EINSTEIN'DAN ÖTESİ

EVRENİN TEORİSİ İÇİN
EVRENSEL ARAYIŞ



MICHIO KAKU

ve

JENNIFER THOMPSON

ODTÜ YAYINCILIK

Einstein'dan Ötesi

Michio Kaku
ve
Jennifer Thompson

Einstein'dan Ötesi

Michio Kaku
ve
Jennifer Thompson

Evrenin Teorisi için Evrensel Arayış

ODTÜ YAYINCILIK

BEYOND EINSTEIN
The Cosmic Quest for the Theory of the Universe

© 1995 by Michio Kaku ve Jennifer Trainer Thompson

EINSTEIN'DAN ÖTESİ
Evrenin Teorisi için Evrensel Arayış

Michio KAKU ve Jennifer THOMPSON

ISBN: 978-605-4362-49-3

ODTÜ YAYINCILIK

ODTÜ Geliştirme Vakfı
Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayınları

© Tüm yayın hakları ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.'nindir. Yayıncının izni olmaksızın, hiçbir biçimde ve hiçbir yolla, bu kitabın içeriğinin bir bölümü ya da tümü yeniden üretilemez ve dağıtılamaz.

Yayın Yönetmeni
İlhami BUĞDAYCI

Çeviren
Engin TARHAN

Editör
Eren Veysel ERSOY

Kapak Tasarımı
İnova Tasarım

Sayfa Düzeni
Emrullah ÖZ

5. Basım Mart 2016
Ertem Basım Ltd. Şti.
Başkent Organize Sanayi Bölgesi 22. Cad. No: 6 Temelli-ANKARA
Tel: (312) 640 16 23 Faks: (312) 640 16 24
Sertifika no: 26886

ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
Öveçler 1042. Cadde No: 57/1 Çankaya-ANKARA
Tel: (312) 480 15 97 - 480 15 98
Faks: (312) 480 15 99
Sertifika no: 15723
www.odtuyayincilik.com.tr

Teşekkür

Hazırladıkları çizimler için Brigita Fuhrmann ve Cheryl Murphy'e, cömertçe sağladıkları katkılar için Michael Albert, David Aplin, Howard Chang, Daniel Greenberger, Arthur I. Miller, Heinz Pagels ve John Schwarz'a teşekkürlerimizi sunarız.

İçindekiler

Teşekkür v
Giriş ix

BÖLÜM I
EVRENİN KURAMI 1
1 Süper Sicimler: Her Şeyin Kuramı mı? 3
2 Birleştirme Arayışları 19
3 Kuantum Yapbozu 40
4 Sonsuzlar Bulmacası 60
5 Üst Kuark 81

BÖLÜM II
SÜPER SİMETRİ VE SÜPER SİCİMLER 91
6 Süper Sicim Kuramının Doğuşu 93
7 Simetri: Kayıp Halka 114
8 Süper Simetri 131

BÖLÜM III
DÖRDÜNCÜ BOYUTUN ÖTESİNDE 147
9 Büyük Patlamadan Önce 149
10 Karanlık Maddenin Gizemi 166

11 Kozmik Sicimler 179
12 Başka Bir Boyuta Yolculuk 188
13 Geleceğe Dönüş 206
14 Einstein'dan Ötesi 222

Notlar 235
Bibliyografya 245
Dizin 247

Giriş

Bu kitabın yazılışı 1950'li yılların ortalarına, California'da yaşayan Michio adlı bir çocuğun birleşik alan kuramını ilk kez duyduğu günlere kadar uzanır.

Michio, tanınmış bir bilim insanının, Albert Einstein'ın ölümünü duyduğu sırada dördüncü sınıf öğrencisiydi. Einstein'ın yaşam süresi boyunca pek çok önemli keşifte bulunarak dünya çapında bir ün elde ettiğini, fakat en büyük çalışmasını tamamlayamadan öldüğünü öğrenmişti. Anlatılanlar, Michio'yu büyülemişti.

Çocuk, eğer adam bu kadar harika ise, yarım kalan projesi harika bir şey olmalı, zengin meslek yaşamını taçlandıran bir başarı olmalı diye düşündü.

Merakı uyanan Michio, birleşik alan kuramı hakkında yazılmış kitaplar bulmak için Palo Alto kütüphanelerini arayıp taradı, fakat konuya ilişkin herhangi bir kitap veya makale bulamadı. Kuantum mekaniği hakkında üniversite düzeyinde yazılmış az sayıda makale vardı, fakat sekiz yaşındaki Michio bunları büyük ölçüde anlaşılamaz bulmuştu.

Michio'nun başvurduğu öğretmenlerinin ona verebilecekleri yanıt yoktu. Daha sonraları karşılaştığı fizikçiler dahi, Einstein'ın son kuramından bahsettiği zaman omuzlarını silkip geç-

mekteydiler. Fizikçilerin çoğu, bu kuramın erken doğmuş olduğunu veya evrenin dört kuvvetinin insanoğlu tarafından birleştirilebileceğine inanmanın açıkça bir küstahlık olduğunu düşünüyordu.

Yıllar sonra, güçlü etkileşimler konusunda öne sürülen sicim kuramı üzerinde çalışırken Michio da kuşkulanmaya, birleşik alan kuramı için yapılan araştırmaların belki de her şeye rağmen boşa kürek çekmekten ibaret olduğunu düşünmeye başlamıştı. Einstein ve diğer fizikçilerin elinden kurtulan o efsanevi birleşik alan kuramının belki de bu sicim kuramının gelişmiş bir sürümü olduğunu 1970'li yıllarda ortaya attıkları zaman, John Schwarz ve Joel Scherk adlı fizikçileri kimse ciddiye almamıştı.

Nihayet, 1984 yılında, bu durumu kucaklıyormuş gibi görünen heyecan verici bir kuramsal gelişme meydana geldi. Schwarz ve Scherk'in yıllar önce öngördükleri gibi, "Süper sicimler" birleşik alan kuramı için en uygun (ve tek) aday gibi görünmekteydi.

Kuramın ayrıntıları üzerindeki çalışmalar hâlâ sürüyor olmakla birlikte, bu keşfin fizik dünyasını sarsacağı açıkça belliydi. Michio ve Jennifer Thompson, daha önce birlikte çalışarak Nuclear Power: Both Sides adlı bir kitap yazmışlardı ve Michio'yu otuz yıl önce büyüleyen "Birleşik alan teorisi nedir?" sorusunu yanıtlamak için tekrar bir araya gelmeleri kaçınılmaz olmuştu.

İkimiz birlikte çalışarak, meslekten olmayan meraklı kişiler için yönlendirici bir işleve sahip olacak bir kitap yazmaya çalıştık. "Süper sicim devrimini" çoğunlukla yalnızca içerden biri tarafından sağlanabilecek sezgi ve içerik ile kapsayan bir kitap yazmak ve konuyu hareketli, tanıtıcı bir şekilde sunmak istiyorduk. Bir kuramsal fizikçi ve bir yazar olarak deneyimlerimiz birleşince, bu amaca yönelik güzel bir çalışma sağlandı.

Aynı zamanda, süper sicim kuramını bilimin son üç yüz yıllık bağlamının içerisinde sunmak suretiyle, fizik dünyasına kapsamlı bir bakış sağlamak da istedik. Kitapların çoğu modern fiziğin bir yönüne -örneğin izafiyet, kuantum mekaniği veya kozmoloji- değinir, fakat fiziğin kapsadığı daha büyük alanı göz ar-

dı eder. Einstein'ın Ötesinde, farklıdır: Birbirinden yalıtılmış araştırma alanlarında dolaşmak yerine, fiziğin tüm çalışma alanı üzerine odaklanmakta, her kuramın büyük resim içinde nereye oturduğunu göstermekteyiz. Birleşik alan kuramının kuantum mekaniği ile ne ilgisi var? Newton'un evrensel çekim kuramı, süper sicim kuramı ile nasıl bir ilişkiye sahip? Einstein'ın Ötesinde, bu tür soruları yanıtlamaktadır.

Bu kitapta, süper sicim kuramının maddeye nasıl birleşik bir tanım getirdiğini vurguladık. Kuarklar, leptonlar, Yang-Mills parçacıkları, gluonlar ve diğerleri gibi atom altı parçacıkların değişik özellikleri ve bunların süper sicimin farklı titreşimleri olarak nasıl görülebileceği üzerinde odaklandık. Bu kitabın kardeşi olan Hyperspace (Hiper uzay) adlı kitabında Michio, uzayın ve zamanın özellikleri üzerine, özellikle paralel evrenler, zaman kırılmaları ve onuncu boyut üzerine odaklanmaktadır.

Fizik alanındaki yeni gelişmeler karşısında heyecan duyuyoruz ve hem güvenilir, hem de ilgi çekici -kısacası Michio'nun küçükken okumak isteyeceği gibi- bir kitap yazmış olmayı umarız.

New York, N.Y. MICHIO KAKU
Williamston, Ma. JENNIFER THOMPSON

Bölüm I

Evrenin Kuramı

1
Süper Sicimler: Her Şeyin Kuramı mı?

YENİ BİR KURAM modern fiziğin temellerini sallıyor, evrenimize ilişkin el üstünde tutulan fakat geçerliliğini yitirmiş görüşleri hızla alaşağı ediyor ve onları nefes kesici güzellik ve zarafete sahip yeni matematik ile değiştiriyor. Bu kurama ilişkin henüz çözümlenmemiş sorular mevcut olmakla birlikte, fizikçiler arasında neredeyse elle tutulur bir heyecan var; dünyanın her yanında, önde gelen fizikçiler yeni bir fiziğin doğuşuna tanık olduğumuzu duyuruyorlar.

Son on yıl içinde meydana gelen bir dizi şaşırtıcı gelişme, "süper sicimler" olarak adlandırılan bu kuramın geliştirilmesine yol açmıştır ve bu durum, birleşik alan teorisinin belki de sonunda ortaya konulabilecek duruma geldiğine işaret etmektedir: Evrendeki bilinen bütün kuvvetleri birleştirecek kapsamlı, matematiksel bir çerçeve.

Süper sicimlerin savunucuları, daha da ileri giderek bu kuramın en temel "evrenin teorisi"[1] olabileceğini dahi iddia etmektedirler.

Fizikçilerin yeni fikirlere genellikle sakıngan bir şekilde yaklaşıyor olmasına karşın, Princeton'dan fizikçi Edward Witten, süper sicim kuramının gelecek elli yıl içinde fizik dünyasına hâkim olacağını ileri sürmüştür. Yakın bir zaman önce, "süper sicim teorisi, tepeden tırnağa bir mucizedir" görüşünü ifade etmiştir. Bir fizik konferansında, fizikte kuantum kuramının doğuşu kadar büyük bir devrime tanıklık ediyor olabileceğimizi söyleyerek dinleyicilerin şaşkınlığına yol açmıştır. Sözlerine devam etmiştir, "Bu kuram, muhtemelen uzayın ve zamanın aslında ne olduğu yolunda yepyeni bir anlayışa, genel görelilikten bu yana en heyecan verici anlayışın oluşmasına yol açacaktır."[1]

Bilim insanlarının iddialarını abartmama konusunda daima dikkatli davranan Science dergisi dahi, süper sicim kuramının doğuşunu Kutsal Kâse'nin bulunuşu ile kıyaslamıştır. Science dergisinin öne sürdüğüne göre, bu devrim "Matematikte gerçek sayılardan karmaşık sayılara geçişten daha az önemli değildi."[2]

Kuramın yaratıcılarından ikisi, California Institute of Technology'den John Schwarz ve Londra'daki Queen Mary College'den Michael Green, onu -biraz muzipçe- Her Şeyin Kuramı (A Theory of Everything - TOE) olarak adlandırmışlardır.[3]

Bu heyecanın merkezinde, süper sicimlerin galaksi hareketlerinden atomun çekirdeğindeki devinimlere varıncaya kadar bilinen *bütün* fizik olaylarını açıklayabilecek kapsamlı bir kuram oluşturabileceğinin kavranmış olması vardır. Bu kuram, evrenin kökenine, zamanın başlangıcına ve hatta çok boyutlu evrenlerin varlığına ilişkin ürkütücü öngörülerde dahi bulunmaktadır.

Fiziksel evrenimiz üzerine birkaç bin yıl boyunca zahmetli bir şekilde biriktirilen bilgilerin meydana getirdiği uçsuz bucaksız bilgi deposunun tek bir kuram içinde özetlenebiliyor olması, bir fizikçi için sarhoşluk uyandırıcı bir düşüncedir.

Örneğin, Alman fizikçiler dünya üzerinde mevcut fizik bilgilerini özetleyen kapsamlı bir yapıt olan *Handbuch der Physik* adında bir ansiklopedi hazırlamışlardır. Bir kütüphanede tam bir kitap rafını işgal eden *Handbuch*, bilimsel öğrenmenin zirvesini temsil etmekteydi. Eğer süper sicim kuramı doğruysa, o takdirde bu ansiklopedinin içerdiği bilgilerin tamamının (ilkesel olarak) *tek bir denklemden* türetilmesi olasıdır.

Fizikçiler, süper sicim kuramı karşısında özel bir heyecan duymaktadır, çünkü bu kuram, maddenin niteliklerine ilişkin görüşlerimizi gözden geçirmeye bizi zorlamaktadır. Eski Yunanlılardan bu yana bilim insanları, evrenin yapı taşlarının minicik nokta parçacıklar olduğunu varsaymışlardır. Demokritos, bu nihai, parçalanamaz madde birimlerini tarif etmek için *atomos* kelimesini ortaya atmıştır.

Buna karşın, süper sicim kuramı doğadaki nihai yapı taşlarının titreşen minik sicimlerden meydana geldiğini varsayar. Eğer doğruysa bu, vücudumuzdan tutun da en uzak yıldıza kadar bütün maddelerin içindeki proton ve nötronların sonuç olarak sicimlerden oluştuğu anlamına gelir. Bu sicimleri hiç kimse görmemiştir, çünkü bunlar, gözlem yapabilmek için çok küçüktürler (Yaklaşık olarak bir protonun *100 milyon kere milyonda* biri kadardırlar). Süper sicim kuramına göre, Dünya'mızın nokta şeklindeki parçacıklardan meydan gelmiş gibi görünmesinin tek nedeni ölçü aletlerimizin bu minik sicimleri göremeyecek kadar kaba saba olmasıdır.

Bu denli basit bir kavramın -nokta parçacıkları sicimlerle değiştirmek- doğadaki parçacıkların ve (parçacık alışverişi sonucu ortaya çıkan) kuvvetlerin zengin çeşitliliğini açıklayabiliyor oluşu, ilk bakışta garip gelebilir. Buna karşın, süper sicim kuramı öylesine zarif ve kapsamlıdır ki, evrende her biri insanı şaşırtacak kadar çeşitliliğe sahip özellikler taşıyan milyar kere milyarlarca farklı türde parçacığın ve maddenin bulunabileceğini basit bir şekilde açıklayabilmektedir.

Süper sicim kuramı, tıpkı bir keman telinin bütün müzik notalarını ve armoni kurallarını "birleştirmek" için kullanılabilmesi gibi, doğanın tutarlı ve her şeyi kapsayan bir resmini çizmek için kullanılabilir. Tarihsel olarak, müzik kuralları değişik müzik seslerinin deneme yanılma yöntemi uygulanarak ancak binlerce yıl boyunca araştırılmasından sonra açık ve kesin bir biçimde ifade edilmiştir. Bu çeşit çeşit kural, günümüzde tek bir resimden -yani her biri müzik gamının ayrı bir notasını yaratan farklı frekanslarda titreşebilen bir telden- kolaylıkla türetilebilir. Titreşen tel tarafından yaratılan Do veya Si bemol gibi notalar, kendi başlarına diğer hiç bir notadan daha temel değildir. Buna

karşın temel olan şey, tek bir kavramın, titreşen tellerin, armoni kurallarını açıklayabileceğidir.

Dolayısıyla, bir keman telinin fiziksel özelliklerini bilirsek, müzik notalarına ilişkin karmaşık kuramı öğrenebilir ve yeni armoniler ve akorlar öngörebiliriz. Aynı şekilde, süper sicim kuramına göre doğada bulunan temel kuvvetler ve çeşitli parçacıklar, titreşen tellerin farklı kiplerinden (modlarından) başka bir şey değildir. Örneğin kütle çekimsel etkileşime yol açan şey, dairesel bir sicimin (bir döngünün) en alt düzeydeki titreşim kipidir. Sicimin daha üst düzeylerde uyarılması, farklı şekillerde maddeler yaratır. Süper sicim kuramının açısından bakıldığı zaman hiç bir kuvvet veya parçacık, bir diğerine kıyasla daha temel değildir. Bütün parçacıklar, yalnızca titreşen sicimlerin farklı titreşimsel rezonanslarından ibarettir. Böylece, evrenin neden böylesine zengin çeşitlilikte parçacık ve atomlarla dolu olduğu, tek bir çerçeve –süper sicim kuramı– tarafından açıklanabilmektedir.

Eski zamanlardan beri sorulmakta olan "madde nedir?" sorusunun basit yanıtı, maddenin sicimin tıpkı Sol veya Fa notaları gibi farklı kiplerde titreşen parçacıklardan meydana geldiği şeklindedir. Sicim tarafından yaratılan "müzik", maddenin kendisidir.

Dünyadaki bütün fizikçilerin bu yeni kuram karşısında bu denli heyecan duymasının temel nedeni, yüzyılın belki de en önemli bilimsel problemine çözüm getiriyormuş gibi görünmesidir: Doğanın dört kuvvetini geniş kapsamlı tek bir kuram içinde birleştirmek. Bu büyük heyecanın merkezinde yatan şey, evrenimizi yöneten dört temel kuvvetin aslında süper sicim tarafından yönetilen tek bir birleştirici kuvvetin farklı görüntüleri olduğunun ortaya çıkmasıdır.

Dört Kuvvet

Kuvvet, bir cismi hareket ettirebilen herhangi bir şeydir. Örneğin manyetizma, bir kuvvettir, çünkü bir pusulanın iğnesini döndürebilir. Elektrik, bir kuvvettir, çünkü tüylerimizin diken

diken olmasına yol açabilir. Son iki bin yıl boyunca, dört temel kuvvetin mevcut olduğunu yavaş yavaş anladık: Kütleçekimi,* elektromanyetizma (ışık) ve iki tür, zayıf ve güçlü (şiddetli) nükleer kuvvet (eski insanlar tarafından tanımlanan ateş ve rüzgâr gibi diğer kuvvetler, dört kuvvet tarafından açıklanabilir). Buna karşın, bu dört kuvvetin neden böylesine farklı göründüğü, evrenimizin büyük bilimsel bulmacalarından biri olmuştur. Son elli yıldır fizikçiler, bunları kapsamlı tek bir resim içinde birleştirme problemiyle boğuşmuşlardır.

Süper sicim kuramının fizikçiler arasında yarattığı heyecanı değerlendirmenize yardımcı olmak için, her kuvveti anlatmak ve birbirlerinden ne denli farklı olduklarını göstermek için birkaç dakikamızı ayıralım.

Kütle çekimi güneş sistemini bir arada tutan, Dünya'nın ve gezegenlerin yörüngelerinde kalmasını sağlayan ve yıldızların patlayıp parçalanmasına engel olan bir çekici kuvvettir. Evrenimizde kütle çekimi, trilyonlar kere trilyonlarca kilometre dışarıya, en uzaktaki yıldızlara kadar uzanan, egemen kuvvettir; bir elmanın toprağa düşmesine neden olan ve ayaklarımızı yerde tutan bu kuvvet, galaksilerin evrendeki hareketlerini yöneten kuvvetin kendisidir.

Elektromanyetik kuvvet, atomu bir arada tutar. Elektronların (negatif yüklüdürler) atomun pozitif yüklü çekirdeğinin etrafındaki yörüngelerinde dönmesini sağlar. Elektromanyetik kuvvet elektronların yörünge yapısını belirlediği için, kimya yasalarını da yönetir.

Dünya üzerindeyken elektromanyetik kuvvet çoğunlukla yerçekimini yenecek kadar güçlüdür. Örneğin, bir tarağı ovalayarak, masanın üstündeki kâğıt parçalarını toplamak mümkün olur. Bu elektromanyetik kuvvet, yerçekiminin aşağıya doğru kuvvetine karşı koyar ve 0,0000000000001 santimetre mesafeye

* **Editörün Notu:** "Yerçekimi" ifadesi, genel "kütleçekimi" kavramının sadece dünyamızı ve onun çekim alanından etkilenen kütleleri ilgilendiren çok özel bir kısmına karşılık gelmektedir. Kütleçekimi kavramı ise, kütlesi olan her varlığı, örneğin gezegenleri, yıldızları, galaksileri, kara delikleri ve hatta mikro parçacıkları bile kapsar. Kitap boyunca bu kavramlar, yerine göre fiziksel anlamlarına uygun şekilde ayırt edilerek kullanılmıştır.

kadar (kabaca bir çekirdeğin büyüklüğü) diğer kuvvetlere egemen olur.

(Elektromanyetik kuvvetin bizim için en tanıdık olan şekli, belki de ışıktır. Atom kurcalandığı zaman, elektronların çekirdek etrafındaki hareketi düzensizleşir ve elektronlar, ışık ve başka türde ışınımlar yaymaya başlar. X ışını, radar, mikrodalga veya bildiğimiz ışık şeklindeki bu ışınımlar, elektromanyetik ışınımın en saf şeklidir. Radyo ve televizyon dalgaları elektromanyetik kuvvetin farklı şekillerinden ibarettir.)

Elektromanyetik kuvvet, atom çekirdeğinin içinde zayıf ve güçlü (nükleer) kuvvetler tarafından yenilgiye uğratılır. Örneğin güçlü kuvvet, protonları ve nötronları çekirdeğin içinde bir arada tutmaktan sorumludur. Herhangi bir çekirdekte bulunan protonların hepsi pozitif yüklüdür. Kendi başlarına bırakıldıkları takdirde, ortaya çıkan itme gücü çekirdeğin parçalanmasına yol açardı. Dolayısıyla, güçlü kuvvet, protonlar arasındaki itme kuvvetinin üstesinden gelir. Kabaca ifade edecek olursak, elementlerin küçük bir bölümü güçlü kuvvet (çekirdeği bir arada tutma eğilimi gösterir) ile itici elektrik kuvveti (çekirdeği parçalama eğilimi gösterir) arasındaki hassas dengeyi korumayı başarabilir, doğada bilinen sadece yüz kadar elementin var olmasının nedeni de budur. Eğer bir çekirdekte yüzden fazla proton mevcut olsaydı, güçlü nükleer kuvvet bunların arasındaki itme gücünü kontrol altında tutmakta zorlanırdı.

Güçlü nükleer kuvvet başıboş bırakıldığı takdirde, ortaya yıkıcı bir etki çıkabilir. Örneğin, bir atom bombasındaki uranyum çekirdeği kasıtlı olarak parçalandığı zaman, çekirdeğin içine hapis olmuş bulunan muazzam enerjiler nükleer bir patlama şeklinde patlayarak serbest kalır. Ağırlık açısından karşılaştırıldığı zaman bir nükleer bomba, dinamitin içindeki enerjinin bir milyon katından fazla enerji açığa çıkarır. Gerçekten de güçlü kuvvet, elektromanyetik kuvvet tarafından yönetilen kimyasal bir patlayıcıya kıyasla çok daha büyük bir enerji sağlayabilir.

Güçlü kuvvet, yıldızların ışıldamasının nedenini de açıklar. Bir yıldız, temel olarak çekirdeğinin içindeki güçlü kuvvetin açığa çıkmış olduğu muazzam bir nükleer fırındır. Örneğin, eğer

güneş enerjisi nükleer yakıttan değil de yanan kömürden elde ediliyor olsaydı, güneş ışığının yalnızca çok küçük bir bölümü üretilebilirdi. Güneş, hızla yanarak küle dönerdi. Güneş olmadan Dünya soğur ve üzerindeki yaşam sona ererdi. Dolayısıyla, güçlü kuvvet olmadığı takdirde yıldızlar parıldayamazdı, ortada bir Güneş olmazdı ve Dünya üzerinde yaşam mümkün olmazdı.

Eğer çekirdeğin içindeki tek kuvvet güçlü kuvvet olsaydı, çekirdeklerin çoğu kararlı bir yapıya sahip olurdu. Ancak, deneyimlerimizden bilmekteyiz ki, bazı çekirdekler (doksan iki protonu bulunan uranyum gibi) o kadar büyüktür ki, kendiliklerinden parçalanır ve bizim radyoaktivite olarak adlandırdığımız küçük parça ve yıkıntılar açığa çıkarırlar. Bu elementlerde çekirdek kararsızdır ve dağılıp yok olur. Demek ki, radyoaktiviteyi yöneten ve çok ağır çekirdeklerin parçalanıp yok olmasından sorumlu, daha zayıf başka bir kuvvetin daha iş başında olması gerekmektedir. Bu da zayıf kuvvet diye adlandırılır.

Zayıf kuvvet o denli kısa ömürlüdür ki, onu yaşamlarımızda doğrudan hissetmeyiz. Bununla birlikte, dolaylı etkilerini hissederiz. Bir uranyum parçasının yanına bir Geiger sayacı konduğu zaman, duyduğumuz tıkırtılar, zayıf kuvvet tarafından yol açılan çekirdek radyoaktivitesini ölçer. Zayıf kuvvetin açığa çıkardığı enerji, sıcaklık yaratmak için de kullanılabilir. Örneğin Dünya'nın içinde bulunan yoğun sıcaklık, kısmen Dünya'nın çekirdeğinin derinliklerindeki radyoaktif elementlerin bozunmasından kaynaklanmaktadır. Bu muazzam sıcaklık, Dünya'nın yüzeyine ulaştığı takdirde volkanik bir öfke ile püskürebilir. Benzer şekilde, bir şehri aydınlatmaya yetecek kadar elektrik üretebilen bir nükleer santralin nüvesinde açığa çıkan sıcaklık da zayıf kuvvet tarafından (güçlü kuvvetin yanı sıra) üretilir.

