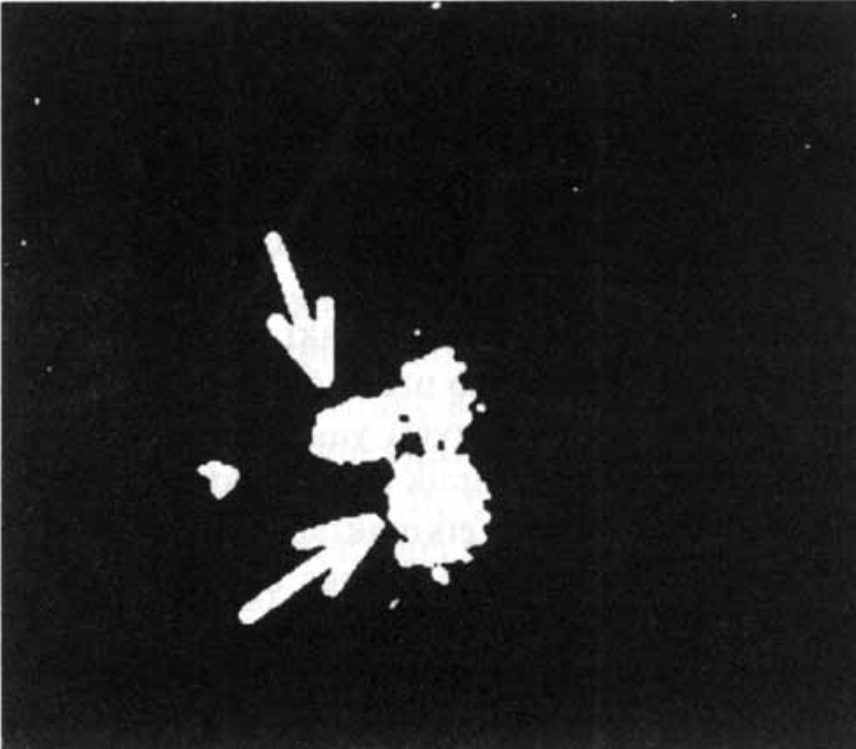
Resim 4: Bir galaksiler kümesi



Resim 5: Gaz halindeki bir nebula

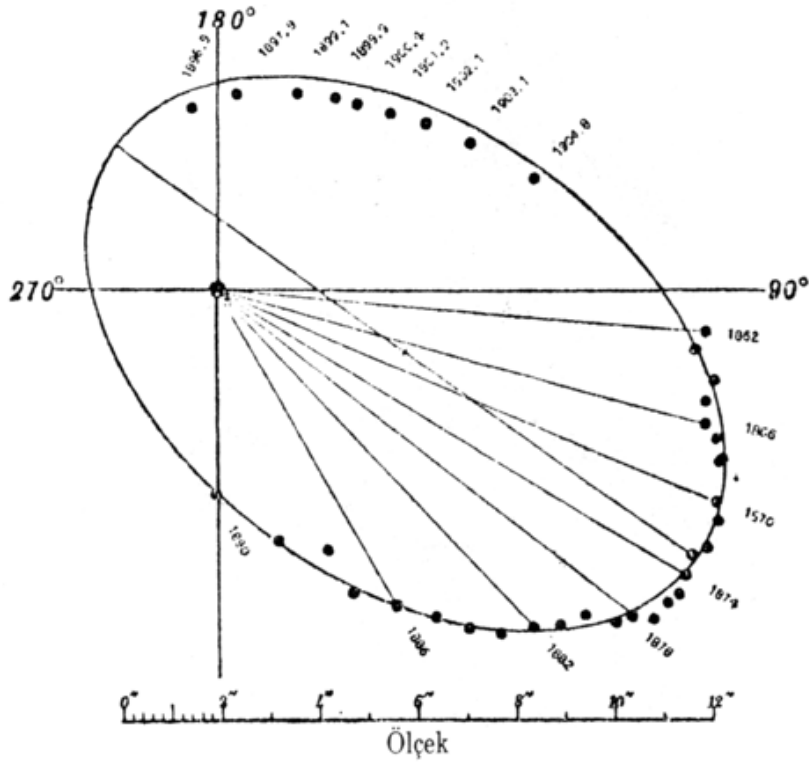


1947



1954

Resim 6: Yeni yıldızların oluşumuna ilişkin kanıtlar



Şekil 5

Hayır, Tanrı bize bu yörüngeyi tam karşıdan değil, değişik bir açıdan gösteriyor. Bir elipsin odağını işaretledikten sonra kağıdı rastgele bir açıda tutarsanız ve izdüşümsel olarak bakarsanız, odağın, izdüşümüne rastlamayabileceğini görürsünüz. Yörünge uzayda eğik olduğundan bu şekilde görünmektedir.

Daha büyük uzaklıklar için ne diyebiliriz? İki yıldız arasındaki bu kuvvet, Güneş sisteminin çapının iki-üç katı uzaklığın ötesinde de var mı? Resim 2'de, çapı Güneş sisteminin 100.000 katı olan ve çok büyük sayıda yıldızdan oluşmuş bir yıldızlar topluluğu var. Resimdeki beyaz leke tek bir beyaz leke olmayıp böyle görünmesinin nedeni, optik cihazların ayırım gücünün yetersiz kalmasıdır. Gerçekte bu büyük küresel küme içinde aşağı-yukarı, ileri-geri hareket eden, tıpkı öbür yıldızlar gibi birbirinden iyice uzakta, birbirine çarpmayan küçücük noktalar

bulunuyor. Bu, gökyüzünde görülebilecek en güzel şeylerden biridir. Denizin dalgaları ve günbatımı kadar güzel... Galaksiyi bir arada tutan şey yıldızlar arasındaki kütleçekim kuvvetidir. Maddenin dağılımı ve uzaklığın boyutu, yıldızlar arasındaki çekim kuvveti yasasının kabaca ne olduğunu bulmamıza olanak sağlamakta, sonuç ise ters kare yasası olarak çıkmaktadır. Bu ölçüm ve hesaplardaki duyarlılığın Güneş sistemindekine yakın bir ölçüde olması olanaksızdır.

Çekim kuvveti daha da ötelere uzanmaktadır. Resim 2'deki yıldız kümesi, Resim 3'te gösterilen tipik bir büyük galaksi içinde topluğne başı kadar bir şeydir. Bunun da bir kuvvet tarafından bir arada tutulduğu ortada ve akla en yakın gelen aday ise yine çekim kuvvetidir. Bu kadar büyük boyutlar sözkonusu olduğunda ters kare kuralının geçerliliğini ölçemiyoruz. Dünya'dan Güneş'e olan uzaklık sekiz ışık dakikası olduğu halde, bu galaksilerin uzunlukları 50.000-100.000 ışık yılıdır. Ancak, çekim kuvvetinin bu büyük yıldız yığınlarında, bu ölçüdeki uzaklıklarda bile geçerli olduğundan kuşkulanan için bir neden yoktur. Resim 4, bu kuvvetin daha ötelere de uzandığının bir kanıtıdır. Bu resimde bir galaksiler kümesi gösterilmiştir. Galaksiler, yıldız kümelerine benzer bir küme oluşturmuşlardır; ancak burada kümelenen şeyler Resim 3'teki koca bebeklerdir.

Çekim kuvvetinin var olduğunu doğrudan kanıtlayabileceğimiz uzaklık bu kadar; yani, evrenin büyüklüğünün onda biri veya yüzde biri kadar bir uzaklıktır. Buna göre, gazetelerde bir şeylerin dünyanın çekim kuvveti dışına çıktığına ilişkin haberler okusanız da, dünyadaki kütleçekimi kesin bir sonu yoktur. Bu kütleçekim, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak giderek zayıflar; uzaklık iki katına çıkınca o da dört kat zayıflar ve böylece diğer yıldızların güçlü alanlarının karmaşasında kaybolur. Çev-

resindeki yıldızlarla birlikte başka yıldızları çekerek galaksi oluşturur, bu galaksi de diğer galaksileri çekip bir galaksiler kümesi oluşturur. Böylece Dünya'nın kütleçekim alanı hiç bitmez; ancak belirli ve düzenli bir şekilde zayıflayarak belki de evrenin sınırlarına kadar gider.