Bu dört kuvvet olmasaydı, yaşamın hayal edilmesi dahi mümkün olmazdı: Güneş patlardı ve yıldızlarla galaksilerin parlamasını sağlayan atomik ateşler sönerdi. Bu nedenle, kuvvetler fikri, en azından Isaac Newton'a kadar uzanan eski ve tanıdık bir fikirdir. Yeni olan şey, bu kuvvetlerin tek bir kuvvetin farklı görüntüleri olduğu fikridir.

Günlük yaşam deneyimleri, bir cismin kendisini çeşitli şekillerde ortaya koyabileceği gerçeğini göstermektedir. Bir bardak suyu alın ve kaynayarak buhara dönüşünceye kadar ısıtın. Normal olarak sıvı halde bulunan su, gaz olan ve hiç bir sıvıya benzemeyen özellikler taşıyan buhara dönüşebilir, fakat hâlâ sudur. Şimdi bir bardak suyu dondurup buza dönüştürün. Sıcaklığını çekip alarak, bu sıvıyı katı bir şekle dönüştürürüz. Fakat hâlâ sudur, sadece belli koşullar altında yeni bir şekil almıştır.

Daha etkileyici bir başka örnek de bir taşın, özellikle eğer o taş uranyum ise, ışığa dönüşebilmesi ve enerjinin kendisini bir atom bombası olarak göstermesidir. Demek ki madde kendisini iki şekilde gösterebilir - maddi bir cisim (uranyum) olarak veya enerji (ışınım) olarak.

Çok benzer bir şekilde bilim insanları son yüz yıl içerisinde elektriğin ve manyetizmanın aynı kuvvetin görüntüleri olduğunu fark etmişlerdir. Buna karşın bilim insanları, zayıf kuvvetin dahi aynı kuvvetin bir görüntüsü olarak düşünülebileceğini ancak son yirmi beş yıl içerisinde anlamışlardır. 1979 yılında Nobel Ödülü, zayıf kuvvetle elektromanyetik kuvvetin "elektro-zayıf" kuvvet olarak adlandırılan tek bir kuvvet olarak nasıl birleştirilebileceğini gösteren üç fizikçiye (Steven Weinberg, Sheldon Glashow ve Abdus Salam) verilmiştir. Aynı şekilde, fizikçiler artık başka bir kuram ("Büyük Birleşik Kuram - Grand Unified Theory" veya GUT olarak adlandırılır) sayesinde elektro-zayıf kuvvetle güçlü etkileşimlerin birleştirilebileceğine inanmaktadırlar.

Ancak, nihai kuvvet -kütleçekimi- fizikçilerin elinden yakasını kurtarmayı uzun süre başarmıştır. Aslına bakılacak olursa kütle çekimi diğer kuvvetlerden o denli farklıdır ki, bilim insanları onu diğerleri ile bağdaştırmaktan son altmış yıldır ümidi kesmiş durumdadırlar. Kuantum mekaniği her ne kadar diğer üç kuvveti birbiri ile göz alıcı bir biçimde bağdaştırmış olsa da, kütle çekimine sıra geldiği zaman berbat bir şekilde başarısızlığa uğramıştır.

Kayıp Halka

Yirminci yüzyılda iki büyük kuram, diğer bütün kuramların önüne geçmiştir: Atom altı üç kuvveti açıklamaktaki mükemmel başarısı ile kuantum mekaniği ve Einstein'ın genel izafiyet (görelilik) olarak adlandırılan kütleçekim kuramı. Bu iki kuram, bir bakıma birbirinin tersidir: Kuantum mekaniğinin çok küçük olanın -atom, molekül, proton ve nötronların- dünyasına adanmış olmasına karşın görelilik, çok büyük olanın, yıldızların ve galaksilerin kozmik ölçeğine sahip olanın fiziksel dünyasını kontrol etmektedir.

Fizikçiler açısından bu yüzyılın en büyük bulmacalarından birisi, bir araya getirildikleri zaman ilkesel olarak insanlığın fiziksel evrenimiz hakkındaki bütün bilgilerinin türetilebilecek olduğu bu iki kuramın birbirleri ile böylesine uyumsuz oluşudur. Aslına bakılacak olursa, kuantum mekaniğinin genel görelilik ile birleştirilmesi için bu yüzyılda dünyanın en büyük dehalarının harcadığı bütün çabalar, başarısız olmuştur. Albert Einstein dahi, yaşamının son otuz yılını kütleçekimi ve ışığı kapsayacak bir birleştirici kuram arayışı içerisinde geçirmiştir.

Bu iki kuramın her biri, kendilerine özgü alanlarda muhteşem birer başarı elde etmiştir. Örneğin, atomun sırlarını açıklamak konusunda kuantum mekaniğinin hiç bir rakibi yoktur. Kuantum mekaniği nükleer fiziğin gizemlerini çözmüş, hidrojen bombasının gücünü serbest bırakmış ve transistörlerden lazerlere varıncaya kadar her şeyin işleyişini açıklamıştır. Aslında bu kuram o denli güçlüdür ki, eğer yeterli vaktimiz olsaydı kimyasal elementlerin bütün özelliklerini bir laboratuara hiç bir zaman girmek zorunda kalmaksızın bilgisayar yardımı ile öngörmemiz mümkün olabilirdi. Bununla beraber, atomun dünyasını açıklamakta tartışılmaz bir başarıya sahip olan kuantum mekaniği, sıra kütleçekimi kuvvetini açıklamaya geldiği zaman başarısız olmaktadır.

Diğer yandan, genel görelilik de kendi alanında, galaksilerin kozmik ölçeğinde görkemli başarılara imza atmıştır. Fizikçilerin ölmekte olan muazzam bir yıldızın en son ulaşabileceği durum

olduğuna inandıkları kara delik, genel göreliliğin herkesçe bilinen bir kehanetidir. Genel görelilik, evrenin ilk olarak galaksileri birbirinden ayırıp muazzam bir hızla etrafa fırlatan bir Büyük Patlama ile başladığını da öngörmektedir. Buna karşın, genel görelilik kuramı, atomların ve moleküllerin davranışını açıklayamamaktadır.

Böylece fizikçiler, her biri farklı matematik kuralları kullanan, her biri kendi dünyasında şaşılacak doğrulukta öngörülerde bulunan, birbirinden son derece ayrı ve farklı iki ayrı kuramla tanışmışlardı.

Sanki doğa, iki eli olan ve sağ eli sol elinden tamamen farklı görünen ve tümüyle bağımsız olarak işlev gören birini yaratmış gibiydi. Doğanın sonuç olarak sade ve zarif olması gerektiğine inanan fizikçiler için bu, bir bulmacaydı; doğanın böylesine garip bir şekilde işleyebileceğine inanamıyorlardı

Süper sicimler, resme bu noktada girmektedirler, çünkü bu iki büyük kuramın ne şekilde kucaklanması gerektiği yolundaki sorunu çözme olasılıkları vardır. Aslında, süper sicim kuramının işe yaraması için, her iki yarıya da -kuantum mekaniği ve görelilik- *ihtiyaç* bulunmaktadır. Süper sicimler, kütleçekimi konusundaki bir kuantum kuramının anlamlı olduğu ilk ve *tek* matematiksel çerçevedirler. Sanki bilim insanları kozmik bir yapboz bulmacayı geçmiş altmış yıl boyunca bir araya getirmeye çalışmış ve eksik olan parçanın süper sicimler olduğunun birdenbire farkına varmış gibidirler.

Bilimkurgudan Daha Garip

Bilim insanları, genellikle tutucudur. Yeni, özellikle azıcık dahi olsa garip öngörülerde bulunan kuramları kabul etmekte yavaş davranırlar. Buna karşın süper sicim kuramı, şimdiye kadar önerilmiş bütün kuramlar arasındaki en çılgınca öngörülerden bazılarını içermektedir. Fiziğin böylesine çok miktarda özünü tek bir denklemin içine sıkıştırma yeteneğine sahip herhangi bir kuramın önemli fiziksel sonuçlarının var olmasından kaçınılamaz, bu kuram da bir istisna değildir.

(1958 yılında büyük kuantum fizikçisi Niels Bohr, fizikçi Wolfgang Pauli tarafından yapılan bir konuşmaya katılmıştı. Dinleyicilerin pek beğenmediği konuşmanın sonunda Bohr, "Hepimiz, kuramının delice olduğu konusunda aynı fikirdeyiz. Uyuşamadığımız nokta, yeterince delice olup olmadığı," yorumunu yapmıştı. Garip öngörüleri nedeniyle süper sicim kuramı kesinlikle "yeterince delice" bir kuramdır.

Çok Boyutlu Evrenler

1920'lerde Einstein'ın genel görecelik kuramı, evrenimizin nasıl ortaya çıktığı konusundaki en iyi açıklamayı sağlamaktaydı. Einstein'ın kuramına göre evren, 10 ila 20 milyar yıl önce Büyük Patlama olarak adlandırılan muazzam bir patlama sonucunda doğmuştu. Yıldızlar, galaksiler ve gezegenler dahil, evrendeki bütün maddeler, başlangıçta son derece yoğun bir top halinde toplanmış, bu top şiddetle patlayarak şu andaki genişleyen evrenimizi yaratmıştı. Bu kuram, bütün yıldızların ve galaksilerin (Büyük Patlamanın verdiği güçle hareket ederek) hâlihazırda Dünya'dan uzaklaşmakta oldukları yolunda gözlenen gerçeği açıklamaktadır.

Bununla birlikte, Einstein'ın kuramında pek çok açık nokta bulunmaktaydı. Evren neden patlamıştı? Büyük Patlamadan önce neler oluyordu? Bilim insanları kadar ilahiyatçılar da Büyük Patlama kuramının yetersiz olduğunu yıllar önce anlamıştır, çünkü bu kuram Büyük Patlamanın kaynağını ve yapısını açıklamayı başaramamıştı.

Süper sicim kuramı, Büyük Patlamadan önce neler olduğunu inanılmaz bir şekilde öngörmektedir. Süper sicimlere bakılacak olursa, başlangıçta evren günümüzdeki gibi dört boyutlu (üç uzay boyutu ve bir zaman boyutu) değil, on boyutluydu. Bununla beraber, on boyutlu evren, kararsız oluşu nedeniyle iki parçaya "kırıldı", dört boyutlu küçük bir evren, evrenin geri kalanından ayrıldı. Bir kıyaslama yapmak için, yavaşça titreşen bir sabun köpüğünü zihninizde canlandırın. Eğer titreşimler yete-

rince güçlü bir hal alırsa, sabun köpüğü kararsız bir duruma gelir ve iki ya da daha fazla sayıda daha küçük sabun köpüğüne bölünür. Başlangıçtaki sabun köpüğünün on boyutlu evreni temsil ettiğini, daha küçük sabun köpüklerinden birinin de evrenimizi temsil ettiğini gözünüzde canlandırın.

Eğer doğruysa, bu kuram evrenimizin kendisiyle birlikte var olan bir "kardeş evren"e sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bir başka anlamı da, evrenimizin başlangıçtaki ayrılışının o kadar büyük bir şiddetle olduğu ki, bizim Büyük Patlama olarak bildiğimiz patlamayı meydana getirdiğidir. Dolayısıyla süper sicim kuramı, Büyük Patlamayı çok daha şiddetli bir dönüşümün, on boyutlu evrenin iki parçaya kırılışının bir yan ürünü olarak açıklamaktadır.

Bununla beraber, bazı bilimkurgu romanlarında olduğu gibi, günün birinde yolda yürürken farklı boyutlardaki başka bir evrenin içine düşüvereceğinizden endişe etmenize gerek yoktur. Süper sicim kuramı uyarınca, çok boyutlu öbür evren öylesine küçük bir ölçüye (bir atomun çekirdeğinin 100 milyar kere milyarda biri kadar) sıkışmıştır ki, insanların ona ulaşması asla mümkün olmayacaktır. Bu yüzden, diğer boyutların neye benzediği, akademik bir soru olarak kalmaktadır. Bu bağlamda, diğer boyutlar arasında yolculuk olasılığı, yalnızca evrenin başlangıcında, evren on boyutlu ve boyutlar arası yolculuk fiziksel olarak mümkün iken söz konusuydu.

Karanlık Madde

Bilimkurgu yazarları, bazen çok boyutlu uzaylara ek olarak romanlarını renklendirmek için "karanlık madde"den, özellikleri evrende bulunan başka hiç bir maddeye benzemeyen gizemli bir madde türünden bahsederler.

Karanlık madde, geçmişte öngörülmüşse de, bilim insanları teleskoplarını ve aletlerini gökyüzünde nereye yönlendirirlerse yönlendirsinler, Dünya üzerinde bulunan yüz civarındaki tanıdık elementten başka bir şeye rastlamamışlardı. Evrenin en uzak yerlerindeki yıldızlar dahi alışılagelmiş hidrojen, helyum, oksi-

jen, karbon ve diğerlerinden meydana geliyordu. Bu, bir yandan rahatlatıcıydı; dış uzayda nereye gidersek gidelim, uzay gemilerimizin yalnızca Dünya'da mevcut kimyasal elementlerle karşılaşacağını biliyorduk. Diğer taraftan, dış uzayda hiç bir sürpriz olmayacağını bilmek, biraz moral bozucuydu.

Süper sicim kuramının bunu değiştirmesi olasıdır, çünkü on boyutlu bir evrenin daha küçük evrenlere bölünmesi, muhtemelen yeni madde türleri yaratmıştır. Karanlık madde, bütün maddeler gibi bir ağırlığa sahiptir, fakat görünmezdir (adının gerekçesi). Ayrıca karanlık madde tatsız ve kokusuzdur. En hassas cihazlarımız dahi onun varlığını algılayamaz. Karanlık maddeyi avucunuzda tutabilseydiniz ağırlığını hissederdiniz, fakat başka bir şekilde algılayamazdınız. Aslında karanlık maddeyi algılamanın tek yolu, ağırlığıdır: Diğer madde türleri ile bilinen başka hiç bir etkileşimi yoktur.

Karanlık madde, kozmolojinin bulmacalarından birini çözmeye de yardımcı olabilir. Eğer evrende yeterli madde varsa, galaksilerin birbirlerini kütleçekimsel olarak çekmeleri nedeniyle evrenin genişlemesinin yavaşlaması ve hatta belki de tersine dönmesi, böylece evrenin çökmesi gerekecektir. Bununla beraber, evrende bu geri dönüş ve kaçınılmaz çöküşe yeterli miktarda madde olup olmadığına dair çelişkili veriler bulunmaktadır. Görülebilir evrendeki toplam madde miktarını hesaplamaya uğraşan gökbilimciler, yıldızlarda ve galaksilerde evrenin çökmesine yol açmaya yeterli madde olmadığını bulmuşlardır. Buna karşın, başka (kızıla kaymaları ve yıldızların parlaklığını esas alan) hesaplamalar, evrenin çökebileceğini göstermektedir. Bu, "kayıp kütle" problemi olarak adlandırılmaktadır.

Eğer süper sicim kuramı doğruysa, gökbilimcilerin bu madde türünü teleskoplarında ve cihazlarında neden göremediklerini açıklayabilir. Ayrıca, eğer karanlık madde kuramı doğruysa, karanlık madde evreni istila edebilir. (Aslında alışılagelmiş maddeden daha fazla karanlık madde mevcut olabilir.) Bu bakımdan, süper sicim kuramı sadece Büyük Patlamadan önce neler olduğunu aydınlatmakla kalmaz, evrenin ölümü durumunda neler olabileceğini de öngörebilir.

Süper Kuşkucular

Doğal olarak, bu büyüklükte -nokta parçacıkları sicimlerle, dört boyutlu bir evreni on boyutlu bir evrenle değiştirmek gibi- iddialarda bulunan her kuram, kuşkuculuğu davet edecektir. Her ne kadar süper sicim kuramı matematikçileri dahi irkilten ve dünyanın her yanındaki fizikçileri heyecanlandıran matematiksel bir perspektif açıyor olsa da, kuramı kesin olarak test edecek güçte makineler kurmamız yıllar ve hatta on yıllar sürebilir. Kuşkucular, su götürmez deneysel kanıtlar elde edilinceye kadar geçecek süre içerisinde güzelliğine, zarafetine ve benzersiz oluşuna aldırmaksızın süper sicim kuramına ikna olmamaya devam edeceklerdir.

Harvard'lı fizikçi Sheldon Glashow, "En iyi ve en parlak düzinelerce bilim insanının yıllardır süren yoğun çabaları," diye şikâyet etmektedir, "tek bir kanıtlanabilir öngörü ile sonuçlanmamıştır ve yakın bir zaman içinde sonuçlanması da beklenmemelidir."[4]

Dünyaca tanınmış Hollandalı fizikçi Gerard 't Hooft, Chicago dışındaki Argonne Ulusal Laboratuarı'nda yaptığı bir konuşmada süper sicimleri çevreleyen tantanayı "Amerikan televizyonundaki reklamlar"[5] ile kıyaslayacak kadar ileri gitmiştir - çok fazla reklam ve çok az içerik.

Gerçekten de, Princeton'dan fizikçi Freeman Dyson'ın dört kuvvetin birbirleriyle nasıl birleştirileceğini tanımlayan tek bir matematiksel modele genel bir göndermede bulunarak bir seferinde dikkat çektiği gibi, "Fiziğin zemini, birleşik kuram cesetleri ile doludur."[6]

Ancak, süper sicimleri savunanlar, kuramı kanıtlayabilecek belirleyici bir deneyin yıllarca uzakta bulunmasına karşın, kuramı yalanlayan hiç bir deneyin mevcut olmadığını söylemektedirler. Başka hiç bir kuram, böyle bir iddiada bulunamaz.

Doğrusu istenirse, bu teorinin hiç bir rakibi bulunmamaktadır: Kuantum ve görelilik kuramları arasında tutarlı bir birliktelik sağlamak için, hâlihazırda başka hiç bir yol mevcut değildir. Geçmişte bu kadar çok sayıda girişimin başarısız olması nede-

niyle bazı fizikçiler bir birleşik kuram bulmak üzere yapılan yeni girişimlere kuşkuyla yaklaşmakta olsa da, bu girişimlerin başarısızlığı, kütleçekimini kuantum mekaniği ile birleştirmeyi başaramamış olmalarından kaynaklanmaktadır. Buna karşın süper sicim kuramı, bunu sağlıyormuş gibi görünmektedir; görünüşe göre, öncüllerini öldüren hastalığa sahip değildir. Bu nedenle süper sicim kuramı, bütün kuvvetlerin gerçek anlamda birleştirilmesini sağlayacak, açık ara ile en çok ümit vaat eden adaydır.

SSC – Tarihin En Büyük Bilimsel Makinesi

Zayıf, elektromanyetik, güçlü ve muhtemelen kütleçekimsel etkileşimlerin birleşik bir tanımlamasını yapmak üzere hücuma geçmiş olan fizik dünyası, bu kuramların belli özelliklerini test etmek amacıyla güçlü makineler üretmek üzere çaba harcamıştır. Bu kuramlar boş spekülasyonların konusu değil, yoğun bir uluslararası ilginin odak noktasıdır.

ABD hükümeti, 1980'lerin büyük bölümünde kendisini atomun çekirdeğinin derinliklerini araştırmakta kullanılacak muazzam bir "atom parçalayıcı" ya da parçacık hızlandırıcı inşa etmeye adamıştır. Superconducting Super Collider - Süperiletken Süper Çarpıştırıcı (SSC) adı verilen bu makine, o zamana kadar kurulmuş en büyük bilimsel makine olacaktı; fakat proje, 1993 yılında iptal edildi.

SSC'nin birincil görevi, yeni etkileşimler bulmak, elektro-zayıf gibi birleşik kuramların öngörülerini test etmek ve eğer mümkün olursa GUT'un ve süper sicim kuramının sınırlarını yoklamaktı. Bu güçlü makine, efsaneleşmiş bu birleştirme için yapılan araştırmanın çeşitli yönleri üzerine odaklanacaktı. Büyük bir şehre yeterli olacak enerjiyi yutan SSC, parçacıkları trilyonlarca elektron voltluk enerjilere ulaştırarak diğer atom altı parçacıklarla çarpıştıracaktı. Fizikçiler, bu kuramların bazı yönlerini doğrulamak için gerekli olan çok önemli bilgilerin, atomun çekirdeğinin derinliklerinde saklı olacağını umnmaktaydılar.

Gelecek yüzyılda deneysel yüksek enerji fiziği alanında egemenlik kuracak olan SSC, güçlü kuvveti elektro-zayıf kuvvetle

birleştiren GUT kuramının veya bilinen bütün kuvvetleri birleştiren daha hırslı süper sicim kuramının sonuçlarını tam anlamıyla test etmek için yeterli büyüklükte olmayacaktı. Bu her iki kuramın da öngörülerini test etmek için, SSC'den çok daha büyük makineler gerekecekti. Bununla beraber SSC, bu kuramların çevresini yoklamayı başarabilir ve bu kuramların çeşitli öngörülerini kanıtlamak veya çürütmek için bize dolaylı yoldan yardımcı olabilirdi.

Nihai doğrulama, GUT ve süper sicim kuramlarını araştırmak için gereken enerjilerin böylesine muhteşem bir büyüklükte olması nedeniyle deneysel olarak kozmoloji alanından (evrenin kökenini inceler) gelebilir. Aslında, içinde bu birleşmenin meydana gelebileceği enerji ölçeği, sadece zamanın başlangıcında var olabilir. Bu bakımdan, birleşik alan kuramı bulmacasının çözülmesi, evrenin kökeni bulmacasını da pekâlâ çözebilir.

Fakat hikâyemizin önüne geçiyoruz. Bir ev yapmadan önce, insanın temeli atması gerekir. Fizikte de böyledir: Süper sicim kuramının bütün kuvvetleri ne şekilde birleştirdiğini ayrıntılı olarak incelemeden önce, bazı temel soruları yanıtlamamız gerekir, örneğin Görelilik nedir? Madde nedir? Birleştirme fikri nereden doğdu? Bu sorulara, bundan sonraki iki bölümde odaklanacağız.

2
Birleştirme Arayışları

BİLİM, TARİH BOYUNCA epeyce dağınık bir şekilde gelişmiştir.

Örneğin evrensel çekim kuramı ile gezegenlerin hareketini hesaplayan Isaac Newton'un önemli katkıları ile, kuantum mekaniğine dair katkılarıyla atomun işleyişini ortaya çıkartan Werner Heisenberg ve Erwin Schrödinger'in çalışmaları arasında önemli farklılıklar vardır. Ayrıca, kuantum mekaniği için gereken matematik ve ilkeler, Einstein'ın uzay sapmalarını, kara delikleri ve Büyük Patlamayı tanımlayan genel görelilik kuramından farklı görünmektedir.

Bununla beraber, birleşik alan kuramındaki gelişmeler sayesinde birbiriyle bağlantılı olmayan bu parçaları birleştirmek ve bütünü yalnızca parçalarının toplamından daha fazla bir şey olarak görmek, artık mümkündür. Birleştirme arayışı her ne kadar yeni başlamış olsa da, öncülük yapan çalışmaların büyük bölümü geçen yirmi yılda yapılmış olduğu için, bilim alanındaki büyük keşiflerin çoğunu uyumlu birleştirme kavramının koşullarına göre geriye bakıp yeniden inceleme olanağı vardır.

Bilim tarihi, birleşik alan kuramının yarattığı devinimin etkisiyle, uygulamada fiziği icat etmiş olan Isaac Newton'dan ve onun birkaç bin yıllık insanlık tarihindeki en önemli bilimsel gelişme olarak kabul edilmesi gereken evrensel çekim yasasını keşfedişinden başlayarak, yavaş yavaş yeni baştan yazılmaktadır.

Gök Kubbe ile Yeryüzünün Birleştirilmesi

Newton, 1600'lü yılların sonlarında, günün kilisesinin ve bilim insanlarının iki tür yasaya inandıkları bir dönemde yaşamıştı. Gök kubbeyi yöneten yasalar mükemmel ve düzenliydi, fakat dünyadaki ölümlüler, kaba ve amiyane fizik yasaları altında yaşamaktaydı.

Ayın mükemmel, parlak bir küre olmadığı veya Dünya'nın Güneş etrafında döndüğü konusunda ısrar eden herkes, kilise tarafından ölüme mahkûm edilebilirdi. Giordano Bruno, Güneş'in bir yıldızdan başka bir şey olmadığı yolunda yorum yaptığı ve "Dolayısıyla sayılamayacak kadar çok güneş vardır ve sonsuz sayıda dünya, bu güneşlerin etrafında dönmektedir ..." sonucuna ulaştığı için, 1600 yılında Roma'da yakılmıştı.[1] Birkaç on yıl sonra, büyük gökbilimci ve fizikçi Galileo Galilei Dünya'nın Güneş etrafında döndüğü yolundaki sapkın beyanını ölüm cezası tehdidi karşısında geri almak zorunda kalmıştı. (Bilimsel bulgularını duruşma sırasında inkâr ederken dahi alçak sesle "Fakat Dünya yine de dönüyor!" diye mırıldandığı nakledilir.)

Bütün bunlar, Kara Veba salgınının ortalığı kasıp kavurduğu ve Avrupa'daki üniversitelerle kuruluşların çoğunun kapanmasına yol açtığı sıralarda yirmi üç yaşında bir öğrenci olan Isaac Newton'un Cambridge Üniversitesi'nden evine gönderilmesi ile değişmeye başladı. Elinde bolca boş zaman olan Newton, toprağa düşen cisimlerin hareketlerini gözlemledi ve düşen bütün cisimlerin yolunu tanımlayan o meşhur kuramını bir anda oluşturdu.

Newton, kuramına kendi kendisine "Ay da düşer mi?" gibi devrim yaratacak sorular sorarak ulaşmıştı.

Kiliseye sorulacak olursa Ay gökyüzünde duruyordu, çünkü cisimleri yere düşmeye zorlayan dünyevi yasaların erişemeyeceği kadar yüce bazı semavi yasalara uymaktaydı. Newton'un devrim yaratan gözlemi, yerçekimi yasasını gök kubbenin kendisine uygulamaktan ibaretti. Kabul görmüş doktrinlere ters düşen bu fikrin hemen ardından gelen sonuç ise, ayın dünyanın uydusu olduğu, gökyüzünde hayali gök kürelerin hareketi sayesinde değil, kendisinin (Newton'un) çekim yasası sayesinde durduğu şeklindeydi.

Newton, 'belki de' diye düşünüyordu, 'Ay, bir taşın yere düşmesine neden olan aynı yasaların yönlendirmesi sonucunda sürekli olarak düşmektedir, fakat Dünya'ya hiç bir zaman çarpmaz, uzaklaşma yönünde izlediği eğrisel yol düşme hareketinin etkisini ortadan kaldırır.' Newton, *Principia* adlı eserinde Dünya'nın çevresinde dönen uyduların ve Güneş'in çevresinde dönen gezegenlerin hareketlerini yöneten yasaları yazmıştı.

Newton, düşmekte olan Ay'ın Dünya'nın bir uydusu olduğuna dair bu fikri açıklamak üzere basit bir resim çizdi. Yüksek bir dağın tepesinde bulunduğunuzu hayal edin. Attığınız bir taş, eninde sonunda yere düşecektir. Taşı ne kadar büyük bir hızla fırlatırsanız, yere düşmeden önce o kadar uzağa gider. Aslında Newton'un savunduğuna göre, eğer taş yeterli bir hızla atılırsa, Dünya'nın çevresinde dönerek başınızın arkasına çarpabilirdi. Ay, tıpkı Dünya'nın etrafında dönen bir taş gibi, sürekli olarak Dünya'ya düşmekte olan bir uydudan başka bir şey değildi.

Newton tarafından tasarlanan bu zarif resim, yapay uyduların fırlatılışından üç yüz yıl önce ortaya çıkmıştı. Günümüzde Mars'a inen ve Neptün ile Uranüs'ün ötesine ulaşmış olan uzay araçlarının insanı şaşkına çeviren başarılarının temelinde Newton'un 1600'lü yılların sonlarına doğru yazdığı yasalar yatmaktadır.

Newton, hızla gerçekleşen bir dizi sezgi sonucunda ilkesel olarak Dünya ile Ay arasındaki ve Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığı kabaca da olsa hesaplama olanağını kendisine sağlayan denklemleri keşfetti. Kilisenin hâlâ Dünya'nın gökyüzünde sabit

şekilde durduğunu öğrettiği sıralarda Isaac Newton, güneş sisteminin temel ölçülerini hesaplamaktaydı.

Geriye dönüp baktığımızda, Newton'un evrensel çekim yasasını keşfedişinin bilim tarihindeki ilk "birleştirme" olduğunu, gökyüzünün ve Dünya'nın yasalarını birleştirdiğini, anlayabiliriz. Dünya üzerindeki herhangi iki cisim arasında sürekli bir etkileşim sağlayan kütleçekimi kuvveti, insanların kaderi ile yıldızlarınki arasında bir bağlantı kurmuştu. Newton'un keşfinin ardından, bütün güneş sisteminin hareketi hemen hemen mükemmel bir doğrulukla hesaplanabilir olmuştu.

Buna ek olarak, Newton'un çizdiği ve Dünya'daki taşların dahi gök kürelere gerek olmaksızın Dünya etrafında nasıl dönebileceklerini gösteren şekil, onun teorisindeki temel ilkeleri betimsel olarak ayırabildiğini kanıtlamaktaydı. Başta kuvvetlerin birleştirilmesini gösterenler olmak üzere bilimdeki bütün büyük buluşların betimsel olarak gösterilebilmekte olması, ilgi çekicidir. Konuyu matematiksel olarak anlamak güç ve zahmetli olsa dahi, birleştirmenin özünü resimlerle anlatmak, daima kolay olmuştur.

Maxwell'in Keşfi

Birleştirme alanındaki -elektrik ile manyetizma arasında- ikinci büyük adım iki yüz yıl sonra, 1860'ların ortalarında, Amerikan İç Savaşı sırasında atıldı. Birleşik Devletler'in bu yıkıcı savaş nedeniyle karmaşa içerisine atıldığı bir dönemde, Atlantik Okyanusu'nun öbür yakasında bilim dünyası da büyük bir kargaşa içerisindeydi. Avrupa'da yapılmakta olan deneyler, manyetizmanın belli koşullar altında bir elektrik alanına dönüşebildiğini, bunun tersinin de geçerli olduğunu, yanılgıya yer bırakmayacak şekilde ortaya koymaktaydı.

Yüzyıllardır, denizdeki seyir subaylarının pusulalarındaki iğneleri yönlendiren manyetizmanın ve yıldırımlardan tutun da halının üzerinde yürüdükten sonra kapı tokmağını tutunca hissedilen şoka kadar bir sürü şeyi yaratan elektriğin birbirlerinden

ayrı kuvvetler olduğuna inanılmaktaydı. Bununla beraber, bilim insanlarının titreşen elektrik alanlarının manyetik alanlar yaratabileceğini, bunun tersinin de geçerli olduğunu ortaya koymaları sonucunda, bu inanış 1800'lü yılların ortalarından itibaren yıkılmaya başladı.

Bu etki, kolayca gösterilebilir. Örneğin, yalnızca bir mıknatısı bobin şeklinde sarılmış bir telin içine itmek suretiyle, telin üzerinde küçük bir elektrik akımı doğmasını sağlayabiliriz. Böylece, değişen bir manyetik alan, bir elektrik alanı yaratmış olur. Bu gösteriyi tersine çevirmek için, bu tel bobinin içinden bir elektrik akımı geçirebilir ve bu sayede bobinin çevresinde bir manyetik alan yaratabiliriz. Böylece, değişen bir elektrik alanı, bir manyetik alan yaratmış olur.

Bu ilke, -değişen elektrik alanlarının manyetik alanlar yaratması ve tersi- evlerimizde elektrik olmasının nedenidir. Bir hidroelektrik santralde barajdan dökülen sular, bir türbine bağlı muazzam bir çarkı döndürür. Türbinde, bir manyetik alan içinde hızla dönen bobinler bulunmaktadır. Elektrik, manyetik alan içerisinde hareket eden bu bobinlerin dönme hareketi sonucu yaratılır. Bu elektrik de, yüzlerce kilometre tel üzerinden evlerimize taşınır. Bu şekilde, değişken bir manyetik alan (baraj tarafından yaratılan), bir elektrik alanına dönüştürülmüş olur (bu da elektriği evimize duvardaki prize getirir).

Bununla beraber, 1860 yılında bu etki yeterince anlaşılmamıştı. Cambridge Üniversitesinde otuz yaşında İskoçyalı tanınmamış bir fizikçi olan James Clerk Maxwell, günün geçerli olan görüşlerine karşı çıkarak elektrik ile manyetizmanın birbirinden farklı kuvvetler olmadığını, aynı paranın iki yüzü olduğunu öne sürdü. Aslına bakılacak olursa, bu gözlemin dünyadaki en gizemli olaya, ışığın kendisine dair gizemin anahtarı olabileceğini bulduğu zaman, yüzyılın en şaşırtıcı keşfini yapmış oluyordu.

Maxwell, elektriksel ve manyetik alanların bütün uzaya yayılan "kuvvet alanları" olarak düşünülebileceğini biliyordu. Bunlar, bir elektrik yükünden düzenli bir şekilde çıkmakta olan sonsuz bir "ok" dizisi olarak gösterilebilirdi. Örneğin, çubuk şeklindeki bir mıknatısın yarattığı kuvvet alanları, uzaya bir örümcek

ağı gibi yayılabilmekte ve yakındaki madeni cisimleri yakalayabilmekteydi.

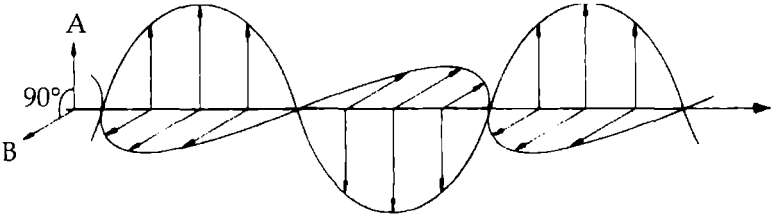
Bununla beraber Maxwell, daha da ileri giderek elektriksel ve manyetik alanların tam bir eş zamanlılık içerisinde birlikte titreşebileceğini, bu sayede bir yardıma gereksinimi olmadan boşlukta kendi başına yolculuk edebilecek bir dalga üreteceklerini savunuyordu.

Aşağıdaki senaryoyu gözünüzde canlandırın: Titreşen bir manyetik alan, bir elektrik alanı yaratsa, o da titreşse ve başka bir manyetik alan yaratsa, o da titreşse ve başka bir elektrik alanı yaratsa ve bu böyle devam etse, ne olurdu? Titreşen elektriksel ve manyetik alanlardan meydana gelen böyle sonsuz bir zincir kendi kendine, bir dalgaya çok benzer bir şekilde, yol almaz mıydı?

Newton'un çekim yasalarında olduğu gibi, fikrin özü basit ve betimseldir. Örnek olarak domino taşlarından meydana gelen uzun bir diziyi düşünün. İlk domino taşı devrildiği zaman, şüphesiz art arda devrilen bir domino taşı dalgası tetiklenecektir. Bununla beraber, diyelim ki bu domino taşı dizisi siyah ve beyaz renkte olmak üzere iki türden meydana geliyor olsun ve bu iki tür, bütün dizi boyunca birbirini izliyor olsun. Eğer siyah domino taşlarını alarak dizide sadece beyaz taşları bırakacak olursak, o zaman dalganın ilerlemesi mümkün olmayacaktır. Hareket eden bir dalga elde etmek için, hem beyaz ve hem de siyah taşlara ihtiyacımız bulunmaktadır. Özetle, düşen domino taşlarının bir dalga meydana getirmesini sağlayan şey, beyaz ve siyah taşlar arasında bir etkileşim doğması, her birinin bir sonrakini devirmesidir.

Maxwell, benzer bir şekilde, titreşen manyetik ve elektriksel alanlar arasındaki etkileşimin dalgayı yarattığını keşfetmişti. Beyaz veya siyah domino taşlarının tek başına bırakılması örneğine benzer bir şekilde, elektriksel veya manyetik alanların bu dalga benzeri hareketi kendi başlarına yaratamayacağını bulmuştu. Yalnızca elektriksel ve manyetik alanlar arasındaki hassas etkileşim, bu dalgayı üretebiliyordu.

Bununla beraber, bu fikir fizikçilerin çoğuna mantıksız gelmişti, çünkü bu dalgaları iletecek bir "gök kubbe" yoktu. Bu alanlar "bedenlerinden ayrılmış"tı ve iletken bir ortam olmaksızın, kendi başlarına hareket etmekteydiler.



Maxwell'in kuramına göre ışık, hep birlikte hareket eden elektrik alanlarından (E) ve manyetik alanlardan (B) meydana gelmektedir. Burada elektrik alanları düşey olarak titreşirken, manyetik alanlar yatay olarak titreşir.

Maxwell yine de hiç endişelenmiyordu. Kendi denklemlerini kullanarak yaptığı hesaplamalar sonucunda, bu dalganın hızına dair belirli bir sayı elde etme olanağı bulmuştu. Onu şaşırtan şey, bu sayının ışık hızına eşit olmasıydı. Sonuç, kaçınılmazdı: Işığın manyetik alana dönüşen bir elektrik alanları zincirinden başka bir şey olmadığı ortaya çıkmıştı. Maxwell, denklemlerinin ışığın elektromanyetik dalga özelliğini ortaya çıkarttığını tamamen bir kaza eseri olarak anlamıştı. Dolayısıyla gerçek bir birleşik alan kuramı bulan ilk kişiydi.

Bu, önem bakımından Newton'un evrensel çekim yasasını keşfetmesi ile aynı düzeyde öneme sahip, harika bir keşifti. Maxwell'in ölümünden on yıl sonra, 1889 yılında Heinrich Hertz, Maxwell'in kuramlarını deneysel olarak doğruladı. Hertz, düzenlediği etkileyici bir deneyde bir elektrik kıvılcımı üretti ve uzak mesafelerden herhangi bir yanılmaya yer vermeyecek şekilde algılanan bir elektromanyetik dalga yaratmayı başardı. Hertz, bu dalgaların tam da Maxwell'in öngördüğü gibi, herhangi bir taşıyıcı ortam olmaksızın kendi başlarına yolculuk yaptığını kanıtladı. Hertz'in derme çatma deneyi, zaman içeri-

sinde evrim geçirerek bizim "radyo" dediğimiz uçsuz bucaksız endüstriyi ortaya çıkardı.

Maxwell'in çığır açan çalışmaları nedeniyle o zamandan itibaren ışık, birinden diğerine hızla geçiş yapan elektriksel ve manyetik alanların titreşmesi sonucunda yaratılan elektromanyetik kuvvet olarak bilinmektedir. Radar, morötesi ışınlar, kızılötesi ışınlar, radyo, mikrodalgalar, televizyon ve X ışınları, elektromanyetik dalganın aldığı çeşitli şekillerden başka bir şey değildir. (Örneğin, radyoda diyelim ki ibreyi 99,5 üzerine getirerek en sevdiğiniz istasyonu ayarladığınız zaman, o radyo dalgasındaki elektriksel ve manyetik alanlar saniyede 99,5 milyon kere birinden diğerine dönüşmektedir.)

Ne yazık ki Maxwell, bu kuramı öne sürdükten kısa bir süre sonra öldü; yarattığı eserin özelliklerini araştıracak kadar uzun yaşayamadı. Bununla beraber, 1860'lı yıllarda dahi sezgileri kuvvetli olan bir fizikçi, Maxwell'in denklemlerinin zorunlu olarak uzayda ve zamanda çok garip sapmaların olmasına gerek duyduğunu fark edebilirdi. Onun denklemleri, uzayın ve zamanın tanımlanış şekilleri yüzünden Newton'unkilere göre temel ayrılıklar göstermekteydi. Newton için zamanın nabzı, evrenin her yerinde aynı şekilde atmaktaydı. Dünya üzerinde bulunan bir saat, Ay üzerindeki bir saat ile aynı hızda ilerlemekteydi. Buna karşın Maxwell'in denklemleri, bazı durumlarda saatlerin yavaşlayabileceğini öngörmekteydi.

Bilim insanları, Maxwell'in kuramının hareket eden bir roket üzerine yerleştirilen bir saatin Dünya'da duran bir saatten daha yavaş hareket edeceğini öngördüğünün farkına varamadılar. Bu, ilk bakışta saçma gelir. Ne de olsa, zamanın tekdüze bir şekilde geçmesi, Newton sisteminin temellerinden birisidir. Her şeye karşın, Maxwell'in denklemleri, zamandaki bu garip sapmaya gerek duymaktaydı.

Bununla beraber bilim insanları, Maxwell'in denklemlerinin ortaya koyduğu bu garip öngörüyü yarım yüzyıl boyunca görmezden geldiler. Maxwell'in kuramının içinde gömülü bu derin uzay ve zaman sapmasının bir fizikçi tarafından anlaşılması, 1905 yılına kadar gerçekleşmedi. Bu fizikçi Albert Einstein, onun

yarattığı kuram ise insanlık tarihinin seyrini değiştirecek olan özel görelilik kuramıydı.

İşsiz Bir Devrimci

Yaşam süresi içerisinde Einstein, ortaya evrene bakışımızda devrimsel değişikliklere yol açacak pek çok görüş atmıştır. Bununla beraber, çalışmalarının ağırlıklı kısmını özetleyecek olursak, üç geniş kuram kategorisine ayırmamız gerekli olurdu: Özel görelilik, genel görelilik ve onun en büyük bilimsel başarısı olacak olan, bitmemiş birleşik alan kuramı.

İlk büyük kuramını -özel görelilik kuramı- 1905 yılında, henüz yirmi altı yaşındayken ortaya atmıştı. Bilim dünyasında böylesine büyük bir etki yaratacak olan bir adam için, çok mütevazı bir geçmişe sahipti.

Geleceğin dünyaca tanınmış fizikçisi, 1900 yılında işsiz ve şanssızdı. Tanınmış fizikçiler büyük üniversitelerde ders verirken, Einstein'ın çeşitli üniversitelere yaptığı öğretmenlik başvuruları reddedilmişti. Zurich Polytechnic'i yeni bitiren Einstein, yarı zamanlı ders vererek ayakta kalmaya çalışıyordu. Oğlunun depresyona girmesinden endişe eden babası, "Oğlum, işsiz oluşu nedeniyle derin bir mutsuzluk hissediyor," diye yazmıştı. "Kariyerinin yolundan çıktığı düşüncesi, günden güne içini dolduruyor ... kısıtlı bir gelire sahip olan bizlere yük olduğu düşüncesi, omuzlarını çökertiyor."[2]

Bir arkadaşının tavsiyesi ile, 1902 yılında İsviçre'nin Bern kentindeki patent bürosunda karısı ile çocuğunu geçindirecek mütevazı bir iş buldu. Einstein bu işin gerektirdiği niteliklerden çok daha fazlasına sahipti, fakat sonradan bakınca, bu işin onun hedeflerine şaşırtacak kadar fazla hizmet ettiğini söylemek mümkündür.

İlk olarak patent ofisi, Einstein'a sorguladığı yeni bir uzay ve zaman kuramı üzerinde oynamak için bol bol zaman sağlayan sakin bir sığınak gibiydi. İkincisi, patent bürosundaki çalışmaları, mucitlerin genellikle belirsiz bir şekilde kelimelere dökülmüş önerilerinin arasından önemli fikirleri ayıklamasını gerektir-

mekteydi. Bu, ona tıpkı kendisinden önce gelen Newton ve Maxwell gibi fiziksel resimlere dayanarak düşünmeyi ve bir kuramın işe yaramasını sağlayan temel fikirler üzerine hatasız bir şekilde odaklanmayı öğretti.

Patent bürosunda Einstein, kendisini çocukluğundan beri rahatsız eden bir soruya geri döndü. Eğer bir ışık demetinin yanı sıra ışık hızı ile koşabilseydi, o demet ona nasıl görünürdü? İlk akla gelen, ışık dalgasının zaman içerisinde donacağı, böylece insanın aslında durmakta olan elektriksel ve manyetik alanları göreceği oluyordu.

Fakat Einstein Polytechnic'te Maxwell'in denklemlerini öğrendiği zaman, bunların duran dalgaları çözüm olarak kabul etmediğini görerek şaşırmıştı. Aslına bakılacak olursa, Maxwell'in denklemleri, insan onu yakalamak için ne kadar uğraşırsa uğraşsın, ışığın hep aynı hızla hareket etmesi gerektiğini öngörmektedir. İnsan muazzam hızlarda hareket etse dahi, bir ışık demeti aynı hızda (ışığın sabit hızı kastediliyor) onu geçerdi. Işık dalgaları, asla durağan bir şekilde gözlemlenemez.

Bu, başlangıçta aldatıcı bir biçimde basit görünmektedir. Maxwell'in denklemlerine göre, Dünya'da bulunan bir bilim insanı ile hızla hareket etmekte olan bir rokette bulunan bir bilim insanı, ışık demetinin hızını aynı bulacaktır. Maxwell, 1860'larda yazarken, bunun farkına varmış olabilir. Fakat bu durumun taşıdığı büyük önemi yalnızca Einstein kavramıştır, çünkü uzay ve zaman hakkındaki görüşlerimizi değiştirmemiz gerektiğini o fark etmiştir. Einstein, Maxwell'in ışık kuramı bulmacasını 1905 yılında nihai olarak çözmüştür. Bu işi yaparken de, uzay ve zaman hakkında binlerce yıldır hayatta kalmayı başarmış olan görüşleri altüst etmiştir.

Diyelim ki ışığın hızı saatte 101 kilometre olsun. Bu durumda, saatte 100 kilometre hızla giden bir trenin bir ışık demetiyle neredeyse yan yana hareket etmesi mümkün olacaktır. Aslında, trende bulunan bir bilim insanının, ışık hızını saatte 1 kilometre (101 km/saat eksi 100 km/saat) olarak ölçmesi gerekirdi. Bu bilim insanı, ışığın iç yapısını sakin bir şekilde, ayrıntılı olarak inceleyebilmeliydi.

Buna karşın, Maxwell'in denklemlerine göre, saatte 100 kilometre hızla gitmekte olan bilim insanının ışık demetinin hızını saatte 1 kilometre olarak değil, 101 kilometre olarak ölçmesi gerekecekti. Bu nasıl olabilir? Trendeki bilim insanı, nasıl olur da ışık demetinin bu kadar hızlı gittiğini zannedebilir?

Einstein'ın bu soruna bulduğu çözüm, garip fakat doğruydu: Trendeki saatlerin Dünya'daki saatlerden daha yavaş çalıştığını ve trende bulunan ölçme çubuklarının boyunun kısaldığını varsaymıştı.

Bu, trendeki bilim insanının beyninin, Dünya'daki bilim insanının beynine kıyasla yavaşladığı anlamına gelir. Dünya üzerindeki birisi açısından bakıldığı zaman trendeki bilim insanının ışık demetini saatte 1 kilometre hızla hareket ediyormuş gibi ölçmesi gerekecektir, fakat gerçekte bilim insanı ışık demetinin hızını saatte 101 kilometre olarak ölçer, çünkü beyni (ve trendeki her şey) yavaşlamıştır.

Göreliliğin sonuçları –hızlanan cisimler için zamanın yavaşlamak ve uzaklıkların kısalmak zorunda oluşu– mantık kurallarına uymuyormuş gibi görünmektedir. Bunun tek nedeni, sağduyunun ışık hızına göre çok düşük hızda cereyan eden olaylarla ilgilenmesidir. İnsanlar, saatte yaklaşık 8 kilometre hızla yürüyebilirler – ışık hızından çok daha yavaş. Bu açıdan, insanlar her konuda ışık hızının sonsuz olduğu şeklinde sezgisel bir varsayım ile davranırlar. Bir saniyede Dünya'nın etrafını yedi kez dolaşabilen ışık, bizim bakış açımıza göre temel olarak bir anda hareket etmektedir.

Buna karşın, ışığın ortalama bir yayanın hızında, saatte 8 kilometre hızla hareket ettiği bir dünyayı gözünüzde canlandırın. Eğer ışık hızı saatte 8 kilometre olsaydı, zaman ve uzayda çok büyük sapmalar meydana gelmesi "mantıklı" olurdu. Örneğin otomobiller saatte 8 kilometreden yüksek bir hızla gidemezlerdi ve saatte 8 kilometreye yakın bir hızla gidenler de pide gibi yassılaşırdı. (Bununla beraber, garip bir etki nedeniyle sadece yassılaşmış görünmekle kalmazlar, aynı zamanda döndürülmüş gibi de görünürlerdi.) Ayrıca, bu otomobillerdeki yassılmış insanlar, neredeyse hareketsiz, zaman ve uzayda donmuş gibi görü-

nürlerdi. (Bunun nedeni, otomobiller hızlandıkça zamanın yavaşlamasıdır.) Fakat, bu yassılmış otomobiller bir trafik ışığında durmak için yavaşladıkları zaman uzunlukları yavaş yavaş, orijinal boyutlarını kazanıncaya kadar artar ve otomobilin içindeki zaman, normale dönerdi.

Einstein'ın devrim yaratan 1905 makalesi yayımlandığı zaman, büyük ölçüde göz ardı edilmişti. Aslında, Bern Üniversitesi'nde bir öğretmenlik işi elde etmek için makaleyi göndermiş ve ret cevabı almıştı. Einstein'ın önerisi, mutlak uzay ve mutlak zaman kavramı altında eğitim almış olan klasik Newton fizikçileri için belki de Maxwell'in denklemlerine getirilebilecek en aşırı çözüm idi. (Bilimsel toplum, makaledeki görüşün dâhiyane bir fikir olduğunu ancak yıllar sonra, deneysel kanıtlar Einstein'ın kuramının doğruluğunu gösterince anlayabildi.)

Aradan onlarca yıl geçtikten sonra Einstein, özel göreliliğin geliştirilmesi açısından Maxwell'in kuramının taşıdığı önemi onaylarken, açıkça şöyle söylüyordu: "Özel görelilik kuramı, kökenlerini Maxwell'in elektromanyetik alan üzerine olan denklemlerine borçludur."[3]

Bununla beraber, sonradan baktığımızda Einstein'ın Maxwell'in kuramını herkesten daha ileriye götürmeyi başardığını, çünkü uzay ve zaman (veya madde ile enerji) gibi görünürde farklı olan nesneleri birbirine bağlayan bir *temel, birleştirici simetri** mevcut olduğunu anlayarak birleştirme ilkesini kavramış olduğunu anlarız. Tıpkı Newton'un evrensel çekim yasasının dünyevi ve göksel fiziği birleştirmeyi başarabileceği yolundaki çığır açan keşfi veya Maxwell'in elektrik ile manyetizmanın aynı şey olduğunu keşfetmesi gibi, Einstein'ın katkısı da uzay ile zamanı birleştirmekti.

Bu kuram, uzay ile zamanın bilim insanları tarafından "uzay-zaman" olarak adlandırılan tek bir şeyin farklı görünümleri oldu-

---

* Fizikçiler için simetrinin özel bir anlamı vardır; bir denklem, bileşenlerinin yerini değiştirdiğimiz veya döndürdüğümüz zaman sonucu değişmiyorsa, simetriktir. Simetri, fizikçiler birleşik alan kuramını inşa ederlerken en güçlü araç olarak ortaya çıkmıştır. Daha fazla ayrıntı için, Bölüm 7'ye bakınız.

ğunu kanıtlamaktadır. Bununla beraber, bu kuram sadece uzay ile zamanı değil, madde ile enerjiyi de birleştirmektedir.

İlk bakışta hiç bir şey, görünürde çirkin bir taş parçası ile parlak, göz alıcı bir ışık demeti kadar birbirinden farklı olamaz. Bununla beraber, görünümler, aldatıcıdır. İlk olarak Einstein, belli koşullar altında bir kaya parçasının (uranyum) dahi bir ışık demetine (nükleer patlama) dönüşebileceğini ifade etmiştir. Maddenin enerjiye dönüşmesi, atomun parçalanması sonucunda çekirdekte depolanmış olan muazzam enerjinin açığa çıkması ile gerçekleşmektedir. Göreliliğin özü, Einstein'ın maddenin enerjiye değişebileceğini ve bunun tersinin de olabileceğini kavramasında yatmaktadır.