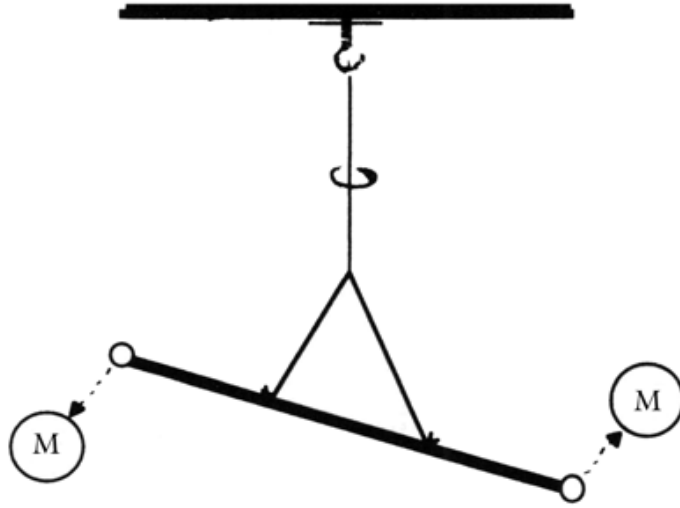
Kütleçekim yasası diğer yasaların çoğundan farklıdır. Evrenin ekonomisi ve mekanizması için çok önemli olduğu açıktır ve evren yönünden birçok pratik uygulaması da vardır. Ancak, diğer fizik yasalarından farklı atipik bir özelliğe sahiptir: bilinmesi pek az pratik yarar sağlar. Fizik yasalarına örnek olarak kütleçekim yasasını seçmekle atipik özelliği olan bir örnek seçmiş oluyorum. Ancak, şunu da eklemeliyim ki, bir şeyler arasından tek bir şey seçerken, bir bakımdan atipik özelliği olmayan bir şey seçmek olanaksızdır. Bu, dünyanın gizemlerinden biridir. Kütleçekim yasası bilebildiğim kadarıyla, jeolojik maden aramalarında; gel-git olaylarının önceden bilinmesinde; daha yenilerde de uzaya giden uydu ve gezegen araştırma roketlerinin hareketlerinin daha modern bir şekilde hesaplanmasında; bir de, dergilerde yıldız falı yazarlar için gerekli olan, gezegenlerin konumlarına ilişkin hesapların yine daha modern bir şekilde yapılmasında kullanılmaktadır. Yaşadığımız dünya gerçekten inanılmaz bir dünya; bilimdeki gelişmeler yalnızca, 2000 yıldır süregelen saçmalığın devam etmesine yaramaktadır.

Kütleçekim yasasının evrenin davranışı üzerinde gerçekten etkili olduğu önemli şeylerden de söz etmeliyim. Bunların en ilginç olanlarından biri yeni yıldızların oluşumudur. Resim 5'te, galaksimiz içinde bulunan gaz halindeki bir nebula görüyoruz. Galaksiyi oluşturan, birçok yıldız değil, sadece gazdır. Siyah benekler gazın sıkıştırılmış veya kendi içine doğru çekilmiş olduğu yerlerdir. Belki her şeyi başlatan, bir şok dalgası olmuştur. Bundan sonraki olaylar, kütleçekim kuvvetinin etkisiyle gazın git-

tikçe sıklaşarak toplanması, büyük gaz ve toz yığınlarının ve topların oluşmasıdır. Bunlar içeriye doğru düşerken, düşmenin yol açtığı ısıyla yanar ve yıldız haline gelirler. Resim 6'da yeni yıldızların oluşumu hakkında bazı kanıtlar görülmektedir.

Böylece yıldızlar, çekim etkisiyle gazın sıkışıp bir araya gelmesiyle ortaya çıkarlar. Yıldızlar bazen patladıklarında toz ve gaz püskürtür, bu toz ve gazlar tekrar bir araya toplanıp yeni yıldızlar yaratırlar (devridaim motorunu anımsatan bir süreç).

Kütleçekimin büyük uzaklıklarda da var olduğunu daha önce göstermiştim. Ancak Newton, her şeyin her şeyi çektiğini söylemişti. İki cisim gerçekten birbirini çekiyor mu? Gezegenlerin birbirlerini çekip çekmediklerini bekleyip görmek yerine doğrudan bir deney yapabilir miyiz? Böyle bir deney Cavendish⁹ tarafından, Şekil 6'da görülen malzeme ile yapıldı. Buna göre iki ucuna top şeklinde kütleler