Uzay Sapmaları

Ortaya atılışını izleyen yıllarda geniş kabul görmesine karşın, özel görelilik kuramı Einstein'ı tatmin etmiyordu. Ona göre, kütleçekimi konusu ile herhangi bir ilişki kurmadığı apaçık ortada olan bu kuram, hâlâ tamamlanmamıştı. Görünüşe göre Newton'un çekim kuramı, özel göreliliğin temel ilkeleriyle çelişiyordu.

Güneş aniden yok olduğu takdirde ne olacağını düşünün. Dünya'nın çılgın bir şekilde yörüngesinden çıkması ne kadar sürerdi? Newton'un kuramına göre, eğer Güneş ortadan yok olursa, Dünya derhal güneş sistemini terk eder, uzayın derinliklerine giderdi.

Bu yargı, Einstein için kabul edilebilir değildi; hiç bir şey, kütleçekimi dahil, ışıktan hızlı gidemezdi. Dünya'nın yörüngesinden çıkması için sekiz dakika (güneş ışığının Dünya'ya ulaşması için geçen süre) geçmesi gerekirdi. Bu, doğal olarak yeni bir kütleçekimi kuramına gerek doğurmaktaydı. Newton'un çekim kuramının *yanlış* olması gerekiyordu, çünkü evrendeki mutlak hıza, ışığın hızına hiç bir atıfta bulunmuyordu.

Einstein 1915 yılında bu bulmaca için çözüm olarak kütleçekimini uzay–zaman ile madde–enerji arasında bir evlilik olarak

açıklayan genel görelilik kuramını önerdi. Her zaman olduğu gibi, denklemlerin matematiğinin karmaşık olmasına karşın, kuramın basit bir fiziksel resim ile özetlenmesi mümkündü.

Ortasına bir bowling topu yerleştirilmiş bir trambolin düşünün. Topun ağırlığı, doğal olarak trambolin bezinin çökmesine neden olacaktır. Şimdi bu kavisli bezin yüzeyi boyunca hareket etmekte olan bir bilyeyi ele alalım. Bilye, düz bir çizgi boyunca ilerleyeceği yerde, topun meydana getirdiği çöküntünün çevresinde bir dairesel yörüngede hareket edecektir.

Newton'a göre top ile bilye arasında etkileşim sağlayan görünmez bir "kuvvet" olduğu düşünülebilir. Buna karşın Einstein'a göre, yapılabilecek çok daha basit bir yorum, bezin yüzeyinde top tarafından meydana getirilen sapmanın bilyenin daireler çizerek hareket etmesine neden olduğu şeklindedir.

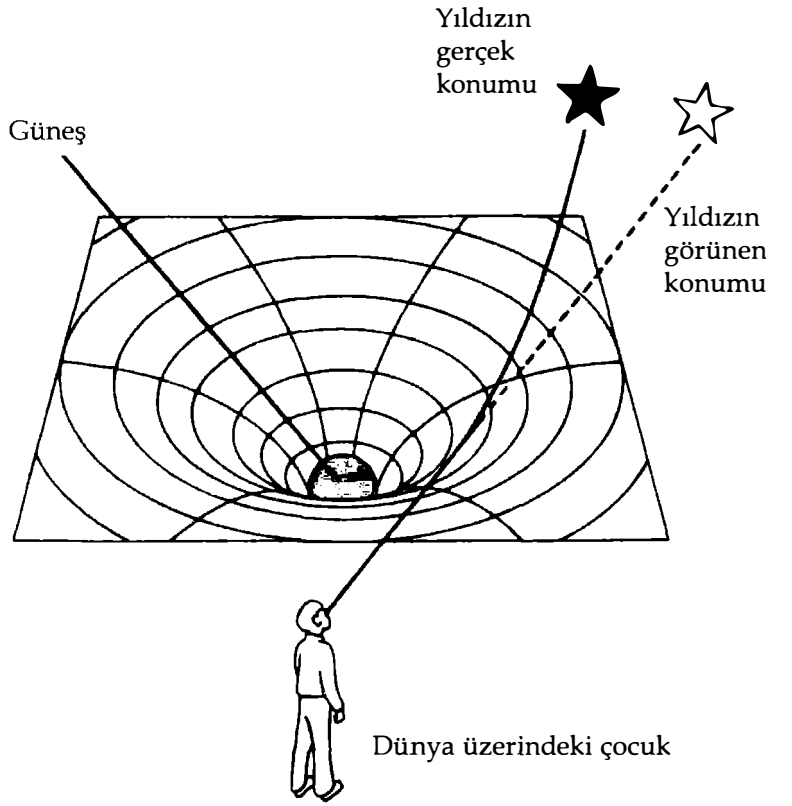
Şimdi, topun aslında bizim Güneş'imiz, bilyenin Dünya'mız, trambolin bezinin de uzay-zaman olduğunu düşünmeye başlayın. Birdenbire farkına varırız ki, "kütleçekimi" aslında bir kuvvet değil, madde-enerjinin (Güneş) varlığı nedeniyle uzay-zamanda meydana gelen bir bükülmedir.

Eğer top birdenbire trambolin bezinin üzerinden alınırsa, bunun yol açtığı titreşimler, bezin yüzeyi boyunca bir dalga gibi yol alacaktır. Dalga, saniyenin çok küçük bir kısmı kadar sonra bilyeye çarpacak, bilyenin yönü değişecektir. Dolayısıyla Güneş birdenbire yok olduğu takdirde ne olacağı sorununun çözümü, buydu. Güneş yok olduktan sonra, ışık hızında yol alan çekim dalgalarının Dünya'ya ulaşması, sekiz dakika sürecekti. Kütle çekimi kuramı ile görelilik kuramı, artık uyumlu hale gelmişti.

Einstein'ın yeni kuramı, pek çok fizikçi tarafından yine şüphe ile karşılandı. Einstein'ın dört boyutlu bir uzay-zaman sürekliliği içinde yaşadığımıza ilişkin beyanından zaten başı dönmüş olan fizikçiler, şimdi daha da inanılmaz bir kuram ile yüz yüze gelmişlerdi: Bu sürekliliğin madde-enerjinin varlığı nedeniyle sapmaya uğraması.

Bununla beraber, Einstein'ın genel görelilik kuramı, 29 Mayıs 1919'da yaşanan bir tam güneş tutulması sırasında Brezilya ve

Afrika'da çarpıcı bir biçimde test edildi. Einstein'ın kuramı, tıpkı madde gibi, ışın demetinin yolunun da Güneş'in yanından geçerken bükülebileceğini öngörmekteydi (şekle bakınız). Bu, Güneş'in muazzam madde-enerjisinin uzay zamanı bir şekilde eğdiği anlamına geliyordu. Yıldızların ışığının Güneş çevresinde bir sapmaya uğraması, bu fikirlerin görkemli bir doğrulaması olacaktı.



Einstein'a göre kütleçekimi yıldızdan gelen ışığın yolunu saptırmaktadır, çünkü Güneş, civarındaki uzay-zamanı gerçekten eğmektedir. Bu çizimde yıldızın gerçek konumu siyah, Dünya'dan bakıldığında görülen konumu ise beyaz yıldız tarafından gösterilmiştir.

Yıldız ışığının yolundaki bozulma, yıldızların gece vakti konumlarını gündüz vakti, bir güneş tutulması sırasında yıldızlar görünür hale geldikleri zamanki konumlarıyla karşılaştırarak ölçüldü. Bilim insanlarının Güneş varken yıldız ışığında bir eğilme ölçmeleri ve genel görelilik kuramını kanıtlamaları, bütün dünyada manşetlerden verildi.

Einstein fiziksel resmin ve denklemlerin doğruluğundan o denli emindi ki, güneş tutulması deneyinin sonuçları onu hiç şaşırtmamıştı. Aynı yıl, bir öğrencisi Einstein'a eğer deney başarısız olsaydı tepkisinin ne olacağını sordu. "O zaman yüce tanrı adına üzülürdüm," diye yanıtladı Einstein, "Fakat kuramda bir hata yok."[4]

(Aslında Einstein, kuramlarını öylesine özenle seçilmiş fizik kurallarına ve öyle güzel simetrilere dayandırıyordu ki, Nobel Ödülünü almadan yıllar önce eski eşine ödülden alacağı parayı boşanma tazminatı olarak ödeme sözü vermişti. Einstein 1921 yılında Nobel Fizik Ödülünü nihayet kazandığı zaman Nobel komitesi görelilik kuramı konusunda öyle bir anlaşmazlığa düşmüştü ki, Einstein'ın ödülü fotoelektrik etki konusundaki kuramı için verilmişti.

Işığın yerçekimi nedeniyle eğilmesi, günümüzde Güneşin öbür yanından ışık demetleri göndermek zorunda kalmaksızın laboratuarda ölçülebilmektedir. Harvard'dan Profesör Rober Pound ve çalışma arkadaşları, önce 1959 ve sonra da 1965 yıllarında gama ışınlarının (bir elektromanyetik ışınım türü) bir binanın tepesinden yere kadar 22,5 metre yol almaları sırasında dalga boylarının yerçekimi tarafından inanılmaz küçüklükte fakat belirgin bir miktarda, Einstein tarafından öngörülen yüz trilyonda bir oranında saptığını kanıtladılar.

Daha sonraki yıllarda Einstein'm kuramlarının başarısını onun "dehasına" bağlamak moda olduysa da, geriye dönüp baktığımız zaman genel görelilik kuramını birleştirme bağlamı içerisinde düşünebiliriz. Einstein'm taktiği, yine Newton ve Maxwell'inkiler gibiydi: Birbirine benzemeyen iki kavramı tek bir kozmik birlik içerisinde toplayacak fizik kurallarını ortaya çıkartmak.

Devrimcilikten Dinozorluğa

Uzay-zaman ve kütleçekimi kuramlarının getirdiği erken başarılardan moral kazanan Einstein, daha da büyük avların peşine düştü: Kendisinin kütleçekimi hakkındaki geometrik kuramı ile Maxwell'in ışık kuramını birleştirecek birleşik alan kuramı.

Ne gariptir ki, evrenimizin gizemlerini aralamaya cüret ettiği için bütün dünya Albert Einstein'ın Isaac Newton ile aynı değerde olduğunu kabul etmesine karşın, insanların çoğu Einstein'ın son otuz yılını birleşik alan kuramı alanında tek başına, beyhude ve kesinlikle sonuçsuz bir arayış içerisinde geçirdiğini düşünmektedir. 1940'larda ve 1950'lerde pek çok fizikçi, Einstein'ın yaşının artık geçmiş olduğunu öne sürmekteydi. Onun, dünyada olup bitenleri izlemeyen ve atom fiziğindeki yeni gelişmelerden, yani kuantum kuramından habersiz olduğunu söylüyorlardı. Hatta birkaç tanesi, onun arkasından dudak bükerek bunadığını, akıl almaz bir şekilde Kutsal Kâse peşinde koşan bir çatlağa dönüştüğünü dahi söylemişti. Einstein'ın çalıştığı Gelişmiş Araştırmalar Enstitüsü'nün yöneticisi olan J. Robert Oppenheimer dahi, Einstein'ın çabalarının yararsız olduğunu çalışma arkadaşlarına birkaç kez söylemişti.

Einstein, "Beni genellikle taşlaşmış, cins bir adam olarak, yılların etkisiyle körleşmiş ve sağırlaşmış olarak görürler,"[5] diye itiraf ediyordu. Yaşamının son yıllarında fizikçi meslektaşlarından neredeyse tamamen kopmuştu, çünkü atom fiziğindeki ve kuantum kuramındaki yeni gelişmelerden çok, birleşik alan kuramı tarafından hemen hemen tamamen yutulmuş durumdaydı. 1954 yılında, "Herhalde ben," diye yorumladı, "kötü kuantumla yüz yüze gelmemek için kafasını sürekli olarak görelilik kumlarının içine sokan bir devekuşu gibi görünüyor olmalıyım."[6]

Aslında, Einstein'ın bazılarını öngörüsüz ve dar bakışlı olarak nitelediği birkaç meslektaşına ilişkin hayal kırıklığı, yazdığı zaman ortaya çıkmaktaydı, "Eline bir tahta parçası alan, en ince kısmını arayan ve en kolay delinebilecek yerine bir sürü delik delen bilim insanlarına tahammül edemiyorum." Bir seferinde de sekreterine çabalarının yüz yıl sonraki fizikçiler tarafından

takdir edileceğini fakat mevcut fizikçi neslinin bunu yapamadığını söylemişti (Arada sırada içine düştüğü yalnızlık kendisini rahatsız etmiyordu da. Bir seferinde "Benim türümde bir insan olmanın özü," demişti, "tam olarak *ne* düşündüğünde ve *nasıl* düşündüğünde yatar, ne yaptığında veya nelere katlandığında değil")[7].

Bu arada bilim dünyası, ışığı kütleçekimi ile birleştirmeye çalışmak yerine (bilim insanlarının çoğu bunun çok erken, hatta olanaksız olduğunu düşünüyordu), tamamen yeni bir yöne perçinlenmişti: Atom ve nükleer fiziğin doğuşuna.

Tarih boyunca bilimin hiç bir yeni dalı, atom bombasının patlatılması gibi anıtsal bir olay tarafından selamlanmamıştır. Kalem ve kâğıt ile çalışan birkaç fizikçinin gözlerden uzak çabaları, birdenbire insanlığın akışını değiştirmeye başlamıştı. Onların yalnızca New Mexico'daki Los Alamos laboratuarı gibi yerlerde çalışan bir avuç kişinin anlayabildiği gizemli denklemleri, birdenbire dünya tarihinin en önemli gücü oluvermişti.

1930'lar, 1940'lar ve 1950'ler boyunca fizik alanında görelilik veya birleşik alan kuramı değil, kuantum alanındaki gelişmelere dair etkinlikler egemen oldu. Einstein'ın meslektaşları arasında Kopenhağlı Niels Bohr ve Göttingenli Werner Heisenberg gibi çoğu, atomik ve nükleer olayları, yani kuantum mekaniğini tarif edecek bir matematik dili yaratmakla meşgul idiler. Einstein, o dönem boyunca ışığı kütleçekimi ile birleştirme arayışlarında neredeyse tek başına kalmıştı.

Bazıları, kuantum mekaniğini geri çevirmekle Einstein'ın yaşamının en büyük hatasını yaptığını ileri sürer. Ancak bu, Einstein'ın bilimsel düşüncesinden büyük ölçüde habersiz olan pek çok bilim tarihçisinin ve gazetecinin sürdürdüğü bir söylentiden ibarettir. Bu söylentiler, birleşik alan kuramını tanımlayan matematiğe bu tarihçilerin çoğu yabancı olduğu için sürüp gitmektedir.

Dikkatli ve bilimsel bir bakışla okunduğu zaman, Einstein'ın elli yıl önce yayımlanan çalışmaları onun ne kadar modası geçmiş olduğunu göstermek bir yana, yaklaşımının şaşırtıcı derecede modern olduğunu ortaya koymaktadır. Bu makaleler, Einste-

in'ın kuantum mekaniğinin geçerliliğini sonunda kabul ettiğini açıkça göstermektedir. Bununla beraber, onun kişisel kanaatine göre kuantum mekaniği henüz tamamlanmamış bir kuramdı, tıpkı Newton'un çekim (evrensel çekim) kuramı gibi, yanlış değil, sadece tamamlanmamış bir kuram.

Einstein, son derece başarılı olsa da kuantum mekaniğinin nihai bir kuram olmadığına inanmaktaydı. Bilim insanı olmayanlar ve tarihçiler tarafından büyük ölçüde göz ardı edilen daha sonraki bilimsel çalışmaları, birleşik alan kuramının bir yan ürün olarak kuantum mekaniğinin özelliklerini kendiliğinden açıklayacağına inandığını göstermektedir. Einstein, atom altı parçacıkların ve atomların yalnızca kendisinin kütleçekimi ve ışık konulu geometrik kuramının çözümleri gibi görüneceğini düşünüyordu.

Ne var ki Einstein, doğadaki güçlerin eninde sonunda bir fizik ilkesi veya simetrisi tarafından birleştirilmiş olması gerektiği görüşünün peşinden giden yolun ortasındayken öldü. Ölümünden kırk yıl sonra dahi, biyografisini yazanların çoğu birleşik alan kuramı arayışı sırasında keşfettiği çıkmaz sokakları göz ardı ederek onun fizik araştırmalarının son yıllarını yok sayarlar ve yalnızca kendisini nükleer silahsızlanmaya adaması üzerine yoğunlaşırlar.

Einstein'ın Hatası

Her ne kadar fizikçiler dört temel kuvveti tek bir kuram içinde birleştirmek için gerekli olan ayrıntıları tam olarak anlamasalar da, Einstein'ın birleşik alanı üzerinde ter dökerken neden bu kadar zorlukla karşılaştığını anlamaktadırlar. Biz, Einstein'ın nerede hata yaptığını anlıyoruz.

Einstein bir seferinde görelilik kuramında evrenin her yerine birbirinden farklı hızlarda çalışan saatler yerleştirdiğini, ancak evine bir saat alacak parasının olmadığını söylemişti. Einstein, bu şekilde büyük keşiflerini nasıl yaptığına dair bir ipucu vermişti: Fiziksel resimler halinde düşünerek. Matematik, ne kadar

soyut veya karmaşık olursa olsun, daima daha sonra, bu fiziksel resimleri doğru şekilde kelimelere dönüştürecek bir araç olarak, gelirdi. Resimlerin halkın geneli tarafından anlaşılabilecek kadar basit ve şık olduğu kanaatini taşımaktaydı. Matematik çapraşık ve karmaşık olabilirdi, fakat fiziksel resim, daima basit olmalıydı.

Einstein'ın biyografi yazarlarından biri şöyle diyordu, "Einstein daima olabilecek en basit fikirlerle başlar ve problemi nasıl gördüğünü anlatarak onu uygun bağlam içerisine sokardı. Bu sezgisel yaklaşım, neredeyse resim yapmak gibi bir şeydi. Bu, bana bilgi ile anlama arasındaki farkı öğreten bir deneyim olmuştu."[8]

Einstein, sahip olduğu keskin kavrayış nedeniyle başkalarından daha ileriyi görme olanağına sahipti. Görelilik kuramını ileri sürmesine yol açan şey, Einstein'ın büyük resimsel kavrayışıydı. O, otuz yıl boyunca fizik alanında yüce bir konum işgal etti, çünkü fiziksel resimleri ve kavramsal yeteneği şaşmaz bir şekilde doğruydu. Bununla beraber işin komik yanı, yaşamının son otuz yılında Einstein'ın bu kavramsal yaklaşımı terk etmesi ve belirgin herhangi bir görsel resim olmadan karmaşık matematiksel denklemlerin güvenli ortamına sığınması nedeniyle birleşik alan kuramını yaratmayı başaramamış olmasıdır.

Einstein, yönlendirici bir fizik ilkesine sahip olmadığının elbette farkındaydı. Bir seferinde, "İnanıyorum ki, gerçekten bir ilerleme elde etmek için araştırma yaparak doğadan bir genel ilke bulup çıkartmak gereklidir"[9] diye yazmıştı. Buna karşın, tüm çabalarına rağmen aklına yeni bir fizik ilkesi gelmedi, bu nedenle giderek fiziksel içerikten yoksun "bükülü" geometriler gibi soyut matematiksel kavramlara yöneldi. Sonunda, başlangıçtaki yolundan saptığı için, araştırmalarının merkezini oluşturacak olan birleşik alan kuramını yaratmayı başaramadı.

Geriye dönüp baktığımız zaman, bu kadar yıl boyunca Einstein'ın aklına gelmeyen şeyin süper sicim kuramı olabileceğini görmekteyiz. Sonsuz sayıdaki parçacığı titreşen bir sicimin halleri olarak kapsayan süper sicim kuramı, çok açık ve nettir. Eğer bu kuram kendisinden beklenenleri karşılarsa, en derin fizik ku-

ramları bir kez daha insanı şaşırtacak derecede basit bir şekilde resimsel olarak özetlenmiş olacaktır.

Einstein, birleştirmenin ardından gitmekte haklıydı. Bütün kuvvetleri birleştirmenin kökeninde bir simetrinin yatmakta olduğuna inanmaktaydı. Bununla beraber, kütleçekimini nükleer kuvvetle değil de elektromanyetik kuvvetle (ışıkla) birleştirmeye çalışarak, yanlış bir taktik izlemişti. Einstein'ın bu iki kuvveti birleştirmeye çalışması çok doğaldı, çünkü bunlar, onun yaşamı boyunca yoğun şekilde araştırdığı konulardı. Yine de, nükleer kuvveti göz ardı etmeyi bilinçli olarak seçmişti, bu da belki anlaşılabilir bir şeydi, çünkü o sıralarda nükleer kuvvet, dört kuvvet arasında en gizemli olanıydı. Ayrıca, nükleer kuvveti tarif eden kuramla, kuantum mekaniğiyle de bir türlü rahat edememişti.

Göreliliğin enerji, kütleçekimi ve uzay-zamanın gizemlerini açığa çıkartmasının yanında, yirminci yüzyıla egemen olan diğer kuram da maddenin kuramı olan kuantum mekaniğidir. Basit kelimelerle kuantum mekaniği, dalgalar ve parçacıkların ikili kavramlarını birleştirerek atom fiziğini başarıyla tarif eder. Fakat Einstein, şimdiki fizikçilerin aksine, birleşik alan kuramına giden yolu açan anahtarın görelilik ile kuantum mekaniği arasındaki evlilikten doğacağını anlamamıştır.

Einstein, doğanın kuvvetlerini anlamak konusunda ustaydı. Fakat maddeyi, özellikle nükleer maddeyi anlama konusunda zayıftı. Şimdi işin bu yanına döneceğiz.

3
Kuantum Yapbozu

BİLİM DÜNYASI, 1900'lü yılların başlarında Newton'un üç yüzyıllık fizik kurallarına başkaldıran bir dizi yeni deney nedeniyle kargaşa içerisine girmişti. Dünya, eski düzenin küllerinden yükselen yeni bir fiziğin doğum sancılarına tanık olmaktaydı. Yine de, bu kargaşanın içinden bir değil, iki kuram ortaya çıktı.

İlk kurama –görelilik– Einstein öncülük etmiş ve enerjisini kütleçekimi ve ışık gibi kuvvetlerin yapısını anlamaya yoğunlaştırmıştı. Maddenin niteliklerini anlamanın temelleri ise, atom altı olayların dünyasını yöneten ikinci kuram, kuantum mekaniği tarafından atılmıştı. Bu kuram, Werner Heisenberg ve çalışma arkadaşları tarafından yaratılmıştı.

Fiziğin İki Devi

Aralarında bir evren büyüklüğünde fark olan kuramlar yaratmış olmalarına karşın, Einstein ile Heisenberg'in kaderleri pek

çok açıdan garip bir şekilde birlikte dokunmuş gibiydi. Her ikisi de Alman asıllıydı, kendilerinden öncekilerin yerleşik bilgeliğini sorgulayan, yerleşik inançları yıkan devrimcilerdi. Modern fizik üzerinde öylesine derinlemesine egemen oldular ki, keşifleri yarım yüzyılı aşkın bir süredir fiziğin yolunu belirledi.

Ayrıca, en iyi çalışmalarını da şaşılacak kadar genç yaşlarda yaptılar. Einstein, göreliliği keşfettiği sırada yirmi altı yaşındaydı. Kuantum yasalarının büyük bölümünü ortaya koyduğu sırada Heisenberg'in yaşı yirmi dört (doktorasını yirmi bir yaşında tamamlamıştı), Nobel Ödülü aldığı zaman ise otuz iki idi.

Her ikisi de, yüzyılın başlarında Almanya'da sanatın ve bilimin çiçeklenmesine yol açan düşünsel geleneğin içinden gelmekteydiler. Birinci sınıf fizik çalışmaları yapma hayalleri kurmakta olan hevesli bilim insanları, zorunlu olarak Almanya'ya göç etmekteydiler. (1920'lerin sonlarında, ABD'de fiziğin içinde bulunduğu ilkel düzeyden hayal kırıklığına uğrayan Amerikalı bir fizikçi, kuantum mekaniğinin ustalarıyla çalışmak üzere Almanya'nın Göttingen kentine gitmişti. Bu fizikçi, J. Robert Oppenheimer, daha sonra ilk atom bombasını yaptı)

Bu iki kişinin kaderi, Alman tarihinin karanlık tarafının, Prusya'nın askerlik ve diktatörlük geleneğinin dokunuşunu da hissetmişti.1933 yılında, faşistlerin daha önce görülmemiş bir baskı dönemine başlamakta oldukları açıkça belli olduğu zaman, Yahudi olan Einstein canını kurtarmak için Nazi Almanya'sından kaçtı. Buna karşın Heisenberg, Almanya'da kaldı ve hatta Hitler'in atom bombası projesinde de çalıştı. Doğrusu, Almanya'da Heisenberg gibi dünyaca tanınmış fizikçilerin bulunması, Einstein'i 1939 yılında Başkan Franklin Roosevelt'e o ünlü mektubu yazmaya, atom bombasını inşa etmesi için sıkıştırmaya ikna etmeye yardımcı olmuştur. Birkaç yıl önce eski bir OSS (CIA'nın atası) ajanının açıkladığına göre Müttefikler Heisenberg'den öylesine korkmaktaydılar ki, Almanların atom bombasını yapmalarına engel olmak için gerekirse ona suikast düzenlemek üzere ayrıntılı planlar hazırlamışlardı.

Onların sadece kişisel kaderleri bağlantılı olmakla kalmamış, bilimsel eserleri de birbiri ile yakın bir ilişki içerisinde olmuştu.

Einstein'ın başyapıtı, bazı soruları yanıtlamaya başlayan genel görelilikti, şöyle sorular: Zamanın bir başlangıcı ve sonu var mıdır? Evrenin en uzak noktası nerededir? En uzak noktanın ötesinde ne bulunur? Yaratılış sırasında neler oldu?

Aksine, Heisenberg ve onun Erwin Scrödinger ve Danimarkalı fizikçi Niels Bohr gibi çalışma arkadaşları, bunların tam zıddı olan sorular sormuşlardır: Evrendeki en küçük nesne nedir? Madde, herhangi bir kısıtlama olmaksızın giderek daha küçük parçalara bölünebilir mi? Heisenberg ve çalışma arkadaşları, bu soruları yönelterek kuantum mekaniğini yaratmışlardır.

Bu iki kuram, pek çok yönden birbirinin zıddıymış gibi görünmektedir. Genel görelilik, galaksilerin ve evrenin kozmik hareketleri ile ilgilenirken, kuantum mekaniği atom altı dünyasını araştırır. Görelilik, temel olarak, bütün uzayı dolduran kuvvet alanlarına ait bir kuramdır (Örneğin kütleçekimi kuvvet alanı, dış uzaya uzanan bürümcük gibi sarmaşık kollarına benzetilebilir.) buna karşın kuantum mekaniği, temelde ışık hızından çok daha yavaş şekilde yol alan atomik madde ile ilgili bir kuramdır. Kuantum mekaniğinin dünyasında bir kuvvet alanı, bütün uzayı yalnızca düzgün ve sürekli bir şekilde kaplıyormuş gibi görünür. Eğer onu yakından inceleyebilseydik, aslında birbirinden ayrı birimler olarak nicelendirilebileceklerini anlardık. Örneğin ışık, kuanta veya foton olarak adlandırılan minicik enerji paketlerinden meydana gelmektedir.

Bu kuramların ikisi de kendi başlarına doğa için doyurucu bir tanımlama sağlayamamaktadır. Einstein'ın kendi görelilik kuramını başarısız bir şekilde neredeyse kopma noktasına kadar zorlamış olması, göreliliğin birleşik alan kuramı için tek başına bir temel oluşturamayacağını göstermektedir. Kuantum mekaniği de görelilik olmadan doyuruculuk sağlayamamaktadır; kuantum mekaniği yalnızca atomların davranışını hesaplamak için kullanılabilir, galaksilerin büyük ölçekli davranışını ve evrenin genişlemesini hesaplamak için değil.

Bununla beraber, iki kuramı birleştirmek, bir sürü fizikçinin geçtiğimiz yarım yüzyıl boyunca üstün çabalar harcamasını gerektirmiştir. Fizikçiler, her iki kuramın olası bir bileşimini açık

ve kesin bir şekilde ifade etmeyi ancak son birkaç yılda, süper sicim kuramının yardımı ile başarabilmişlerdir.

Planck – İsteksiz Devrimci

Kuantum kuramı 1900 yılında, fizikçiler kendilerini "kara cisim ışınımı" adı verilen bir şey karşısında hayrete düşmüş bir şekilde buldukları zaman doğmuştu. Örneğin, bir demir çubuğun yüksek sıcaklık derecelerine kadar ısıtıldığı zaman neden parladığını ve kızıllaştığını, sonra akkor haline geldiğini, veya bir yanardağdan püsküren lavların neden kızıl renkte olduğunu açıklayamıyorlardı.

Işığın saf dalga şeklinde olduğunu ve herhangi bir frekansta titreşebildiğini varsayımı altında, kuramlarının kızıl ve akkor renklerini öngöremediğini gördüler. Aslında onların öngörülerine göre ışınımın yüksek frekanslarda sonsuz enerjiye sahip olması gerekiyordu, bu da olanaksızdı. Bu açmaz, "morötesi felaketi" olarak adlandırılmakta ve yıllardır fizikçileri düşündürmekteydi (burada morötesi, yalnızca yüksek frekanslı ışınımı ifade etmektedir).

Alman fizikçi Max Planck, 1900 yılında bu soruna bir çözüm buldu. Kendisi, kara cisim ışınımı alanında en hassas deneylerin yapılmakta olduğu Berlin'de profesör olarak çalışmaktaydı. Bir pazar günü, eşiyle birlikte bazı deneysel fizikçileri misafir ediyorlardı. Onlardan biri, Heinrich Rubens, sohbet sırasında Planck'a kara cisim ışınımı konusundaki son bulgularını anlattı. Rubens gittikten sonra Planck, akıllıca bir matematik oyunu vasıtasıyla Rubens'in verisine doğru şekilde uyacak bir denklem türetebileceğini fark etti. Yeni kuramının heyecanı içerisinde o akşam Rubens'e keşfini anlatan bir kartpostal gönderdi.

O ay yapılan Berlin Fizik Derneği toplantısında sonuçlarını sunan Planck, kendi kuramının çıkarımlarına tam anlamıyla güvenmediği için son derece alçak gönüllü davranmıştı. Işınımın fizikçilerin zannettiği gibi tümüyle dalga benzeri olmadığını, fakat enerji transferinin kesinlikle bireysel paketler halinde mey-

dana geldiğini öne sürdü. 1900 Aralığında yayımlanan makalesinde Planck, uyarıyordu, "Bu önermenin doğada gerçekleşip gerçekleşmediği, deneyimlerle kanıtlanacaktır."[1]

Planck, paketlerin "boyutlarının" inanılmayacak kadar küçük olması nedeniyle enerjinin tanecikli yapısının fizikçiler tarafından hiç bir zaman görülmediğini anlamıştı ($h = 6{,}5 \times 10^{-27}$ erg sn sayısı tarafından belirlenir, buna artık "Planck sabiti" denmektedir.) Bu sayı öylesine astronomik bir küçüklüktedir ki, günlük yaşamda kuantum etkileri asla göremeyiz.[2]

Fizik toplumu, Planck'ın yeni görüşüne ve onun mantıksal sonucu olan ışığın sürekli değil, tanecikli olduğu fikrine yoğun bir eleştirel tepki gösterdi. Işığın bir parçacık gibi davranan "kuanta"lara bölünebileceği fikri, saçma bulunmuştu.

Beş yıl sonra, 1905 yılında, Einstein (o sıralarda hâlâ tanınmamış bir fizikçiydi) fotoelektrik etki kuramını yazarak kuantum kuramını bir sonraki önemli adımına taşıdı. İsteksiz, neredeyse pısırık bir devrimci olan ve bir on dokuzuncu yüzyıl fizikçisinin mizacını taşıyan Planck'ın aksine, Einstein bu kuramla cesur bir şekilde yeni yönlere atılmaktaydı.

Einstein, Planck'ın kuanta hakkındaki garip kuramını kullanarak bir ışık parçacığı metal bir yüzeye çarptığında ne olduğunu sordu. Işık, eğer Planck'ın kuramına uygun davranan bir parçacıksa, metaldeki bazı atomların elektronlarını yerlerinden sökecek ve elektrik üretecekti. Einstein, sökülen elektronların enerjisini Planck sabitini kullanarak hesapladı.

Planck ve Einstein'ın denklemlerinin deneysel fizikçiler tarafından doğrulanması uzun sürmedi. Planck, kuantum kuramı için 1918 yılında, ardından da Einstein, fotoelektrik etki için 1921 yılında Nobel ödülünü kazandılar.

Günümüzde kuantum fotoelektrik etki uygulamalarından yararlanmaktayız. Örneğin televizyon, bu keşif sayesinde mümkün olmuştur. Televizyon kameraları, metal bir yüzey üzerindeki bir görüntüyü kaydetmek için, fotoelektrik etkiyi kullanırlar. Işık, kameranın merceğinden içeri girer, metale çarpar ve belli elektriksel kalıplar yaratır, bunlar da evdeki televizyon alıcılarına gönderilmek üzere televizyon dalgalarına dönüştürülür. Bu

metal, sadece bir kez ışığa tutulabilen alışılagelmiş kamera filminin aksine tekrar tekrar kullanılabildiği için hareketli görüntüleri yakalayabilir.

Kuantum Yemek Kitapları

Binlerce yıl boyunca parçacıkların ve dalgaların farklı varlıklar olduğu düşünülmüştü. Bu ayrım, yirminci yüzyılın başlarında yıkıldı. Planck ve Einstein'ın ışığın (bir dalga) kesin olarak parça benzeri özellikleri bulunduğunu göstermelerinin yanı sıra, elektronlarla yapılan deneyler de parçacıkların dalga benzeri özellikler taşıdığı gösterildi.

1923 yılında genç bir Fransız prens ve lisansüstü fizik öğrencisi olan Louis de Broglie, bir "madde-dalga"nın uymak zorunda bulunduğu temel ilişkileri yazarak bir elektronun tıpkı ışık dalgaları gibi belirli bir frekansa ve dalga boyuna sahip olması gerektiğini beyan etmişti.

Bununla beraber, sonucu belirleyen adım Viyanalı fizikçi Erwin Schrödinger tarafından 1926 yılında atıldı. De Broglie tarafından yazılmış olan ilişkileri heyecan verici bulan Schrödinger, bu dalgaların uymak zorunda olduğu denklemin tümünü (Schrödinger denklemi olarak adlandırılır) yazdı. (Kuramın farklı fakat eşdeğer bir şekli de aynı sıralarda Heisenberg tarafından yazılmıştı.) Planck, Einstein ve Bohr'un eski *kuantum kuramı*, bu şekilde Schrödinger ve Heisenberg'in olgun *kuantum mekaniğine* geçiş yapmış oldu.

1926 yılından önce bilim insanları, dünyadaki en basit bileşiklerin dahi kimyasal özelliklerini öngörmeye çalışmanın umarsız olduğuna inanmaktaydılar. Buna karşın, 1926 yılından sonra fizikçiler, basit atomları yöneten denklemler konusunda cehaletten kurtulup neredeyse tam bir anlayışa geçiş yaptılar. Kuantum mekaniğinin gücü öylesine büyüktü ki, kimya biliminin tamamı ilkesel olarak bir dizi denklemle ifade edilebilirdi.

Bir fizikçi açısından Schrödinger dalga denklemi üzerinde çalışmak, özenle yazılmış bir yemek kitabı kullanarak yemek

yapmaya benzer, çünkü atomların ve moleküllerin özelliklerini tam olarak belirleyebilmek için şu malzemeden ne kadar eklenmesi ve ne kadar süre karıştırılması gerektiğini tam olarak anlatır. Her ne kadar atomların ve moleküllerin karmaşıklığı arttıkça Schrödinger denklemini çözmek zorlaşsa da, elimizde yeterince güçlü bir bilgisayar olsaydı bilinen bütün kimyasal maddelerin özelliklerini bu denklemden yararlanarak ortaya çıkartabilirdik. Bununla beraber, kuantum mekaniği sıradan bir yemek kitabından çok daha güçlüdür, çünkü henüz doğada karşılaşmamış olduğumuz kimyasalların özelliklerini dahi hesaplamamıza olanak sağlar.

Transistör, Lazer ve Kuantum Mekaniği

Kuantum mekaniğinin sonuçları, her yanımızda bulunmaktadır. Kuantum mekaniği olmasaydı, televizyon, lazerler, bilgisayarlar ve radyo gibi senli benli olduğumuz pek çok cihaz mümkün olmazdı. Schrödinger denklemi, örneğin iletkenlik gibi daha önceden bilinen fakat anlaşılamayan pek çok olayı açıklamaktadır. Bu sonuç, giderek transistörün icat edilmesine yol açmıştır. Tam anlamıyla bir kuantum mekaniği olayının sonucu olan transistör olmadan da, modern elektronik ve bilgisayar teknolojisi mümkün olmazdı.

Örneğin bir metalde atomlar, kafes şeklinde düzenli olarak dizilmiştir. Schrödinger denklemi, metal atomlarındaki dış elektronların çekirdeğe zayıf bir şekilde bağlı olduğunu ve aslında bütün kafes üzerinde serbestçe dolaşabileceğini öngörmektedir. En küçük elektrik akımları dahi bu elektronları kafes üzerinde itebilir, bu da elektrik akımının doğmasına neden olur. Metallerin elektriği iletmesinin nedeni budur. Buna karşın, lastikte ve plastiklerde dış elektronlar daha sıkı şekilde bağlanmıştır ve bir akım meydana getirebilecek serbest dolaşan elektronlar yoktur.

Kuantum mekaniği, yarı iletken olarak adlandırılan ve bazen iletken olarak, bazen de yalıtkan olarak davranan metallerin varlığını da açıklamaktadır. Bir yarı iletken, bu sayede elektriğin

akışını kontrol eden bir yükselteç gibi kullanılabilir. Suyun akışını bir bilek hareketi ile kontrol etmeye yarayan bir musluk gibi, transistör de elektriğin akışını kontrol eder. Günümüzde transistörler kişisel bilgisayarlarımızda, radyolarımızda, televizyonlarımızda ve bunlar gibi cihazlarda elektriğin akışını kontrol etmektedir. Üç kuantum fizikçisi, transistörü icat ettikleri için 1956 yılında Nobel Ödülü'nü paylaşmıştır: John Bardeen, William Shockley ve Walter Brattain.

Kuantum mekaniği sayesinde yapılmış olan yeni bir icat, şu sıralarda sanayi ve ticareti yönetme biçimimizde değişiklikler meydana getirmektedir.

Her şeyden önce kuantum mekaniği, neon ve flüoresan lambaların neden çalıştığını açıklar. Neon lambada bir elektrik akımı gazla dolu bir borunun içinden geçer, gazın atomlarına enerji verir ve elektronlarını bir üst kata, daha yüksekte bir yörüngeye veya enerji düzeyine fırlatır. Şimdi "uyarılmış" durumda olan gaz atomlarının elektronları, sönerek başlangıçtaki düşük enerjili durumlarına dönmek isterler. Elektronlar sönümlenerek daha alçak bir yörüngeye indikleri zaman enerji açığa çıkarır ve ışık yayarlar.

Bir ampulde uyarılmış atomlar rastgele şekilde sönümlenir. Aslına bakılacak olursa, güneş ışığı da dahil olmak üzere çevremizdeki ışığın tümü rastgele veya karmaşık bir ışıma, farklı frekanslarda ve değişik evrelerde titreşen çılgınca karmaşık yapıya sahip bir ışınımdır. Buna karşın, Berkeley'deki California Üniversitesi'nden Charles Townes gibi fizikçiler, uyarılmış atomların belli bazı durumlarda *kusursuz bir uyum içerisinde hep birlikte* sönümlenmesinin sağlanabileceğini kanıtlamak için kuantum mekaniğinden yararlandılar. "Eş evreli ışınım" adı verilen bu yeni ışınım türü ile daha önce doğada karşılaşılmamıştı. Townes ve çalışma arkadaşları, 1954 yılında bir eş evreli ışınım titreşimini, o zamana kadar görülmüş en saf ışınım biçimini, başarılı bir şekilde ürettiler.

Townes'ın öncü çalışmaları mikrodalga ışınıma (bu alanda 1964 yılında Nobel Ödülü almıştır) yönelik yapılmış olsa da, bilim insanları onun kuramlarının ışık için de işe yarayabileceğini

çabucak fark ettiler. Uzay kahramanlarının kullandığı türden ışın tabancaları ve gelen nükleer bombaları yok edebilecek ışınlar şu andaki becerilerimizin çok ötesinde olsa da, ticari lazerler metalleri kesmek, iletişim kurmak ve ameliyat yapmak için kullanılabilmektedir ve her geçen gün yeni uygulamalar keşfedilmektedir. Örneğin doktorlar kalp krizi geçirme riski taşıyan kişilerin damarlarındaki yağ birikintilerini yakmak için ince cam kablolar üzerinden ışık enerjisi göndermek için mini lazerler kullanmaktadır. Lazer diskler stereo kayıt cihazlarının üretimini değiştirmiştir ve pek çok süpermarkette lazer ışığı kasalarda ürünlerin ambalajı üzerinde görülen siyah çizgileri (bar kodları) hızla okumak için kullanılmaktadır.

Lazerin belki de en görkemli uygulaması, üç boyutlu televizyonun yaratılması olurdu. Bir süredir Visa kartları üzerlerinde üç boyutlu bir kuşun "hologram" görüntüsü ile hazırlanmaktadır. Gelecekte televizyon ekranlarımızın düz değil de içerisinde üç boyutlu insanların dolaştığını görebileceğimiz üç boyutlu küreler şeklinde olacağı düşünülebilir. Muhtemelen çocuklarımız ve torunlarımız, kuantum mekaniği sayesinde oturma odalarında üç boyutlu televizyonlar seyredecektir.

Transistör ve lazerin yanı sıra diğer yüzlerce önemli keşif, varlığını kuantum mekaniğinin etkilerinin varlığına borçludur. Birkaç tanesinin adını koyalım:

- *Elektron mikroskopları.* Bunlar, virüsler kadar küçük nesneleri görmek için elektronların dalga benzeri özelliklerinden yararlanırlar. Milyonlarca insan, kuantum mekaniğine dayalı bu icadın muazzam tıbbi uygulamalarından doğruca yarar sağlamıştır.
- *DNA molekülünün çözümlenmesi.* Bu karmaşık organik moleküllerin yapısını belirlemek için X ışını kırınımı ve başka incelemeler kullanılmaktadır. Bu moleküllerin kuantum mekaniği yolu ile araştırılmasından eninde sonunda yaşamın sırrı elde edilebilir.
- *Füzyon makineleri.* Bunlar, Dünya üzerinde muazzam enerji miktarları yaratmak için Güneş'in nükleer tepkimelerinden

yararlanacaklardır. Her ne kadar hâlihazırda füzyon makineleri konusunda hâlâ çözümlenememiş pek çok uygulama sorunu varsa da, sonuçta neredeyse sınırsız enerji kaynakları oluşturabilirler.

Kuantum mekaniğinin başarılı olması sayesinde tıp, sanayi ve ticaretin temelden değişiklikler geçirdiğine hiç şüphe yoktur. İşin komik yanı, uygulamalarında böylesine tanımlı ve kesin görünen kuantum mekaniğinin aslında belirsizlikler, olasılıklar ve felsefi açıdan tuhaf fikirlere dayalı olmasıdır. Kısacası, kuantum mekaniği fizik dünyasına bir bomba gibi düşmüştür ve paramparça edici etkiler yapmıştır. "Kuantum kuramı karşısında şok geçirmeyenler," demiştir Niels Bohr, "onu anlamamış demektir."

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

Werner Heisenberg, 1927 yılında bir nesnenin hızını ve bulunduğu yeri aynı anda bilmenin olanaksız olduğunu önerdi. Ne de olsa bir dalga, yayılmakta olan bir şeydi. Sahilde dururken okyanustaki bir dalganın hızını ve yerini hassas bir şekilde nasıl hesaplayabiliriz? Hesaplayamayız. İnsan, bir elektronun konumunu ve hızını asla doğru olarak bilemez. Bu, Schrödinger denkleminin de doğrudan sonuçlarından biridir.

Heisenberg'e göre bu belirsizlik, atom altı dünyasında bir nesnenin gözlenmesi eyleminin onun konum ve hızını değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, bir atomun sisteminin ölçümlenmesi süreci, sistemi öylesine altüst etmektedir ki, onun durumunu değiştirmekte, sistemi ölçüm yapılmadan önceki durumundan nitel olarak farklılaştırmaktadır. Örneğin bir elektron o kadar küçüktür ki, bir atom içerisindeki konumunu ölçmek için üzerinden ışık fotonları yansıtmak gerekmektedir. Ancak ışık öylesine güçlüdür ki, elektronu atomun dışına atmakta, elektronun konumunu ve yerini değiştirmektedir.

Bununla beraber, daha iyi ölçme aygıtları kullanılarak elektronun hız ve konumu değişikliğe yol açmadan ölçülemez mi di-

ye sorulabilir. Heisenberg'e göre yanıt, olumsuzdur. Kuantum mekaniği, ölçüm aygıtlarımız ne kadar hassas olursa olsun tek bir elektronun konum ve hızını aynı anda bilemeyeceğimizi söylemektedir. Koşullardan birini ya da öbürünü bilebiliriz, fakat aynı anda ikisini birden bilemeyiz. Buna Heisenberg'in belirsizlik ilkesi adı verilir.

Belirlenimciliğin Çöküşü

Newton, evrenin Tanrı tarafından zamanın başlangıcında kurulmuş olan bir kozmik saate benzediğini düşünürdü. O zamandan beri, Newton'un formülleştirdiği üç hareket yasasına uygun şekilde çalışmaktaydı. Newtoncu belirlenimcilik olarak adlandırılan bu kuram, evrendeki bütün parçacıkların hareketini matematiksel olarak hassas bir şekilde belirleyebilir.

Fransız matematikçi Pierre Simon Laplace, bunu bir adım daha ileriye götürdü ve zamanın başlangıcında atomların hepsinin ilk hareketi bilindiği takdirde gelecekteki bütün olayların (yalnızca Halley'in geri gelişinin veya gelecekteki güneş tutulmalarının değil, gelecekteki savaşların ve akla aykırı insan kararlarının da) hesaplanabileceğini öne sürdü. Örneğin, en aşırı şekliyle belirlenimcilik, bundan on yıl sonra hangi lokantada oturacağınızı ve ne sipariş edeceğinizi matematiksel bir doğrulukla önceden hesaplamanın mümkün olduğunu ileri sürmektedir.

Ayrıca bu görüşe göre, sonunda cennete mi, cehenneme mi gideceğimiz, çok önceden bellidir. Özgür irade diye bir şey yoktur (Laplace *Göksel Mekanik* adlı başyapıtını yazdığı zaman, Napolyon'un ona Yaratıcı'dan neden bahsetmediğini sorduğu söylenir. Laplace, "Bu varsayıma gerek duymadım" diye yanıtlamıştır.")

Buna karşın, Heisenberg'e göre bunların hepsi saçmalıktır. Kaderimiz, bir kuantum cennetine veya cehennemine kapatılmış değildir. Belirsizlik ilkesi, evren bir yana, bireysel atomların dahi davranışını doğru olarak öngörmeyi olanaksızlaştırmaktadır. Ayrıca, kurama göre, atom altı âleminde *yalnızca olasılıklar*

hesaplanabilir. Örneğin bir elektronun konumunu ve hızını tam olarak bilmek olanaksız olduğu için, elektronun bireysel davranışı hakkında fazlaca bir öngörüde bulunmak olanaksızdır. Bununla beraber, çok miktarda elektronun belli bir şekilde davranma olasılığını şaşırtıcı bir doğrulukla öngörebiliriz.

Örnek olarak her yıl üniversite sınavlarına giren milyonlarca öğrenciyi ele alalım. Her bireyin sınavda ne başarı kazanacağını öngörmek zordur, fakat bütün sınıfın ortalama başarısını olağanüstü bir doğrulukla belirleyebiliriz. Aslına bakılacak olursa, çan şeklindeki eğri yıldan yıla pek az değişiklik gösterir. Dolayısıyla, birkaç milyon öğrencinin puanını sınavdan önce öngörebiliriz, fakat herhangi bir öğrencinin sonuçlarını önceden söyleyemeyiz.

Benzer şekilde, kararsız durumda olan ve eninde sonunda yok olacak olan tek bir radyoaktif uranyum çekirdeğini ele alacak olursak, ne zaman ve ne kadar enerjiyle bozunacağını söylemek asla mümkün değildir. Kuantum mekaniği, çekirdeğin hâlâ etken durumda mı, yoksa bozunmuş mu olduğunu o çekirdeğin durumunu fiili olarak ölçmeden söyleyemez. Aslında, kuantum mekaniğinin tek bir çekirdeği tanımlamak için tek çaresi, onun bu iki konumun bir karışımı içinde olduğunu varsaymaktır. Yani, tek bir uranyum çekirdeği, ölçümden önce -fizikçiler açısından bakarak- sağlam olmakla bozunmuş olmak arasında bir ara durumdadır. Kuantum fiziği, bu garip varsayım sayesinde milyarlarca uranyum atomunun bozunma hızını şaşırtıcı bir doğrulukta hesaplamamıza olanak sağlar.

Merak Kediyi Öldürür

Bilim insanları her ne kadar laboratuarda kuantum mekaniğinin kurallara karşı geldiğini asla görmüş olmasalar da (fakat kanıtlandığını epeyce görmüşlerdir), kuram sürekli olarak "mantığa" karşı gelmektedir. Kuantum mekaniği tarafından ortaya atılan kavramlar öylesine yenidir ki, Erwin Schrödinger 1935 yılında onun görünürdeki saçmalığını sergilemek amacıyla akıllıca bir "düşünce deneyi" düzenlemiştir.

Zehirli gaz dolu bir şişenin ve bir kedinin, açılmasına izin verilmeyen bir kutuda bulunduğunu varsayın. Kutunun içine bir göz atamadığımız için, kedinin ölü mü, canlı mı olduğunu söyleyemeyiz. Şimdi, zehirli gaz şişesinin bir parça uranyum cevherinden yayılan radyasyonu ölçen bir Geiger sayacına bağlı olduğunu varsayın. Eğer tek bir uranyum çekirdeği kaybolacak olursa radyasyon açığa çıkacak, Geiger sayacını çalıştıracak, bu da şişeyi kırarak kediyi öldürecektir.

Kuantum mekaniğine göre tek bir uranyum çekirdeğinin ne zaman bozunacağına emin olamayız. Sadece milyarlarca çekirdeğin bozunması olasılığı üzerine hesap yapabiliriz. Dolayısıyla kuantum mekaniği, tek bir uranyum çekirdeğini tarif etmek için onun iki durumun -birisi uranyum çekirdeğinin dingin, diğeri ise bozunmuş olduğu durumlar- karışımı olduğunu varsayar. Kedi, hem ölü hem de canlı olma olasılıklarını kapsayan bir dalga fonksiyonu ile tanımlanır. Diğer bir deyişle, kedinin iki durumun bir karışımında olduğunu varsaymamız gerekir.

Hiç şüphesiz, kutuyu açıp bir ölçüm yapmamıza izin verildiği zaman kedinin ölü mü, canlı mı olduğunu güvenilir bir şekilde belirleyebiliriz. Fakat biz kutuyu açmadan önce, olasılıklar uyarınca kedi ölü ve canlı olma ara durumundadır. Eğer bu yeterince garip değilse, kutuyu açma eyleminin kendisi, kedinin ölümü, canlı mı olduğunu belirlemektedir. Kuantum mekaniği uyarınca ölçme sürecinin kendisi, kedinin durumunu belirler. Kuantum mekaniği, işleri biraz daha karmaşıklaştırmak için, nesnelerin gözlem yapılıncaya kadar tanımlı bir durumda (örn.: ölü veya canlı) var olmadıklarını da ima etmektedir.

Schrödinger'in kedisi gibi kuantum ikilemlerinin ima ettiği şeyler, Einstein'ı rahatsız etmişti. "Gerçekliğin akla yatkın hiç bir tanımının," diye yazmıştı, "buna izin vermesi beklenmezdi."[3] O da, kendisinden önce Newton'un yaptığı gibi, nesnel gerçekliğe inanıyor, fiziksel evrenin herhangi bir ölçüm sürecinden bağımsız olarak kesin bir durumda var olduğunu savunuyordu.