Şekil 6

konulmuş bir çubuk, çok, çok ince bir kuvars telin ucu-

9 Henry Cavendish (1731-1810): İngiliz kimyager ve fizikçisi.

na asılıyor. Sonra da, şekilde görüldüğü gibi, iki büyük kurşun top, kütlelerin yanlarına konulur. Toplar arasındaki çekim telde küçük bir bükülmeye neden olur. Normal cisimler arası çekim kuvveti çok azdır. İki top arasındaki bu kuvveti ölçmek mümkündür. Cavendish bu deneye “dünyanın tartımı” adını verdi. Şimdilerde uygulanan bilgece ve dikkatli eğitimin sonucu olarak biz öğrencilerimize bunun yerine “dünyanın kütlelerinin ölçümü”nden bahsederiz. Cavendish, doğrudan bir yöntemle kuvveti, iki kütle ve aralarındaki uzaklığı ölçmeyi; böylece de, kütleçekim sabiti G 'yi bulmayı başardı. Şimdi sizler “Yine aynı durumdayız; çekme kuvvetini, çekilen cismin kütlelerini ve aradaki uzaklığı biliyoruz. Ama Dünya'nın kütlelerini ve sabiti değil, sadece çarpımlarını biliyoruz” diyeceksiniz. Sabit ölçüldükten sonra kütleçekim kuvveti hakkındaki bilgimiz kullanılarak Dünya'nın kütlesi bulunabilir.

Bu deney, dolaylı bir yolla, üstünde durduğumuz topun ne kadar büyük ve ne kadar ağır olduğunun ilk saptamasıdır. Bunu bulmak şaşırtıcı bir başarıdır ve sanırım bu nedenle Cavendish deneyine, “kütleçekim denklemindeki sabitin hesaplanması” yerine “dünyanın tartımı” adını verdi. Ayrıca bunu yapmakla Güneş'i ve başka her şeyi de tartmış oluyordu. Çünkü aynı yöntem Güneş'in çekim kuvveti için de geçerlidir.

Kütleçekim yasası ile ilgili bir başka soru da çekimin gerçekten kütle ile orantılı olup olmadığıdır. Yani, çekim kuvvetinin kütle ile tam olarak orantılı olması; kuvvete tepkinin, kuvvet sonucu hareketin, hız değişimlerinin ise kütle ile ters orantılı olması. Bu demek oluyor ki, kütleleri farklı iki cismin hızları çekim alanında aynı şekilde değişecektir; veya havası alınmış bir ortamdaki iki cisim, kütleleri ne olursa olsun, yere aynı şekilde düşecektir. Galileo'nun Pisa'nın eğik kulesinden yaptığı ünlü deney de budur. Bir örnekle açıklayacak olursak: İnsan yapısı bir uydunun için-

deki bir cisim, dünya çevresinde uydu dışındaki bir cisim ile aynı yörüngede dönecek; havada yüzer gibi olacaktır. Kuvvetin kütle ile doğru orantılı ve etkilerin ters orantılı olması bu ilginç sonucu beraberinde getirmektedir.

Duyarlılık derecesi nedir? Bu husus 1909'da Eötvös¹⁰ yakın zamanda da, daha büyük kesinlikle Dicke¹¹ tarafından saptanmış ve 10.000.000.000'da bir olarak bulunmuştur. Kuvvetler kütle ile tam olarak orantılıdır. Bu kadar duyarlı ölçümler nasıl yapılabiliyor? Diyelim ki, ölçümün Güneş'in çekimi için doğru olup olmadığını ölçmek istiyorsunuz. Güneş'in hepimizi ve bu arada tabii Dünya'yı da kendisine doğru çektiğini biliyorsunuz. Ancak, bu çekimin eylemsizlik (inertia) ile tam olarak orantılı olup olmadığını bilmek istiyorsunuz. Deney ilk olarak sandal ağacı, daha sonra kurşun ve bakır kullanılarak yapıldı; şimdi de polietilen kullanılıyor. Dünya Güneş etrafında dönmektedir ve cisimler eylemsizlik nedeniyle dışarı doğru fırlatılmaktadır. Bu fırlatılma iki cismin eylemsizlikleri ölçüsünde olmaktadır. Ancak çekim yasasına göre bu iki cisim, kütleleri ölçüsünde Güneş'e doğru da çekilmektedirler. Eğer Güneş'e doğru çekilmeleri, eylemsizliklerinden dolayı fırlatılmalarından farklı oranda olursa birisi Güneş'e doğru çekilirken diğeri uzaklaşacaktır. Bu cisimleri Cavendish'in kuvars teline bağlı çubuğun iki ucuna koyarsak tel Güneş'e doğru bükülecektir. Ancak tel, bu ölçüde bir bükülme göstermemektedir. Öyleyse, Güneş'in bu iki cisme uyguladığı çekim, eylemsizlik dediğimiz merkezci etkiyle tam olarak orantılıdır. Bu nedenle, bir cisme uygulanan çekim kuvveti cismin eylemsizlik katsayısı, yani kütlesi ile tam olarak orantılıdır.