Kuantum mekaniğinin ortaya çıkışı felsefi görüşlerden meydana gelen bir arı yuvasına çomak sokmuş, vızıltılar o zamandan beri kesilmemiştir.

Felsefe ve Bilim

Bilim insanları, daima felsefeyle ilgilenmişlerdir. Einstein, ileri yaşlarında "Bilim kuramı olmaksızın bilim," diye yazmıştı, "... ilkel ve karmakarışıktır."[4] Gerçekten de, gençliğinde Einstein ve birkaç arkadaşı felsefeyi incelemek üzere örgütlenen gayri resmi bir grup olan Olympia Akademisi'ni kurmuşlardı. Erwin Schrödinger, dalga denklemini yayımlamadan birkaç yıl önce felsefe ile ilgilenmek amacıyla fizik kariyerini geçici olarak bırakmaya karar vermişti. Max Planck, *Fiziğin Felsefesi* adlı kitabında hür irade ve belirlenimcilikten bahsetmekteydi.

Kuantum mekaniğinin bilim insanları tarafından atom altı düzeyinde yapılan her deneyde kesin bir zafer kazanmış olmasına karşın, şu felsefi soruyu ortaya çıkartmaktadır: Ormanda bir ağaç devrildiğinde, etrafta duyacak hiç kimse olmasa dahi herhangi bir ses çıkartır mı? Piskopos Berkeley gibi on sekizinci yüzyıl filozofları ve tekbenciler,* buna "hayır" yanıtı verirlerdi. Tekbenciler için yaşam, rüyayı görenin dışında maddesel bir varlığı bulunmayan bir rüyaydı. Bir masa, sadece orada onu gözlemleyecek bir bilinç bulunuyorsa vardır. Descartes'ın "Düşünüyorum, o halde varım" sözü, tekbencilere çok uyar.

Diğer taraftan, Galile ve Newton'dan itibaren bilimde elde edilen bütün büyük ilerlemeler, devrilen ağaç sorusunun yanıtının "evet" olduğunu varsaymıştır – yani fizik yasaları, insan ilişkilerinin dışında, nesnel olarak vardır, yalnızca gözlem alanının içerisinde, öznel olarak değil.

Buna karşın kuantum fizikçiler –geçerli ve son derece başarılı matematiksel formüllere dayanarak– felsefi bir sıçrama yapmakta ve bir ölçüm olmaksızın gerçekliğin var olmadığını öne sürmektedirler. Diğer bir deyişle gözlem süreci, gerçekliği yaratmaktadır. (Bununla beraber, ilk kuantum fizikçilerin bu felsefeyi yalnızca atom altı dünyasına uyguladıklarını, tekbenci olmadıklarını vurgulamak gerekir.)

---

* Solipsistler, "Yalnız ben varım, benden başka her şey yalnızca benim tasarımımdır" diyen, öznel beni bilinç içerikleriyle birlikte tek gerçek, tek var olarak kabul eden görüşün yanlıları (Ç.N.)

Geleneksel fizikçiler, bu yeni dünya görüşünü başlangıçta kuşkuyla karşıladılar. Aslında kuantum mekaniğinin kurucuları kaygılarını ifade ettiler, çünkü Newton fiziğinin klasik dünyasından vazgeçmek zorunda kalıyorlardı. Heisenberg, 1927 yılında Bohr ile gecenin geç saatlerine kadar süren ve "neredeyse umutsuzlukla" sona eren konuşmaları hatırlıyordu. Bu konuşmaların ardından Heisenberg parkta tek başına bir yürüyüş yapar ve kendi kendine şu soruyu sorardı: Doğa, bu atomik deneylerde göründüğü kadar anlamsız olabilir mi? Fakat sonunda kuantum fizikçiler, tıpkı günümüzde pek çok fizikçinin yaptığı gibi, bu yeni kuramı yürekten kabullendiler ve onun sonraki kırk beş yıl boyunca fiziğin akışına egemen olmasını sağladılar.

Buna karşın, gerçekliğe ilişkin kuantum görüşünü hiç bir zaman kabul etmeyen bir fizikçi vardı: Albert Einstein. Kuantum mekaniğine birkaç nedenle karşı çıkıyordu. Birincisi, olasılıkları bütün bir kuram için geçerli bir temel olarak görmüyordu. Olasılıklardan meydana gelen bir kuramın içine yerleştirilmiş tamamen tesadüf bakışını kabullenemezdi. "Kuantum mekaniği çok etkileyici," diye yazmıştı Max Born'a, "... fakat kesin kanaatim odur ki, Tanrı zar atmaz."[5]

İkincisi, Einstein kuantum kuramının eksik olduğuna inanıyordu. "Tam bir kuram için şu gereksinim," diye savunuyordu, "çok gerekli görünmektedir: *Fiziksel gerçekliğin her öğesinin fizik kuramı içinde bir karşılığı olmalıdır*"[6] (italik yazılar onun özgün sözleridir). Kuantum mekaniği, bu açıdan başarısız olmaktadır; sadece grup davranışlarını ele aldığı için, bireysel olayları ayrıntılı şekilde açıklayamayan bir kuramsal sistemdir.

Ayrıca, nedenselliğe gerçekten inanan Einstein, evrene ilişkin objektif olmayan bir görüşü kabullenemezdi. Einstein, kuantum mekaniğinin deneysel başarısına tepki olarak Born'a şöyle yazdı: "Şimdiye kadar *başarı* ona karşı olsa da, [nesnel gerçekliğe] ikna olmuş bulunuyorum."[7] Gerçekten de, Benedict de Spinoza hakkında yazarken kendini düşünüyor olabilirdi: "... Spinoza'nın başa çıkmak zorunda kaldığı ruhsal durum, tuhaf bir şekilde bizimkini andırmaktadır ... o, doğal olayların nedensel ilişkilerine dair bilgi edinmek için harcanan çabalara eşlik eden ba-

şarının hâlâ epeyce mütevazı olduğu bir sırada, bütün olayların birbiri ile bağlantılı olduğuna sonuna kadar inanmaktaydı."[8]

Einstein, itirazlarında neredeyse tek başınaydı. Diğer fizikçiler kuantum arabasında yer almak için koşarlarken, o, kuramın eksik olduğunu ölümüne kadar savundu. Bir arkadaşına, "Meslektaşlarımın gözünde inatçı bir kâfire dönüştüm,"[9] diye yazmıştı. Fakat bu yine de onu pek rahatsız etmiş gibi görünmüyordu. 1948 yılında "Bir anlık başarı," diye sinirli bir şekilde gözlemliyordu, "çoğu insan için ilkeler üzerindeki düşüncelerden daha fazla ikna gücüne sahiptir."[10] Çoğunluğun görüşüne de boyun eğmiyordu; Einstein, Newton'un eski çekim kuramından bahsederek, bu kuramın eksik olduğu ortaya çıkartılmadan önce iki yüzyılı aşkın bir süre başarılı olduğuna dikkat çekiyordu.

Einstein'ın kuantum mekaniğinin matematiksel denklemlerini kabul ettiğini vurgulamak gerekir. Buna rağmen, kuantum kuramının nesnel ve gerçek tanımı yapılabilecek daha derin bir kuramın (birleşik alan kuramının) eksik ifadesi olduğunu hissediyordu. Kuantum olaylarını görelilikle birleştirecek bir kuram arayışından asla vazgeçmedi. Hiç şüphe yok ki, süper sicimlerin belki de o kuram olacağı günü görecek kadar yaşaması olanaksızdı.

Pragmatizm İş Başında

Bu arada, 1930'lar ve 1940'larda dünyadaki fizikçilerin belki yüzde 99'u bir tarafta, Einstein diğerinde durumunu koruyarak, kuantum mekaniği son derece moda olmuştu.

Bilim insanlarının küçük bir azınlığı, aralarında Nobel Ödülü sahibi Eugene Wigner, ölçümün bir tür bilinç ima ettiği görüşünü savunmaktaydı. Onların görüşüne göre bir ölçümü yalnızca bilinçli bir kişi veya varlık yapabilirdi. Dolayısıyla, bu azınlığa göre, maddenin tümünün varlığı (kuantum mekaniği uyarınca) ölçmeye, evrenin varlığı bilince dayalıdır.

Bunun insan bilinci olması şart değildir – evrenin başka herhangi bir yerindeki akıllı yaşam ve hatta bazılarının öne sürdü-

ğü gibi Tanrı da olabilir. Kuantum mekaniği ölçülen ile gözlemci arasındaki ayrımı bulanıklaştırdığı için, onların inancına göre belki de dünya, gözlemcinin (bilinçli bir varlık) ilk ölçümü yapması ile var olmaya başlamıştır.

Buna karşın fizikçilerin çok büyük bir kısmı, ölçümün bilinç olmadan yapılabileceği yolundaki pragmatik görüşü benimsemektedir. Örneğin bir kamera, "bilinçli" olmadan bir ölçüm yapabilir. Galaksinin içinde hızla yol almakta olan bir foton, belirsiz bir durumdadır, fakat bir kameranın merceğine çarptığı ve bir film parçasını etkilediği anda durumu belirli hale gelir. Dolayısıyla kameranın gözü, ölçüm yapan görevi görür. Işık, kameraya çarpmadan önce durumların bir karışımından meydana gelmektedir, fakat kameranın içindeki filmin pozlanması, fotonun gerçek durumunu belirlemiştir. Ölçümler, bilinçli bir gözlemcinin varlığı olmadan yapılabilir. Gözlem, bilinç anlamına gelmez.[11]

(Sırası gelmişken, süper sicim kuramı Schrödinger'in kedisini incelemek için belki de en kapsamlı yolu sağlamaktadır. Kuantum mekaniğinde fizikçiler genellikle belli bir parçacık için Schrödinger dalga fonksiyonunu yazarlar. Oysa süper sicim kuramının eksiksiz kuantum mekaniği tanımı, *tüm evrenin* Schrödinger dalga fonksiyonunu yazmamızı gerektirmektedir. Eskiden fizikçilerin mesela bir nokta parçacığın Schrödinger dalga fonksiyonunu yazıyor olmalarına karşın, süper sicim kuramı, içindeki bütün parçacıkların yanı sıra uzay-zamanın -yani evrenin- dalga fonksiyonunun yazılmasını da gerektirmektedir. Bu, Schrödinger'in kedisiyle ilişkili bütün felsefi sorunları çözümlemez; yalnızca sorunun başlangıçta ifade ediliş şeklinin (kediyi bir kutu içinde düşünmek) eksik olabileceği anlamına gelir. Schrödinger'in kedisi sorununun nihai çözümü, evrenin çok daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını gerektirebilir.)

Kuantum mekaniğinin elli yıllık görkemli başarısının tadına varmış fizikçilerin çoğu, onun garip felsefi sonuçlarıyla bir arada var olmayı öğrenmişlerdir. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından Los Alamos'ta çalışan genç bir fizikçinin zor bir matematik

problemi konusunda büyük Macar matematikçi John von Neumann'dan istediği yardımı hatırlayalım.

Von Neumann, "Basit," diye yanıtlamıştı. "Bunu çözmek için özellikler yöntemi kullanılır."

Genç fizikçi üsteledi: "Korkarım ki özellikler yöntemini anlayamıyorum."

"Delikanlı," dedi von Neumann, "matematikte bir şeyi anlamazsın, yalnızca ona alışırsın."

Göreliliksiz Kuantum Mekaniğinin Başarısızlığı

Felsefi sorular bir yana, 1930'larda ve 1940'larda kuantum mekaniği bir otoyolda tam gaz ilerleyen, durdurulması olanaksız bir TIR gibiydi, yüzyıllar boyunca fizikçileri şaşırtmış olan bütün sorunları dümdüz ediyordu. Genç bir kuantum fizikçi olan Paul Dirac, kimyanın tümünün kuantum mekaniği tarafından bir dizi matematiksel eşitliğe indirgenebileceğini söylemeye cüret ederek, pek çok kimyacının tüylerini diken diken etmişti.

Bununla beraber kuantum mekaniği, kimyasal elementlerin özelliklerini açıklamakta ne kadar başarılı olursa olsun kendi başına eksiksiz bir kuram değildi. Kuantum mekaniğinin fizikçiler tarafından sadece ışık hızının çok altındaki hızları incelemek için kullanıldığında işe yaradığına dikkatle işaret etmemiz gerekir. İşin içine özel görelilik katılmaya çalışıldığında bu TIR, bir duvara çarptı.

Bu bağlamda, kuantum mekaniğinin 1930 ve 1940'lardaki görkemli başarısı, tamamen rastlantısaldı. Hidrojen atomundaki elektronlar, genellikle ışık hızının yüzde biri kadar bir hızla hareket eder. Eğer doğa, elektronları ışık hızına yakın bir hızda hareket eden atomlar yaratmış olsaydı, özel görelilik önem kazanır ve kuantum mekaniğinin başarısı çok daha küçük olurdu.

Dünya üzerinde ışık hızına yaklaşan olaylarla çok ender olarak karşılaşırız, bu yüzden kuantum mekaniği lazerler ve transistörler gibi gündelik olayları açıklamakta değerli bir rol oynar.

Buna karşın, kozmostaki ultra hızlı ve yüksek enerjili parçacıkları incelemeye başladığımız zaman ise kuantum mekaniği, göreliliği artık göz ardı edemez.

Bir an için hayalinizde yarış pistinde bir otomobil sürmekte olduğunuzu canlandırın. Hızınız saatte mesela 100 kilometrenin altında olduğu sürece her şey yolunda gidecektir. Buna karşın, saatte 150 kilometrenin üstüne çıkmaya çalıştığınız zaman otomobil arızalanabilir ve kontrolden çıkabilir. Bu, otomobil mühendisliğimizin çağ dışı kaldığını ve değiştirilmesi gerektiği anlamına değil, saatte 150 kilometreden yüksek hızlar için böyle yüksek hızlarla başa çıkabilecek, ciddi değişiklikler geçirmiş bir otomobile gereksinimimiz olduğu anlamına gelir.

Aynı şekilde, bilim adamları, ışık hızının çok altındaki (özel göreliliğin göz ardı edilebileceği) hızlarla uğraşırken kuantum mekaniğinin öngörülerinden herhangi bir sapma ile karşılaşmamışlardır. Buna karşın kuram, yüksek hızlarda başarısız olmaktadır. Kuantum mekaniğinin görelilikle evlendirilmesi gereklidir.

Kuantum mekaniği ile görelilik arasındaki ilk evlilik, bir felaketti, onlarca yıl boyunca yalnızca bir dizi anlamsız sonuç üreten çılgınca ("kuantum alan kuramı" adıyla anılan) bir kuram yaratmıştı.

Kuantum alan kuramı, fizikçilerin örneğin elektronlar çarpıştığında ne olduğunu hesaplamaya çalıştığı her seferinde, çarpışma için sonsuz değerler üretiyordu.

Kuantum mekaniğinin ve göreliliğin -hem özel, hem de genel- tam olarak birleştirilmesi, bu yüzyılın büyük bilimsel problemlerinden birini oluşturmuştur ve yalnızca süper sicim kuramcıları bu problemi çözdüklerini ileri sürmektedirler.

Kuantum mekaniği, kendi başına bazı sınırlamalara sahiptir, çünkü on dokuzuncu yüzyıl fiziği gibi o da hâlâ süper sicimler temeline değil, nokta parçacıklar temeline dayanmaktadır.

Lisede kütleçekimi ve elektriksel alanlar gibi kuvvet alanlarının "ters kare yasası"na uyduğunu -yani, bir parçacıktan uzaklaştıkça alanın zayıfladığını- öğrenmiştik. Örneğin insan Güneş'ten ne kadar uzaklaşırsa, Güneş'in çekimi de o kadar azala-

caktır. Bu, parçacığa yaklaştıkça, çekim kuvvetinin dramatik şekilde artacağı anlamına gelir. Aslında, bir nokta parçacığın yüzeyindeki kuvvet alanının birin karesinin sıfıra bölümü kadar, yani 1/0 olması gerekir. Bununla beraber, 1/0 gibi ifadeler sonsuzdur ve iyi tanımlanmamıştır. Kuramımıza nokta parçacıkları eklememiz dolayısıyla, enerji gibi fiziksel miktarlar üzerinde yaptığımız bütün hesaplamaların 1/0 değerleriyle delik deşik olması gibi bir bedel öderiz. Bu, bir kuramı işe yaramaz hale getirmeye yeterlidir; sonsuzlardan kurtarılamayan bir kurama göre hesap yapılamaz, çünkü sonuçlara güvenmek mümkün değildir.

Sonsuzlar sorunu, izleyen yarım yüzyıl boyunca fizikçilerin başına dert oldu. Bu sorun, ancak süper sicim kuramının ortaya çıkışı sayesinde çözülebildi, çünkü süper sicimler nokta parçacıkları ortadan kaldırıyor, yerine bir iplik getiriyordu. Heisenberg ve Schrödinger tarafından başlangıçta yapılmış olan varsayım -kuantum mekaniğinin nokta parçacıklar üzerine kurulması gerektiği- gereğinden daha kısıtlayıcıydı. Bir süper sicim kuramı üzerine yeni bir kuantum mekaniği inşa edilebilirdi.

Kuramın hem özel ve hem de genel göreliliği kuantum mekaniği ile evlendirmekte kullanılan mekanizma ise, yalnızca sicimlerde karşılaşılan hayranlık uyandırıcı bir özelliktir. Bu özelliği ilerideki bölümlerde tartışacağız.

4
Sonsuzlar Bulmacası

KASA HIRSIZLARI ile kuramsal fizikçiler arasında ne benzerlik vardır? Richard Feynman, dünyanın en iyi korunan kasalarından bazılarını açan başarılı bir kasa hırsızıydı. Aynı zamanda, dünyaca tanınmış bir fizikçiydi de. Feynman'a göre hem kasa hırsızları hem de fizikçiler, rastgele görünümlü ipuçlarını ince eleyip sık dokumak ve sorunun yanıtlarını taşıyan belli belirsiz motifleri birbiri ile birleştirmek konusunda çok hünerliydiler.

Fizikçiler, 1930'lu yıllardan bu yana kuantum alan kuramının 'kasasını' açmak ve kuantum mekaniği ile görelilik arasında gerçekleştirilebilecek başarılı bir evliliğin anahtarını bulmak amacıyla yoğun fakat sonuçsuz bir çaba harcamaktadırlar. Bununla beraber fizikçiler, son yirmi yıl içerisinde atom parçalayıcılardan elde edilen deneysel veriler içerisinde karşılaşılan cazip görünüşlü fakat sonuçsuz ipuçlarının düzenli bir desen oluşturduğunun farkına varmış bulunmaktadırlar.

Günümüzde bu desenin altında birbirinden tamamen farklı görünen kuvvetleri birbirine bağlayan matematiksel bir simetri

mevcut olduğunu anlamaktayız. Bu simetriler, daha sonra görecek olduğumuz gibi, kuantum alan kuramında karşılaşılan farklılıkları ortadan kaldırmakta önemli bir rol oynayacaklardır. Bu simetrilerin bu farklılıkları ortadan kaldırabileceğinin keşfedilmesi, fizikte geçtiğimiz yarım yüzyılın belki de en büyük dersidir.

Şakacı Feynman

Simetrilerden yararlanma ve hangi problem olursa olsun önemli özelliklerini ayıklama alanındaki bu yeteneği, Feynman'ın 1949 yılında özel görelilik ile kuantum mekaniği arasındaki ilk başarılı birleştirmeyi yapmasına yol açmış, kendisi ve çalışma arkadaşları da bu sayede 1965 yılında Nobel ödülü kazanmışlardır.

"Kuantum elektrodinamiği - Quantum Electrodynamics (QED)" adı verilen kuram, yalnızca foton (ışık) ve elektron (zayıf veya nükleer kuvvet değil, kütleçekimi kesinlikle değil) arasındaki etkileşimleri ele alan, günümüz standartlarına göre mütevazı bir katkıydı; fakat yıllar süren hayal kırıklıklarının ardından, özel göreliliği kuantum mekaniği ile birleştirmek konusunda elde edilen ilk önemli ilerlemeydi.

Feynman'ın kişiliği Einstein'ınkinden ne kadar farklı idiyse, QED kuramı da görelilikten o kadar farklıydı. Diğer fizikçilerin çoğunun aksine Einstein, şakacı bir yapıya sahipti ve sıradan toplumun eski kafalı totemleri ile dalga geçmek için eline geçen her fırsatı kullanırdı. Einstein'ın oyunbaz karakterine karşılık olarak, Feynman ise tuhaf davranışlar sergileyen bir muzipti.

Feynman'ın uygulamalı şakalara olan düşkünlüğü, 1940'larda atom bombası üzerinde çalışan genç bir fizikçi olduğu sıralarda ortaya çıktı. Kasa açma konusundaki yetenekleriyle gurur duyduğu için, günün birinde Los Alamos'ta içinde atom bombasına ilişkin gizli bilgiler bulunan üç kasayı art arda açtı. Kasalardan birine, üzerine o kasayı ne kadar kolay açmış olduğu ile böbürlenen sarı renkli bir not kâğıdı bıraktı ve notu "uyanık adam" diye imzaladı. Son kasanın içine ise benzer bir not bıraktı, ama bu sefer "aynı adam" diye imzalamıştı.

Ertesi gün Dr. Frederic de Hoffman kasaları açtı ve bu notları dünyanın en sıkı korunan sırlarının üstünde yatar vaziyette buldu. Feynman, şöyle anlatıyor: "Bir insanın korktuğu zaman yüzünün sapsarı kesildiğini kitaplarda okumuştum, fakat daha önce hiç karşılaşmamıştım. Evet, bu kesinlikle doğruymuş. Yüzü grileşti, griyeşil bir renk aldı – görünüşü gerçekten korkutucuydu."[1] Dr. de Hoffman, esrarengiz "aynı adam" tarafından imzalanan kâğıdı okuduğunda hemen "Omega Binasına girmeye çalışan aynı adam bu!" diye bağırmıştı. Histeriye kapılan Dr. de Hoffman, kasayı açan kişinin Los Alamos'taki başka bir projeye ilişkin casusluk faaliyeti yapmaya çalışan başka bir kişiyle aynı olduğu sonucunu çıkartmıştı. Feynman, fazla uzatmadan zanlının kendisi olduğunu itiraf etti.

Çok daha zor bir problem üzerinde, kuantum alan kuramındaki sonsuzları ortadan kaldırmak için çalıştığı bir sırada, Feynman'ın kasa açma konusundaki meşhur becerisi görünüşe göre epeyce işine yaradı.

S Matrisi Kuramı – Gökyüzü Neden Mavidir?

Feynman, Massachusetts Institute of Technology'de bir öğrenci olduğu sıralarda, kendi kendine basit bir soru sormuştu: Kuramsal fiziğin tümü içerisinde en önemli problem hangisidir? Yanıtın kuantum alan kuramını istila etmiş bulunan sonsuzlardan kurtulmak olması gerektiği, açıkça belliydi.

Feynman, elektronlar ve atomlar gibi parçacıkların birbirleri ile çarpıştığı zaman ne olduğunu nümerik olarak öngörmek için çalışmaya başladı. Fizikçiler, bu tür çarpışmaları tarif ederken, parçacıklar çarpıştığı zaman meydana gelenlere ilişkin bütün bilgiyi içeren bir dizi sayıdan ibaret olan S *matrisi* (s harfi, saçılma anlamına gelen "scattering" kelimesini temsil eder) deyimini kullanırlar. Bu değer, kaç tane parçacığın belli bir açı ile ve belli bir enerji miktarı ile saçılacağını bize söyler.

S matrisinin hesaplanması son derece önemlidir, çünkü ilkesel olarak, s matrisi tam olarak bilindiği takdirde maddenin bütün özelliklerinin bilinmesi olasılığı doğacaktır.

S matrisinin önemli yanlarından biri de, kafa karıştırıcı nitelikteki günlük olayları açıklayabilmesidir. Örneğin on dokuzuncu yüzyıl fizikçileri, güneş ışığının havadaki dağılması için s matrisinin derme çatma bir modelini kullanarak, gökyüzünün neden mavi olduğunu ve günbatımının neden kırmızı olduğunu açıklama olanağı bulmuşlardır.

Gündüz vakti gökyüzüne baktığımız zaman ağırlıklı olarak hava moleküllerine çarparak yansıyan ve atmosfer içinde her yöne dağılan güneş ışığını görürüz. Mavi ışık kırmızıya kıyasla daha kolay dağıldığı ve gökyüzündeki ışığın büyük bölümü dağılmış ışıktan meydana geldiği için, gökyüzü mavi görünür. (Buna karşın, eğer atmosfersiz bir Dünya'da yaşıyor olsaydık, gökyüzü gündüz vakti dahi karanlık olurdu, çünkü dağılan hiç ışık olmazdı. Güneş ışığını dağıtacak atmosfere sahip olmayan Ay üzerinde gökyüzü gündüz vakti dahi siyah görünür.)

Buna karşın günbatımı, zıt bir etki nedeniyle kırmızı görünür: Biz ağırlıklı olarak dağılmış ışığa değil, Güneş'in kendisine bakarız. Günbatımında Güneş ufka yakın durur, batmakta olan Güneş'in ışığının gözümüze ulaşmak için bu nedenle yatay olarak gelmesi ve dolayısıyla göreli olarak daha fazla miktarda havanın içinden geçmesi gerekir. Güneş ışığı gözümüze ulaştığında, dağılmadan kalan sadece kırmızılardır.

Benzer şekilde, 1930'ların kuantum fizikçileri çarpışan hidrojen ve oksijen atomları için s matrisini hesapladıkları zaman, suyun yaratılabileceğini göstermişlerdi. Aslına bakılırsa, eğer atomlar arasındaki olası bütün çarpışmalar için s matrisini bilseydik, olası bütün moleküllere ilişkin bilgileri, DNA molekülleri dahil, ilkesel olarak öngörme olanağı bulabilirdik. Bunun nihai anlamı, s matrisinin yaşamın kendisinin kökenine ilişkin anahtarı sakladığıdır. Bununla beraber, fizikçilerin karşı karşıya olduğu temel sorun, ışık hızına yakın hızlara uygulanmaya çalışıldığı zaman kuantum mekaniğinin işe yaramaz hale geliyor olmasıydı. J. Robert Oppenheimer, kuantum mekaniğinin özel görelilikle bir araya getirildiği zaman s matrisi için işe yaramaz bir sonsuzlar dizisi öngördüğünü daha 1930'larda bulmuş, bu sonsuzlardan kurtulmanın bir yolu bulunamadığı takdirde, kuramın bir kenara atılması gerektiğini yazmıştı.

1940'lı yıllarda Feynman, geliştirdiği en iyi kasa açma yöntemlerini kullanarak elektronlar birbiri ile çarpıştığı zaman neler olduğunu kâğıt parçaları üzerine karaladı. Her karalama aslında muazzam miktarda sıkıcı matematiksel işlemi simgeleyen stenografik bir işaret olduğu için, Feynman yüzlerce sayfalık cebir işlemini sıkıştırmayı ve başa dert olan sonsuzları ayırmayı başarmıştı. Bu matematiksel karalamalar, onun karmaşık matematik ormanının içerisinde kaybolanlara kıyasla daha uzağı görmesine olanak sağlamıştı.

"Feynman diyagramları"nın, ne şekilde kullanılacakları konusunda farklı görüşlere sahip fizik toplumu içinde bir anlaşmazlığa yol açması hiç de şaşırtıcı değildi. Feynman kendi kurallarını türetemediği için, onu eleştirenler bu diyagramları aptalca veya belki de onun meşhur şakalarından bir başkası olarak görüyorlardı. Muhaliflerinden bazıları, Harvard Üniversitesinden Julian Schwinger ve Tokyo'dan Shinichiro Tomonaga tarafından formüle edilen başka bir QED sürümünü tercih ettiler. Buna karşın, sezgileri daha güçlü olan fizikçiler, Feynman'ın bu çizimlerde çok önemli olma potansiyeli taşıyan bir şeyler yakaladığını algıladı. Princeton'dan fizikçi Freeman Dyson, bu kargaşanın nedenini şöyle açıklıyordu:

> Dick'in fizik yaklaşımının sıradan insanlar tarafından kavranmasının böylesine zor olmasının nedeni, onun denklemler kullanmamasıydı. Teorik fizik için Newton'un zamanından beri alışılagelmiş çalışma şekli, bazı denklemler yazmak ve sonra da o denklemleri çözmek için sıkı bir çaba harcamaktı ... Dick, denklemleri yazmadan çözümleri kafasından yazıveriyordu. Olan şeyleri kafasında fiziksel bir resim olarak canlandırıyordu ve o resim, ona çözümleri asgari düzeyde hesaplama ile doğruca veriyordu. Yaşamlarını denklem çözerek geçirmiş olan insanların ona şaşmalarını garipsememek gerek. Onların zihinleri çözümsel olarak çalışıyordu; onun zihni ise resimsel olarak.[2]

Feynman'ın karalamaları önemliydi, çünkü bunlar onun fizikte bugün devam etmekte olan bir devrim başlatan ayar simetrisinin bütün gücünden yararlanmasına olanak sağlamıştır.

Tinker Toy'lar* ve Feynman Diyagramları

Tinker Toy'larla oynadığımızı düşünün. Elinizde yalnızca üç tür eleman olsun: Düz bir çubuk (hareket eden bir elektron), dalgalı bir çubuk (hareket eden bir foton) ve bir dalgalı çubuğu iki düz çubuğa bağlayabilen (aradaki etkileşimi temsil eden) bir eklem.

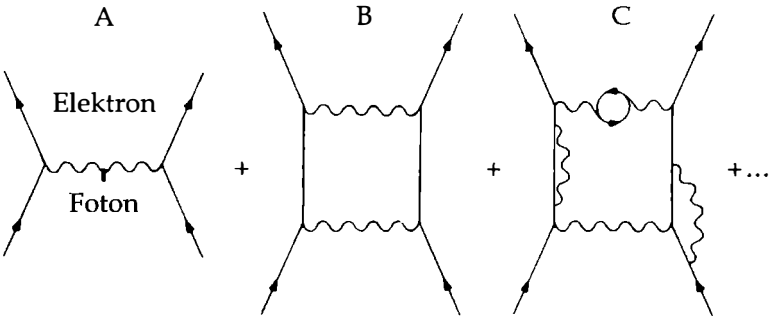
Şimdi, bu elemanları olabilecek her şekilde birleştirdiğimizi varsayın. Örneğin, iki elektronun çarpışması ile başlayalım. Çok basit bir şekilde, iki elektronun nasıl çarpıştığını tarif etmek üzere bu Tinker Toy elemanlarını kullanarak sonsuz sayıda diyagram yaratabiliriz.

Hiç şüphesiz, bu diyagramlar aldatıcı bir biçimde basit olacaktır. Her biri belirli bir matematiksel ifadeyi temsil eden ve birbirine eklendiği zaman s matrisini ortaya çıkartan bu Feynman diyagramlarından sonsuz sayıda vardır. Fakat biraz idmandan sonra fizik eğitimi almış olmayan kişiler dahi iki elektronun nasıl çarpıştığını tarif eden yüzlerce diyagram yaratabilir.

Esas itibariyle iki tür Tinker Toy diyagramı çizilebilir: Son şekilde görülene benzeyen "döngüler" ve ilk şekilde görülene benzeyen ve döngüsü olmayan fakat ağaç dallarını andıran "ağaçlar". Feynman, ağaçların sonlu olduğunu ve deneysel olarak güzel sonuçlar verdiğini bulmuştu. Fakat döngü diyagramları sorunluydu, anlamsız sonuçlar vermekteydi. Iraksak bir yapıları vardı, çünkü kuram, hâlâ *nokta parçacıklar* üzerine kuruluydu. İşin özünde, 1940'lı yıllarda kuantum fizikçiler, bir nokta parçacığın enerjisinin 1/0 olduğunu bulan on dokuzuncu yüzyıl fizikçilerinin keşfini yeniden keşfetmekteydiler.

---

* LEGO benzeri bir oyun. Piyasaya 1913 yılında çıkmıştır ve halen üretimi sürmektedir.



Feynman'a göre iki elektron (düz çubuklar) çarpıştığı zaman, foton (dalgalı çubuklar) alışverişinde bulunurlar. Şekil A'da, çarpışan bu elektronlar tek bir foton değişimi; şekil B'de iki foton değişimi; şekil C'de çok sayıda foton değişimi yapmaktadır.

Günümüzde yalnızca elektronlar ve fotonlar için değil, kütleçekimsel etkileşimler için dahi, bütün bu ıraksaklıkların süper sicim kuramı tarafından ortadan kaldırılması olasılığı pek yüksektir. Bununla beraber, 1940'larda Feynman, sonsuzlar sorununa QED ile kısmen de olsa bir çözüm bulmuştu.

Feynman'ın çözümü, çekişmeli olsa da epeyce değişik bir çözümdü. QED, iki parametresi bulunan bir kuramdır –elektronun yükü ve kütlesi. Özel göreliliğe ek olarak, Maxwell'in denklemleri "ayar simetrisi"* adı verilen bir simetriye daha sahipti ve bu, Feynman'ın büyük bir diyagramlar grubunu yeniden gruplandırmasına olanak sağlamıştı– ta ki sonsuzları ortadan kaldırmak veya birbirini götürmelerini sağlamak amacıyla elektronun yükünü ve kütlesini yeniden tanımlayabileceğini anlayana kadar.

Sonsuzlar üzerinde yapılan bu hokkabazlık, başlangıçta büyük bir şüphe ile karşılanmıştı. Ne de olsa, Feynman'ın yöntemi

* Bir dalga denklemi, uzayın ve zamanın her noktası için tanımlanır. Eğer uzayın ve zamanın her noktasında aynı dönüşü yaptığımız zaman denklemde bir değişiklik olmuyorsa, denklem küresel simetriye sahip demektir. Buna karşın, uzay ve zamanın *her* noktasında *farklı* bir dönüş yaptığımız zaman denklem değişmeden kalıyorsa, yerel simetri veya ayar simetrisi denilen daha karmaşık bir simetriye sahip demektir. Artık biliyoruz ki, kuantum alan kuramının istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için belki de tek yol, ayar simetrisidir.

elektronun özgün kütlesinin ve yükünün ("çıplak" kütle ve yükü) başlangıçta temel olarak sonsuz olduğunu, fakat grafiklerden çıkan sonsuzları yuttuklarını (yani renormalize ettiklerini) ve sonlu hale geldiklerini varsaymaktaydı.

Sonsuz eksi sonsuzun anlamlı bir sonuç vermesi olası mıdır? (Ya da, fizik dilinde yazacak olursak, $\infty - \infty = 0$ olabilir mi?)

Eleştirenlere göre, bir sonsuzlar takımını (elektrik yükü ve kütleden gelenler) ortadan kaldırmak için başka bir sonsuzlar takımının (döngülerden ortaya çıkanlar) kullanılması, salon hokkabazlığına benziyordu. Aslına bakılacak olursa Dirac, doğaya ilişkin bilgilerimizde gerçekten önemli bir sıçramayı temsil etmek açısından çok kullanışsız olması gerekçesiyle renormalizasyon kuramını yıllarca eleştirdi. Dirac'a göre renormalizasyon kuramı, hilebaz bir kağıt oyuncusunun elindeki Feynman diyagramları destesini hızla karıştırarak üstünde sonsuzların bulunduğu kağıtları gizemli bir şekilde ortadan kaybetmesine benziyordu.

Dirac, bir seferinde "bu, akla yatkın bir matematik değildir," demişti. "Akla yatkın matematikte bir niceliği çok küçük olduğu ortaya çıkınca ihmal edersiniz - sonsuz büyüklükte olduğu ve onu istemediğiniz zaman değil!"[3]

Buna karşın, deneylerde elde edilen sonuçlar inkâr edilebilecek gibi değildi. Feynman'ın yeni renormalizasyon kuramı (sonsuzları yok etmek için bir yol sağlıyordu), 1950'lerde fizikçilerin hidrojen atomunun enerji düzeylerini inanılmaz bir doğrulukta hesaplamasına olanak sağladı. Başka hiç bir kuram, QED'nin olağanüstü hesaplama doğruluğunun yanına dahi yaklaşmıyordu. Kuramın yalnızca elektron ve fotonlarda işe yaramasına (ve zayıf, güçlü veya kütleçekimsel kuvvetlerde yaramamasına) karşın, müthiş bir başarı olduğu yadsınamazdı.

Feynman'ın sürümünün Schwinger'in ve Tomonaga'nın sürümlerine eşdeğer olduğu gösterildikten sonra, bu üçlü, QED'nin sonsuzlarından kurtuldukları için 1965 yılında Nobel Ödülü'nü paylaştı. Sonradan baktığımızda, onların asıl başarısının QED'deki sonsuzları mucizevi gibi görünen bir şekilde kaybetmede can alıcı bir sorumluluğa sahip olan Maxwell'in ayar si-

metrisini kullanmaları olduğunu anlıyoruz. Simetri ve renormalizasyon arasında tekrar tekrar karşılaşılan bu karşılıklı etkileşim, fiziğin büyük gizemlerinden birisidir. Fizikte karşılaşılan en büyük simetri takımına sahip olan süper sicimin bu denli harika özelliklere sahip oluşu, bu güçlü simetrilerden ileri gelmektedir.

Renormalizasyon Kuramının Başarısızlığı

Feynman'ın kuralları, 1950 ve 1960'lar boyunca fizikte büyük rağbet gördü. Ülkenin en iyi laboratuarlarının bir zamanlar yoğun denklemlerle dolu olan yazı tahtaları, şimdi ağaçlar ve döngülerle dolu resimlerle çiçek açıyordu. Görünüşe göre birdenbire herkes kâğıt parçalarının üzerine karalamalar yapmak ve Tinker Toy benzeri şemalar çizmek konusunda uzmanlaşmıştı. Fizikçilerin mantığına göre, madem Feynman'ın kuralları ve renormalizasyon kuramı QED'yi çözmekte bu kadar başarılıydı, o halde belki de yıldırım aynı yere ikinci kez düşer ve güçlü ve zayıf kuvvetler de "renormalize" edilebilirlerdi.

Bununla beraber, 1950 ve 1960'lar yanlış başlangıçlarla dolu, kafa karıştırıcı yıllardı. Feynman'ın kuralları, güçlü ve zayıf etkileşimleri renormalize etmek için yeterli değildi. Fizikçiler, ayar simetrisinin öneminin farkına varmadıkları için, yüzlerce çıkmaz sokakta boş yere dolaşmışlardı.

Yirmi yıl süren kaosun ardından, zayıf etkileşimler konusunda nihayet önemli bir ilerleme elde edildi. Maxwell'in zamanından, neredeyse yüz yıldan beri ilk defa, doğanın kuvvetleri birleşmeye doğru bir adım daha attı. Bulmacanın anahtarı, bir kez daha ayar simetrisi olacaktı.

Renormalizasyon ve Zayıf Etkileşimler

Zayıf etkileşimler, elektronların ve onların "nötrino" adı verilen partnerlerinin davranışları ile ilgilidir (zayıf şekilde etkileşen parçacıklara toplu olarak "leptonlar" adı verilir). Nötrino, ev-

rendeki bütün parçacıklar arasında belki de en fazla merak uyandırıcı olanıdır, çünkü en zor ele geçirilen parçacıktır. Yükü yoktur, muhtemelen kütlesi yoktur ve algılanması son derece zordur.

Radyoaktif bozunma olayında karşılaşılan garip enerji kaybını açıklayabilmek için, Wolfgang Pauli tarafından 1930 yılında tamamen kuramsal zeminde öngörülmüştür. Pauli, kayıp enerjinin deneylerde görülemeyen yepyeni bir parçacık tarafından taşındığını tahmin etmiştir.

1933 yılında büyük İtalyan fizikçi Enrico Fermi, gözlerden kaçmayı başaran bu parçacık üzerindeki ilk kapsamlı kuramı yayımlayarak ona "nötrino" (İtalyanca'da "küçük nötr şey") adını vermiştir. Bununla beraber, nötrino fikri bir bütün olarak öylesine spekülatifti ki, makalesi başlangıçta İngiliz *Nature* dergisi tarafından geri çevrilmişti.

Nötrino deneylerinin zorluğunu herkes bilirdi, çünkü nötrinolar çok nüfuz edicidir ve varlıklarına dair hiç bir iz bırakmazlar. Aslında, Dünya'nın içine kolaylıkla boydan boya nüfuz edebilirler. Her saniye, vücutlarımız dünyaya Çin'den giren, dünyanın merkezinden geçen ve bastığımız yerden dışarı çıkan nötrinolarla dolup taşmaktadır. Aslına bakılacak olursa, eğer güneş sistemimizin tamamı som kurşunla dolu olsaydı, nötrinolardan bazıları bu zorlu engeli dahi aşmayı başarırdı.

Nötrino'nun varlığı, nihayet 1953 yılında, bir nükleer reaktörün yarattığı muazzam radyasyonu incelemek sureti ile yapılan zor bir deneyde doğrulandı. Keşfedilişinden bu yana mucitler, nötrino için pratik kullanım yolları bulmaya çalıştılar. Bunların en iddialı olanı, bir nötrino teleskopu inşa etmekti.

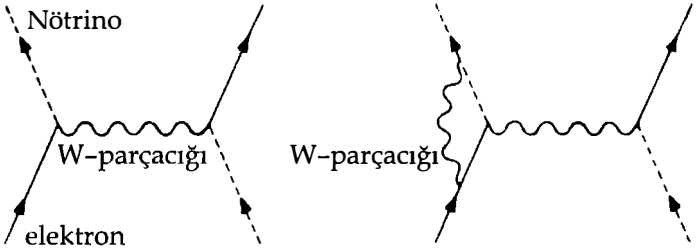
Teleskopla yüzlerce kilometre kalınlığında kayaların içini araştırıp yeni petrol yatakları ve nadir metaller bulabilirdik. Dünya'nın dış ve iç kabuğunun içinden geçerek depremlerin kaynağını öğrenebilir ve belki de onları önlemenin yolunu bulabilirdik. Nötrino teleskopu iyi bir fikir, fakat bir püf noktası var: Nötrinoları durdurabilecek fotoğraf filmini nereden bulacağız? Trilyonlarca ton kayanın içinden geçebilen bir parçacık, fotoğraf filminin içinden de aynı kolaylıkla geçecektir.

(Bir diğer öneri, bir nötrino bombası yapmak olabilirdi. Fizikçi Heinz Pagels'in yazdığına göre bu, "Bir barışseverin en sevdiği silahtı. Rahatlıkla geleneksel bir bomba kadar pahalıya mal olabilecek bu bomba, bir inilti çıkartarak patlar ve hedef alanı yoğun bir nötrino akıntısıyla doldururdu. Herkesi dehşete düşürdükten sonra her şeyin içinden zararsız bir şekilde uçup giderdi.")[4]

Nötrino'nun yanı sıra "muon" gibi diğer zayıf etkileşimli parçacıkların keşfedilmesiyle, zayıf etkileşimlerin gizemi daha da derinleşti. 1937 yılında bu parçacık kozmik ışın fotoğraflarında keşfedildiği zaman sadece bir elektron gibi görünüyordu, fakat en az iki yüz kat fazla ağırlığa sahipti. Nereden bakılırsa bakılsın, yalnızca ağır bir elektrondan ibaretti. Fizikçiler, elektronun işe yaramayan, üstelik daha ağır bir ikizinin bulunmasından huzursuz oldular. Doğa, neden elektronun bir kopyasını yaratmıştı? Bir tanesi yeterli değil miydi? Columbia'dan fizikçi ve Nobel Ödülü sahibi Isidor Isaac Rabi, bu gereksiz parçacığın keşfi kendisine söylendiği zaman, bağırmıştı: "Kim ısmarladı bunu?"

Fizikçiler, işleri daha da zorlaştırmak için Brookhaven, Long Island'da bulunan atom parçalayıcısını kullanarak 1962 yılında muon'un da bağımsız bir partnerinin, muon nötrinosunun, bulunduğunu gösterdiler. Stanford Üniversitesi'nde ve Almanya'nın Hamburg kentinde 1977-78 yıllarında yapılan deneyler, bu sefer elektron kütlesinin üç bin beş yüz katı ağırlıkta başka bir gereksiz elektronun daha varlığını ortaya koydu. Buna "tau" parçacığı adı verildi ve kendi ayrı partnerine, tau nötrinosuna sahipti. Artık her biri kendi nötrinosuna sahip üç tür elektron mevcuttu, her biri de kütlesi hariç, elektron ailesine benzemekteydi. Fizikçilerin doğanın sadeliğine olan inancı, üç gereksiz lepton çiftinin ya da "ailesinin" varlığı nedeniyle sarsılmıştı.

Fizikçiler, zayıf etkileşimler sorunu ile karşı karşıya kalınca eski bir yöntemden yararlandılar ve daha önceki kuramlardan çaldıkları benzerlikleri yeni kuramlar yaratmak için kullandılar. QED'nin özü, elektronlar arasındaki kuvveti foton alışverişi olarak açıklamaktaydı. Fizikçiler, aynı mantığı yürüterek elektron-



W parçacığı kuramına göre bir elektron (düz çubuklar tarafından temsil ediliyor) bir nötrino (noktalı çubuk) ile çarpışır ve bir dizi W parçacığı (dalgalı çizgiler) alışverişi yapar.

larla nötrinolar arasındaki kuvvetin W parçacığı (W harfi, "zayıf" anlamına gelen "Weak" kelimesini temsil eder) adı verilen yeni bir parçacık takımının alışverişinden doğduğunu öne sürdüler.

Sonuçta (elektronlar, nötrinolar ve W parçacıklarıyla) ortaya çıkan kuram, üç Tinker Toy elemanı aracılığıyla açıklanabilir: Düz bir çubuk (elektronu temsilen), noktalı bir çubuk (nötrinoyu temsilen) ve bir bağlantı etkileşimi. Elektronlar nötrinolarla çarpıştıkları zaman, basit bir W parçacığı alışverişi yaparlar.

Tekrar söyleyelim, biraz çalıştıktan sonra W parçacığı alışverişi tarafından yaratılan zayıf etkileşim süreçlerine dair yüzlerce Feynman diyagramı çizmek, hiç de zor değildir.

Bununla beraber, kuramın *renormalize edilemez* olması, sorun doğuruyordu. Feynman'ın hileleri ne kadar akıllıca kullanılırsa kullanılsın, kuramı işgal eden sonsuzlardan kurtulmak mümkün olmuyordu. Sorun, W parçacığı kuramının kendisinde temel bir hastalığın var olmasından kaynaklanmaktaydı - Maxwell'in denklemleri gibi, hiç bir ayar simetrisine sahip olmaması.

Bunun sonucu olarak, zayıf etkileşimler kuramı otuz yıl boyunca uykuda kaldı. Deney yapmanın zor oluşu (nötrinonun ele geçirilmesinin gayet iyi bilinen zorluğu yüzünden) bir yana, W parçacığı kuramı da kabul edilebilir gibi değildi. Fizikçiler kuram üzerinde yıllarca oynadılarsa da, hiç bir önemli gelişme sağlanamadı.

Elektro-Zayıf Kuramın Başarısı

Steven Weinberg, Abdus Salam ve Sheldon Glashow, 196768 sıralarında foton ile W parçacığı arasındaki şaşırtıcı benzerliği fark ettiler. Sonra şu gözlemi yaptılar: Her ne kadar Einstein, ışığı kütleçekimsel kuvvetle birleştirmeye çalışmış olsa da, belki de doğru birleştirme planı fotonu zayıf etkileşimlerin W parçacığı ile birleştirmek olmalıydı. Elektro-zayıf kuram olarak adlandırılan bu yeni W parçacığı kuramı, daha önceki W parçacığı kuramlarından kesin bir şekilde farklıydı, çünkü ayar simetrisinin o sıralarda mevcut en gelişmiş şekli olan Yang-Mills kuramını kullanmaktaydı. 1954 yılında formüle edilen bu kuram, Maxwell'in yaşamı boyunca hayal ettiğinden fazla simetri içermekteydi. (Yang-Mills kuramını Bölüm 7 içinde anlatacağız.)

Yang-Mills kuramı, Weinberg ve Salam'ın zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri aynı temelde birleştirmesine olanak sağlayan yeni bir (matematiksel yapı olarak SU(2) ×U(1) olarak ifade edilen) matematiksel simetriye sahipti. Bu kuram, elektron ve nötrinoya simetrik açıdan aynı "ailedenmiş" gibi de davranmaktaydı. Kuramın bakış açısından elektron ve nötrino aslında aynı paranın iki yüzüydü. (Bununla beraber kuram, neden üç gereksiz elektron ailesinin mevcut olduğunu açıklamıyordu.)

Bu kuram her ne kadar zamanının en iddialı ve gelişmiş kuramı olsa da, bazı kaşların kalkmasına neden oldu. Fizikçiler, onun muhtemelen diğer bütün çıkmaz sokaklar gibi renormalize edilebilir olmadığını ve dolayısıyla sonsuzlarla dolu olduğunu varsayıyorlardı.

Weinberg, orijinal makalesinde W parçacığı kuramının muhtemelen renormalize edilebilir olduğu yorumunu yapmış, fakat hiç kimse ona inanmamıştı. Bunların hepsi, 1971 yılında değişti.

W parçacığı kuramını zehirli bir çıbana döndüren sonsuzların otuz yıl boyunca yol açtığı acılardan sonra, yirmi dört yaşında Hollandalı bir lisansüstü öğrencisi olan Gerard 't Hooft tarafından Yang-Mills kuramının renormalize edilebilir olduğunun kanıtlanması üzerine, dramatik bir gelişme sağlanmış oldu. Sonsuzların birbirini götürmesini gösteren hesaplarını kontrol et-

mek isteyen 't Hooft, bir bilgisayardan yararlandı. Bilgisayarın vereceği sonucu beklerken 't Hooft'un duymuş olması gereken heyecanı hayal etmek mümkündür. Daha sonra anlattığına göre, "O testin sonuçları 1971 Temmuzunda çıktı; programın çıktısı, kesintisiz bir dizi sıfırdı. Sonsuzlar, birbirlerini tam olarak götürmüşlerdi."[5]

Birkaç ay içerisinde yüzlerce fizikçi 't Hooft'un yöntemlerini ve Weinberg ile Salam'm kuramını alel acele öğrenmeye başlamıştı. S matrisi kuramından o zamana kadar ilk kez sonsuzlar değil, gerçek sayılar dökülmeye başlamıştı. Daha önceleri, 1968 yılından 1970 yılına kadar, fizikçilerin yayımladığı tek bir makalede dahi Weinberg ve Salam'ın kuramından bahsedilmemişti. Buna karşın, onların elde ettiği sonuçların değerinin anlaşıldığı 1973 yılı itibariyle, kuramları üzerine 162 makale yayımlanmıştı.

Yang-Mills kuramının içine işlemiş olan sonsuzlar, daha önceki W parçacığı kuramına bulaşan sonsuzları fizikçilerin hâlâ tam olarak anlayamadığı bir şekilde ortadan kaldırmıştı. Burada, simetri ile renormalizasyon arasında insanı serseme çeviren bir etkileşim (bölüm 7'de bu konuyu tartışacağız) mevcuttu. Bu ayrıca, yıllar önce QED üzerinde çalışan fizikçiler tarafından yapılan keşfin de -kuantum alan kuramındaki sonsuzların birbirlerini bir şekilde götürmesi- bir tekrarıydı.

Glashow – İhtilalci Anarşist

New York'un tanınmış Bronx Bilim Lisesi'nden aynı sınıfta okuyan Steven Weinberg ve Sheldon Glashow, birbirleriyle yakın arkadaştılar ve Bilimkurgu Kulübü'nün dergisine makaleler yazıyorlardı. Bronx Bilim Lisesi mezunları arasında, fizik alanında üç Nobel Ödülü sahibi bulunmaktadır - dünyadaki başka herhangi bir liseden daha fazla.