Özellikle ilginç olan bir şey var. Ters kare yasası başka yerlerde de karşımıza çıkıyor; örneğin elektrik yükleri,

10 Baron Roland von Eötvös (1848-1919): Macar fizikçi.

11 Robert Henry Dicke: Amerikalı fizikçi.

aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olan kuvvetler uygulamaktadır. Bu, insana, uzaklığın karesinin tersinin çok derin bir anlamı olabileceğini düşündürüyor. Ancak hiç kimse, elektrik ile kütleçekimin tek bir şeyin farklı yönleri olduğunu göstermeyi başaramamıştır. Günümüzde fizik teorileri, fizik yasaları birbirleriyle tam da uyumlu olmayan bir bölümler ve parçalar yığındır. Her şeyin kendisinden mantıksal olarak çıkarılabileceği tek bir yapı bulunamamıştır. Elimizde yalnızca birbiriyle tam olarak uyuşmayan çok sayıda parça var. Bu nedenle de, bu konferanslarda sizlere fizik *yasasının* ne olduğu konusunda değil, çeşitli yasalarda ortak olan şeyler hakkında konuşmak zorundayım. Bunların aralarındaki bağlantıyı bilmiyoruz. Ancak, bazı şeylerin bu iki yasada da aynen bulunması çok şaşırtıcıdır. Elektrik yasasını tekrar ele alalım.

Kuvvet, uzaklığın karesi ile ters orantılıdır; ancak, ilginç olan, elektrik ve kütleçekim kuvvetlerinin güçleri arasındaki muazzam farktır. Elektrik ve kütleçekimi ortak bir yapıdan elde etmek isteyenler elektriğin kütleçekimden çok daha güçlü olduğunu görecektirler. Bu ikisinin aynı kökenden gelebileceğine inanmak güçtür. Bir şeyin diğerinden daha güçlü olduğu nasıl söylenebilir? Bu fark, ne kadar yük ve ne kadar kütle olduğuna bağlıdır. Kütleçekimin daha güçlü olduğunu göstermek için "Şu boyda bir topak alırsam" diyemezsiniz; çünkü boyutu siz saptamış oluyorsunuz. Eğer doğanın ürettiği bir şeyi ele almak istersek -doğanın pür sayılarının santimetrelerle, yıllarla, ya da bizim boyutlarımıza ait herhangi bir şeyle ilişkisi yoktur- bunu şöyle yapabiliriz: Elektron -farklı parçacıklar farklı sayılar verir; biz bir örnek vermek için elektronu seçiyoruz- gibi temel bir parçacık seçeriz, iki elektron iki temel parçacıktır; elektrik nedeniyle, birbirlerini uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak iterler.

nın bu şekilde değişmediğine işaret eden birtakım kısmi göstergeler vardır. Özetle bu muazzam sayı bir sır olarak kalmaktadır.

Kütleçekim teorisi konusunu bitirmeden önce iki şeyden daha söz etmek gerekiyor. Birincisi, Einstein'ın çekim yasalarını kendi görelilik ilkeleri doğrultusunda değiştirmek zorunda kalmasıdır. İlkelerden birincisi 'x'in bir anda vuku bulamayacağını belirtiyordu. Halbuki Newton yasaları kuvvetin bir anda vuku bulduğunu söylüyordu. Einstein'ın Newton yasalarını değiştirmesi gerekiyordu. Ancak bu değişikliklerin etkisi çok azdı. Bunlardan biri, bütün kütlelerin düştüğü, ışığın enerji içerdiği, enerjinin de kütleye denk olduğu yolundadır. Buna göre ışık da düşer; bu da Güneş'e yakın olan ışığın sapması demektir ki, ışık gerçekten de saptmaktadır. Einstein'ın teorisinde çekim kuvveti de biraz değiştirilmiştir. Böylece yasa çok az ölçüde; Merkür gezegeninin hareketindeki küçük tutarsızlığı giderecek ölçüde değişmiştir.

Son olarak da, küçük ölçekler için geçerli olan fizik yasaları konusunda bir değişiklik gerekti; maddenin küçük ölçekte, büyük ölçekte geçerli olan yasalardan çok farklı yasalara tabi olduğu keşfedildi. Bu durumda ortaya şu soru çıkıyor: Kütleçekim yasası küçük ölçeklerde ne durumdadır? Buna, kütleçekimin kuantum teorisi diyoruz. Henüz kütleçekimin kuantum teorisi diye bir şey yoktur. Hem belirsizlik ilkeleri hem de kuantum mekaniği ilkeleri ile tutarlı olan bir teori bulmak konusunda tam başarılı olunamamıştır.

Şimdi bana şöyle diyeceksiniz: "Evet, bize neler olduğunu anlattınız. Ancak kütleçekim nedir? Nereden kaynaklanır? Gezegenin Güneş'e bakıp, ne uzaklıkta olduğunu görüp, bunun karesinin tersini alıp, sonra da yasaya uygun olarak hareket etmeye karar verdiğini mi söylüyorsunuz?" Başka türlü ifade edeyim. Ben yasayı matematik-

sel olarak ifade ettim; ama mekanizması hakkında hiçbir şey söylemedim. Gelecek konuşmamda bunun nasıl yapılabileceğinden söz edeceğim; yani "Matematik ve Fizik Arasındaki İlişki"den.

Bu konuşmamın sonunda, kütleçekim yasasının sözcettiğimiz diğer bazı yasalarla ortak olan özelliklerini vurgulamak istiyorum. İlk olarak, ifade ediliş tarzı matematikseldir; diğerleri de öyledir. İkincisi, tam-doğru değildir. Einstein onu değiştirmek zorunda kaldı; yine de tam-doğru olmadığını biliyoruz. Çünkü henüz bu haliyle kuantum teorisini kapsamıyor. Bunlar bütün diğer yasalarımız için de geçerlidir; hiçbiri tam-doğru değildir. Her zaman gizemli olan bir sınır, her zaman uğraşmamız gereken bir şeyler vardır. Bu, doğanın bir özelliği olabilir veya olmayabilir; ancak, bugün bildiğimiz bütün yasalarda ortak olan bir özelliktir. Belki de yalnızca bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

Kütleçekim yasasının en çarpıcı özelliği basit olmasıdır. İlkelerini tam olarak belirtmek kolaydır; özünün değiştirilmesini gerektiren bir belirsizliği yoktur. Yalındır, bu nedenle de güzeldir. Etkilerinin basit olduğunu söylemiyorum; gezegenlerin hareketleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları karşılıklı etkileşimden kaynaklanan düzensizlikler, çok karmaşık olabilen hesaplamalar gerektirir. Küresel bir yıldız kümesindeki yıldızların hareketlerini saptamak ise bizim becerimiz dışında bir şeydir. Etkileri çapraşık; ancak, ana model veya hepsinin temelindeki sistem basittir. Bu da bütün yasaların ortak bir özelliğidir. Gerçek etkileri karmaşık, kendileri ise basittir.

Son olarak, kütleçekim yasasının evrenselliği ve çok büyük uzaklıklarda geçerli olması konusuna değineceğim. Newton, Güneş sistemini temsil eden Cavendish'in minyatür Güneş sistemi modelinin, yani iki top arasındaki çekimin, yüz trilyon kere büyütüldüğünde elde edi-

lecek olan Güneş sisteminde de geçerli olacağını tahmin edebilmişti. Daha sonra, bunun yüz trilyon katı olan galaksilerin de aynı yasa uyarınca birbirlerini çektiğini görüyoruz. Doğa, modellerini yalnızca en uzun iplerle dokuduğu için dokumanın her bir küçük bölümü tüm halının düzenini açığa vurmaktadır.

2

Matematik ve Fizik Arasındaki Bağıntı

Matematik ve fiziğin uygulamaları düşünülürken, büyük sayılar içeren karmaşık durumlarda matematiğin yararlı olacağı ortadadır. Örneğin, biyolojide bir virüsün bir bakteri üzerindeki etkisi konusu matematiksel olamaz. Bir mikroskopla baktığımızda minicik titrek bir virüsün acayip şekilli bir bakteriyi -hepsinin şekli farklıdır- bir noktasından yakaladığını görürsünüz. DNA'sını belki ona aktarıyor, belki de aktarmıyordur. Ancak bu deneyi milyonlarca bakteri ve virüsle yaparsak, ortalamaları alarak virüsler hakkında çok şey öğrenebiliriz. Virüslerin bakteri içinde gelişip gelişmediklerini ve hangi türlerin hangi oranda ortaya çıktığını saptamak için matematiksel ortalamalar alır ve böylece genetik, mutasyon vb konuları araştırabiliriz.

Daha önemsiz bir örnek olarak üzerinde satranç veya dama oynanan kocaman bir dama tahtası düşünelim. Tek bir hamlenin gerçekleşmesi matematiksel değildir. Koca-