Weinberg ve Glashow birleştirme konusunda aynı sonuca ulaşmış olsalar da, yaratılışları birbirinin zıddıydı. Arkadaşlarından biri, *Atlantic Monthly* dergisine şöyle söylemişti: "Steve bir kralcıdır, Shelly ise ihtilalci bir anarşist. Steve yalnız başına

daha iyi çalışır, Shelly ise başkalarıyla birlikteyken daha iyi çalışır. O bir denemeyanılmacıdır. Sabahleyin kafasında çoğu yanlış olan beşaltı fikirle gelir ve insanların bu fikirler üzerinde tartışmasını bekler. Steve hassas ve kişiseldir, Shelly ise grup halinde yaşamayı sever..."[6]

Glashow vahşi bir "ihtilalci anarşist" tarzına sahip olsa da, fikir üretmek için bazıları çılgınca ve olanaksız olan, fakat bazıları da fizik alanında gerçek yeniliklere yol açan fikirleri kafasında sürekli olarak evirip çevirirdi. Şüphesiz, kötü fikirleri vurup indirmek için başkalarının yardımına güvenirdi, fakat yine de çoğu insanda var olmayan yaratıcı içgüdüye sahipti. Teorik fizikte yalnızca parlak bir zekâya sahip olmak yetmez. İnsanın bazıları garip de olsa, bilimsel keşifler için çok önemli olan yeni fikirler üretmesi gerekir.

Glashow, fiziğin temellerini alt üst etmek için yeni parçacıklar icat etmekten de hoşlanır. Alışılmışın özellikle dışında olan yeni bir parçacık önerdiği zaman, çalışma arkadaşı Howard Georgi, "Bu onun için yerleşik düzeni taşlamanın başka bir yoluydu,"[7] demiştir.

(Glashow, delibozuk bir profesör olarak da ün sahibidir. Michio Harward'da bir lisans öğrencisiyken Glashow'un klasik elektrodinamik dersini almıştı. Final sınavının ortasında, öğrencilerin hepsi problemleri çözmek için ter dökerken, Glashow şöyle konuşmaya başlamıştı: "Ha, bu arada, beş numaralı soruyu ben de çözemedim. Eğer aranızdan cevabı bulan biri olursa lütfen bana söylesin." Sınıftaki herkes şaşkınlık içerisinde birbirine bakakalmıştı.)

Elektro-zayıf kuramı için aldığı 1979 Nobel Ödülü'nün kabul töreninde Glashow, atom altı kuvvetlerinin birleşmesini gözleriyle görmenin verdiği muazzam heyecanı şu şekilde özetlemişti:

> 1956 yılında, ben teorik fizik alanında çalışmaya başladığım zaman, elemanter parçacıklar üzerindeki araştırmalar kırkyama işi bir yorgana benziyordu. Elektrodinamik, zayıf etkileşimler ve güçlü etkileşimler açıkça ayrı disiplinlerdi, ayrı öğretilir ve ayrı araştırılırdı. Hepsini birden

tanımlayan hiç bir tutarlı kuram yoktu. İşler değişti. Artık elemanter fiziğin standart kuramı olarak adlandırılan ve içinde güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşimlerin hepsinin [tek] bir ilkeden yükseldiği bir şeyimiz var... Şimdi elimizdeki kuram, bütünleyici bir sanat eseridir: Kırkyama işi yorgan, bir duvar halısı oldu.[8]

Mezonlar ve Güçlü Kuvvet

Elektro-zayıf kuramının anıtsal başarısından zaten başı dönmüş durumda olan fizikçiler, dikkatlerini güçlü kuvveti çözmeye yönelttiler.

Yıldırım aynı yere üç kez düşer miydi acaba?

Ayar simetrisi, QED ve elektro-zayıf kuramdaki ıraksaklıkları ortadan kaldırmıştı. Ayar simetrisi, güçlü etkileşimlerdeki sonsuzları ortadan kaldırmanın da anahtarı olabilir miydi? Cevap evet idi, fakat ancak on yıllarca süren yoğun bir karışıklık döneminden sonra.[9]

Güçlü etkileşimler kuramının başlangıcı, Japon fizikçi Hideki Yukawa'nın proton ve nötronların "pi mezonlar" adı verilen parçacıkların alışverişi sonucunda yaratılan yeni bir kuvvet tarafından çekirdek içinde bir arada tutulduğunu öne sürdüğü 1935 yılına kadar uzanır. Yukawa, elektron ile çekirdek arasında meydana gelen foton alışverişinin atomu bir parça halinde tuttuğu QED'ye benzeterek, bu mezonların alışverişinin çekirdeği bir parça halinde tuttuğunu öne sürmüştü. Bu kuramsal parçacıkların kütlesini dahi öngörmüştü.

Yukawa, doğada bulunan kısa erimli kuvvetlerin büyük parçacıkların alışverişi ile açıklanabileceğini savunan ilk kişiydi. Aslına bakılacak olursa, Yukawa'nın mezon fikri, birkaç yıl sonra zayıf kuvvetin taşıyıcısı olarak W parçacığını öneren diğer fizikçiler için de bir ilham kaynağı oldu.

1947 yılında İngiliz fizikçi Cecil Powell, kozmik ışın deneyleri yaparken mezonu keşfetti. Parçacık, Yukawa tarafından on iki yıl önce tahmin edilmiş olan değere çok yakın bir kütleye sahip-

ti. Güçlü kuvvetin gizemlerinin ortaya çıkarılmasına öncülük eden bu çalışma nedeniyle Yukawa, 1949 Nobel Ödülü'nü kazandı, Powell ise ödülü ertesi yıl aldı.

Bu mezon kuramı, her ne kadar oldukça büyük bir başarı kazanmış olsa da (üstelik normalize edilebilir de olmasına karşın), kesinlikle son söz değildi. 1950 ve 1960'larda, ülkenin her yanındaki atom parçalayıcıları kullanan fizikçiler, artık "hadronlar" olarak anılmaya başlayan (ve hem mezonları ve hem de proton ve nötron gibi birbiriyle güçlü şekilde etkileşime giren) yüzlerce farklı türde parçacıklar keşfetmekteydi.

Yüzlerce hadronun varlığı, bir "ne oldum deliliğine" yol açmıştı. Bilim insanları atom altı dünyasını araştırdıkça doğanın neden birdenbire daha sade değil de daha karmaşık bir hal aldığını hiç kimse açıklayamıyordu. Evrenin yalnızca dört parçacıktan ve iki kuvvetten (elektron, proton, nötron ile nötrino ve ışık ile kütleçekimi) meydana geldiğinin zannedildiği 1930'larda ise her şey ne kadar basit görünüyordu. Tanımı gereği, temel parçacıkların sayıca az olması gerekirdi, fakat 1950'lerin fizikçileri, ulusal laboratuarlarda keşfedilen yeni hadronların seline kapılmışlardı. Bu kargaşayı bir mantık silsilesine oturtabilmek için yeni bir kuramın gerekli olduğu açıkça belliydi.

Nobel ödülü sahibi Enrico Fermi, her biri garip bir Yunanca isme sahip yeni hadronların bolluğunu kastederek bir seferinde "Bu parçacıkların hepsinin adını hatırlayabilseydim, botanikçi olurdum," demiştir.[10]

J. Robert Oppenheimer, şaka olarak, o yıl yeni bir parçacık *keşfetmemiş* olan fizikçiye Nobel Ödülü verilmesi gerektiğini söylemiştir.

1958 yılında güçlü şekilde etkileşim kuran parçacıkların sayısı öylesine hızlı artmıştı ki, Berkeley'deki California Üniversitesi'nin fizikçileri, bunların izini sürebilmek için bir yıllık yayımlamışlardı. İlk yıllık, on dokuz sayfadan meydana geliyor ve on altı parçacığı sınıflandırıyordu. 1960 yılında gelindiğinde ortalıkta o kadar çok parçacık vardı ki, büyük ölçüde genişletilmiş bir yıllığın yanı sıra cüzdan büyüklüğünde bir de başvuru kartı

yayımlanmıştı. 1995 yılında ise liste, 2.000 sayfayı aşmış, yüzlerce parçacığı tanımlar hale gelmişti.

Yukawa kuramı, renormalize edilebilir olmasına karşın, laboratuarlardan taşmaya başlayan parçacık tarlalarını açıklamak için hâlâ çok kaba saba kalmaktaydı. Renormalize edilebilir olmanın yetmediği, açıkça görülmekteydi. Daha önce gördüğümüz gibi, W parçacığı kuramında eksik olan bileşen, Yang-Mills kuramının ayar simetrileriydi. On yıllarca süren akıl karışıklığının ardından, aynı ders, yani ayar simetrilerinin gücünün araştırılması, güçlü kuvvet için de tekrarlanacaktı.

Dünyalar İçindeki Dünyalar

Daha önce buna benzer bir durum yaşanıp yaşanmadığını araştıran fizikçiler, 1800'lü yıllarda kimyacıların benzer bir karmaşa içine düştüğünü öğrendiler. O günlerde kimyacılar, var olduğu bilinen milyonlarca kimyasal bileşik arasında insanın nasıl olup da yolunu bulabileceğini birbirlerine soruyordu. İlk büyük yenilik, Rus fizikçi Dmitri Mendelev'in 1869 yılında bu bileşiklerin hepsinin ne şekilde basit bir elementler kümesi haline getirilerek Mendelev periyodik tablosu diye adlandırılan güzel bir tabloda toplanabileceğini göstermesi ile ortaya çıktı. Her lise öğrencisinin kimya dersinde öğrendiği bu tablo, kaosu derhal bir düzene sokmuştu.

Mendelev, yalnızca 60 elementin varlığından haberdardı. (Günümüzde bilinenlerin sayısı yüzden fazladır.) Bununla beraber, tabloda ona henüz keşfedilmemiş yeni elementlerin varlığını öngörme olanağı sağlayan çok sayıda "delik" buldu. Bu kayıp elementlerin tam da onun öngördüğü yerlerde keşfedilmesi, Mendelev'in periyodik tablosunun bir doğrulaması oluyordu.

1930'larda fizikçiler, periyodik tablonun dahi kuantum mekaniğinin yasalarına boyun eğen yalnızca üç parçacıkla, elektron, proton ve nötronla açıklanabileceğini gösterdiler. Hiç şüphesiz, birkaç milyar bileşiği periyodik tablonun yalnızca yüz civarındaki elementine, ondan sonra da yalnızca üç parçacığa in-

dirgemek, doğayı anlayışımızda önemli bir sıçramayı göstermekteydi. Aynı yöntem, laboratuarlarımızda keşfedilmekte olan yüzlerce hadron üzerine de uygulanabilir miydi? Bunun anahtarı da, verileri anlamlı bir şekilde toparlayacak bir simetrinin keşfi olacaktı.

İlk önemli gözlem, 1950'li yıllarda sesi en fazla duyulan sözcüleri Nagoya Üniversitesi'nden Shoichi Sakata olan bir grup Japon fizikçi tarafından yapıldı. Hegel ve Engels'in felsefi çalışmalarına atıfta bulunan Sakata grubu, hadronların altında daha da küçük atom altı parçacıklarından meydana gelen bir alt katman bulunması gerektiğini öne sürüyordu. Sakata, bu parçacıklardan üç tanesinin baryonları, iki tanesinin de mezonu meydana getiriyor olması gerektiğini savunmaktaydı. Sakata grubu, bu üç çekirdek altı parçacığın, birbirleri ile yaptığı karışımı matematiksel olarak tanımlayan SU(3) ifadesi ile adlandırılan yeni bir simetri türüne boyun eğdiğini dahi önermişti. Bu matematiksel simetri, SU(3), Sakata ve grubuna hadronun altındaki katman hakkında hassas matematiksel öngörülerde bulunma olanağı tanımaktaydı.

Sakata ekolü, maddenin sonsuz sayıda alt katmandan meydana geliyor olması gerektiğini felsefi ve matematiksel zeminlerde savundu. Bu bazen dünyalar içindeki dünyalar veya soğan kuramı olarak da adlandırılır. Diyalektik materyalizm uyarınca fiziksel gerçekliğin her katmanı, kutupların etkileşmesi sonucunda yaratılmıştır. Örneğin, yıldızlar arasındaki etkileşme, galaksileri yaratır. Gezegenlerle Güneş arasındaki etkileşme, güneş sistemini yaratır. Atomlar arasındaki etkileşme, molekülleri yaratır. Elektron ile çekirdek arasındaki etkileşme, atomu yaratır. Ve son olarak, proton ile nötron arasındaki etkileşme, çekirdeği yaratır.

Bununla birlikte, o sıralarda elde edilebilen deneysel veriler, onların öngörülerini test etmek için çok derme çatmaydı. 1950'lerde bu egzotik parçacıkların belirli özellikleri hakkında eldeki mevcut bilgi, Sakata ekolünün kuramlarını doğrulamak veya çürütmek için yeterli değildi. (Daha da ötesi, Sakata doğru yol üzerinde olmakla beraber, üç temel parçacığın proton, nöt-

ron ve lambda adı verilen yeni bir parçacık olduğu şeklinde yanlış bir düşünce taşıdığı ortaya çıkmıştır.)

Hadronların altında bir alt katmanın bulunduğu inancı ile ilişkili bir sonraki buluş, 1960'lı yılların başlarında, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Murray Gell-Mann ve İsrailli fizikçi Yuval Neéman'ın bu yüzlerce hadronun Mendelev'in periyodik tablosuna çok benzer bir şekilde sekizli desenler halinde ortaya çıktığını göstermesiyle yapıldı. Hatta Gell-Mann, garip bir şekilde bu matematiksel kurama bilgeliğe uzanan yolu tanımlayan Budist inancının adı olan Sekiz Aşamalı Yol adını koymuştu. (Bu adı "muazzam bir şaka" olarak düşünüyordu.) Gell-Mann, Sekiz Aşamalı Yol Tablosunda "delikler" arayarak -tıpkı kendisinden önce Mendelev'in yaptığı gibi- henüz keşfedilmemiş parçacıkların varlığını ve hatta bunların özelliklerini dahi öngörebiliyordu.

Fakat eğer Sekiz Aşamalı Yol Mendelev'in periyodik tablosu ile kıyaslanabilir ise, tablodaki atomları meydana getiren elektron ve protonun karşılıkları neydi?

Daha sonra Gell-Mann ve George Zweig, kuramın tümünü önerdiler. Sekiz Aşamalı Yolun atom altı parçacıkların (Gell-Mann, James Joyce'un *Finnegan's Wake* adlı eserinden esinlenerek bunlara "kuark" adını vermiştir) varlığı nedeniyle ortaya çıktığını keşfetmişlerdi. Bu parçacıklar, Sakata ekolünün yıllar önce öncülüğünü yaptığı SU(3) simetrisine uygun davranmaktaydılar.

Gell-Mann, üç kuark'ın basit bileşimlerini almak suretiyle, laboratuarlarda bulunan yüzlerce parçacığın mucizevi bir şekilde izah edilebileceğini ve daha da önemlisi, yenilerinin varlığını öngörebileceğini buldu. (Gell-Mann'ın kuramı, her ne kadar pek çok yönden Sakata'nınkini andırıyorsa da, Sakata'nınkinden hafifçe farklı bir bileşim takımı kullanıyor ve bu sayede Sakata kuramındaki küçük fakat önemli bir hatayı düzeltiyordu.) Aslına bakılacak olursa Gell-Mann, bu üç kuark'ı doğru şekilde birleştirerek laboratuarlarda elde edilen parçacıkların neredeyse tamamını tanımlama olanağı bulmuştu. Gell-Mann, güçlü etkileşim fiziğine yaptığı katkılardan dolayı 1969 yılında Nobel Ödülü'nü aldı.

Bununla beraber, kuark modeli ne kadar başarılı olursa olsun akılları kurcalayan bir soru kalmıştı: Bu kuarkları bir arada tutan kuvveti açıklayabilecek tatminkâr bir renormalize edilebilir kuram neredeydi? Kuark kuramı, hâlâ eksik durumdadır.

Kuantum Kromodinamiği

Bu arada, 1970'li yılların başlarında, Weinberg ve Salam'ın elektro-zayıf kuramının yol açtığı heyecan, kuark modeline kadar yayılmıştı. Doğal olarak şöyle bir soru sorulmaktaydı: Iraksaklıkları ortadan kaldırmak için neden simetri ve Yang-Mills alanı kullanılmasın?

Sonuçları hâlâ kesinleşmiş olmasa da, günümüzde bütün harika özellikleri ve simetrisi ile Yang-Mills kuramının kuarkları renormalize edilebilir bir çerçeve içinde başarılı şekilde bağlayabileceği konusunda hemen hemen evrensel bir görüş birliği mevcuttur. "Gluon" adı verilen bir Yang-Mills parçacığı, belirli koşullar altında kuarkları bağlayan yapışkan, zamk gibi bir madde olarak davranabilir. Buna "renk" kuvveti adı verilir, elde edilen ve "kuantum kromodinamiği" (kısaca QCD) olarak adlandırılan kuramın güçlü etkileşimler konusundaki nihai kuram olduğuna ilişkin yaygın bir inanç mevcuttur. Hazırlık niteliğindeki bilgisayar programları, Yang-Mills alanının kuarkları gerçekten bağladığını göstermektedir.

Yang-Mills kuramının ve QCD'nin başarılı olması, fizikçileri şu soruyu sormaya yönlendirdi: Doğa, gerçekten bu kadar basit olabilir miydi? Fizikçiler, artık başarıdan sarhoş olmuşlardı. Sihirli formül, renormalize edilebilir kuramlar yaratmak için ayar simetrisinin (Yang-Mills kuramı şekline bürünmüş olarak) kullanılması, kesin başarının reçetesi gibi görünüyordu.

Bir sonraki soru şuydu: Yıldırım, *dördüncü* bir kez düşerek güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşimler için birleştirilmiş bir kuram yaratabilir miydi? Cevabın yine evet olduğu ortaya çıktı.

5
Üst Kuark

DÜNYANIN DÖRT BİR YANINDAKİ laboratuarlarda fizikçiler, ellerine şampanya kadehlerini aldılar. O güne kadar ardından koştukları "üst kuark", nihayet keşfedilmişti. Basın bildirileri dağıtıldığı sırada, Chicago'nun hemen dışındaki Fermi Ulusal Laboratuarı'nda çalışan fizikçiler heyecanlarını zorlukla saklayabiliyorlardı.

Hemen ardından The New York Times bu keşfi ön sayfadan duyurdu. Yeni bir atom altı parçacığın keşfinin ulusal çapta yayın yapan bir gazetede ön sayfadan duyurulması, pek rastlanan bir şey değildi. Atom fiziği konusunda en küçük bir bilgiye (hatta ilgiye de) sahip olmayan milyonlarca insan, birden bire "üst kuark nedir?" sorusunu sormaya başladı.

New York'ta, NBCTV haberleri şehrin dört bir yanında rastgele insanlara üst kuark'ın ne olduğunu bilip bilmediklerini sordu. (Birtakım eğlendirici yanıtlardan sona bir kişi, ayaküstü şaşırtıcı derecede doğru bir yanıt vermişti.) Komedyenler, üst ku-

ark'ı programlarının içine yerleştirmeye başladılar. Üst kuark, on beş dakikalık şöhretin tadını çıkartan ilk parçacık olmuştu.

Üst Kuark Avı

Üst kuark'ı önemli yapan şey, "standart modeli" -parça etkileşimleri konusunda güncel ve en başarılı kuramı- tamamlamak için gerekli olan son kuark olmasıydı. Bir parçacık fizikçisi için bu, atom altı dünyasının gizemlerini çözümlemek için yarım yüzyıl süren özenli çabanın en son ve en yüksek başarısıydı. Parçacık fiziğinde bir bölüm kapanmıştı. Fiziğin yeni bir bölümü doğmaya başlamıştı artık.

Fizikçiler, zor bulunan bu parçacığı 1977 yılından, "alt kuark'ın" Fermi Ulusal Laboratuarı'nda keşfedilmesinden beri aramaktaydılar. Bununla beraber, son on beş yıldır en ağır üst kuark'ın varlığını algılamak için yapılan arayışlar dahi sonuçsuz kamıştı. Fizikçiler sinirlenmeye başlamıştı artık. Eğer üst kuark mevcut değilse, temel fizik iskambil kâğıdından yapılmış bir kulübe gibi yıkılıverecekti. Üst kuark'ı bulmak için birbiri ardına yapılan deneylerin başarısızlığı, parçacık fiziği konusunda yapılan uluslararası konferanslarda neredeyse eğlence konusu olmuştu.

Nobel ödülü sahibi Steven Weinberg'in söylediği gibi, "Üst kuark'ın varlığı konusunda muazzam bir teorik beklenti mevcuttu. Eğer var olmasaydı, pek çoğumuz epeyce mahcup olacaktık."[1]

Fermi Laboratuarında bulunan Tevatron adındaki parçacık hızlandırıcı, üst kuark'a tuzak kurmak üzere geniş, dairesel bir borunun içinde birbirine zıt yönlerde hızla hareket eden yüksek enerjili iki atom altı ışın yarattı. İlk ışın, alışılagelmiş protonlardan oluşmaktaydı. Zıt yönde ve ilk ışının altında yol alan ikinci ışın ise antiprotonlardan (protonun negatif elektriksel yük taşıyan anti madde ikizi) meydana geliyordu. Tevatron, daha sonra bu iki hareketli ışını birbirine karıştırıyor, protonları neredeyse iki trilyon elektron volt düzeyine ulaşan bir enerjiyle antiproton-

lara çarptırıyordu. Bu ani çarpışmanın açığa çıkardığı muazzam enerji, bir atom altı enkazı sağanağına yol açıyordu.

Bir dizi karmaşık otomatik kamera ve bilgisayar kullanan fizikçiler, daha sonra bu enkazı bir trilyondan fazla fotoğraf üzerinden incelediler. Resimler, tek bir noktadan çıkan uzun, kıvrımlı liflerivle deneyimsiz bir göze örümcek ağı gibi görünüyordu. Bu lifler, eğitimli bir göz için ise çarpışmadan fırlayan atom altı parçacıkların izlerini temsil etmekteydi. Sonra, fizikçiler ekipler halinde veriler üzerinde çalışarak bir üst kuark çarpışmasının "parmak izine" sahip yalnızca on iki çarpışma kalıncaya kadar fotoğrafları süzgeçten geçirdiler.

Bunun ardından fizikçiler, üst kuark'ın 174 milyar elektron volt kadar bir kütleye sahip olduğunu tahmin ettiler. Bu da onu o zamana kadar keşfedilmiş en ağır temel parçacık yapıyordu. Aslında o kadar ağırdı ki, neredeyse bir altın atomunun (197 nötron ve protonu bulunur) kütlesine sahipti. Buna karşılık alt kuark, 5 milyar elektron voltluk bir kütleye sahipti.

Fermi Laboratuarı'ndaki fizikçiler, işin önemini ve varlığını doğrulamak için incelenmesi gereken dağlar gibi veriyi göz önüne alarak dikkatli davrandılar ve üst kuark için elde edilen kanıtların kesin bir sonuca ulaşmak için yetersiz olduğunu söylediler. Gerçekten de, üst kuark öylesine büyük ve fark edilmesi öylesine zordu ki, yakalamak için otuz altı kuruluştan dört yüz kırk bilim insanının kahramanca çabalarını birleştirmeleri gerekmişti. (Bu durum, bir kuark ampulünü takmak için kaç fizikçinin gerektiği yolunda şakalara yol açmıştı.) O zaman dahi, hata yapma olasılıklarının dört yüzde bir olduğunu söyleyerek kendilerini güvence altına almayı tercih etmişlerdi.

Grubun sözcülerinden biri olan William Carithers şöyle demişti: "Gözlemlediğimiz çok sayıda olayın göz ardı edilemeyecek kadar büyük, fakat Evreka çığlıkları atmak için çok küçük olduğu o ara bölgede bulunuyoruz."[2]

Nihayet, sekiz ay sonra, grup (ve aynı hızlandırıcıyı kullanmakta olan bir rakip grup), bütün kuşkuların giderildiğini hep birlikte açıkladı. Üst kuark çarpışmalarına ait otuz sekiz fotoğraf çekilmişti. Üst kuark, nihayet tuzağa düşmüştü.

Kuark Nesilleri

Üst kuark'ı bulmanın neden önemli olduğunu anlayabilmek için, kuarkların birkaç çift veya "nesil" halinde bulunduğunu öğrenmemiz gerekir. En alttaki çift, "yukarı" ve "aşağı" kuarklar olarak adlandırılır. Bu hafif kuarklardan üç tanesi birleştiği zaman, kendi vücutlarımızdaki atomları ve molekülleri de kapsayan, görülebilir evreni oluşturan tanıdık protonları ve nötronları karşımızda buluruz. (Üç kuark, protonları ve nötronları meydana getirir. Örneğin proton iki yukarı kuarktan ve bir aşağı kuarktan, nötron ise iki aşağı kuarktan ve bir yukarı kuarktan meydana gelir.) Yukarı ve aşağı kuarkların her biri de üç değişik "renkte" bulunduğu için, ilk nesil toplam olarak altı kuarktan oluşur. (Bu "renk", bildiğimiz renk kavramından tümüyle bağımsızdır.)

Biraz daha ağır olan bir sonraki kuarklar, "acayip" ve "tılsımlı" olarak adlandırılır. Bunlar bir araya geldikleri zaman, atomların parçalanması sonucunda ortaya çıkan enkazın içinde bulunan ağır parçacıkların çoğunu meydana getirirler. Hiç şaşırtıcı olmayan bir şekilde, bu kuarklar da üç renkte mevcuttur.

Maddenin (günümüzde dahi anlaşılamayan) en derin gizemlerinden birisi, birinci ve ikinci nesil kuarkların neden birbirlerinin tıpatıp kopyası olduğudur. İkinci neslin birinciden daha ağır olduğu gerçeği bir kenara bırakılacak olursa, birbirleriyle neredeyse aynı özelliklere sahiptirler. Doğanın temel düzeyde bakıldığı zaman evrenin inşası sırasında önemli ölçüde bir yararsız yedeklemeyi tercih etmesi, şaşırtıcı görünen bir durumdur.

Alt kuark'ın 1977 yılında keşfi, üçüncü bir yedek kuark neslinin ve ayrıca üçüncü çifti tamamlayacak kayıp bir üst kuark'ın mevcut olduğu anlamına gelmekteydi. Bu nedenle, Standart Modelin temeli, her biri kütlesi hariç bir önceki neslin aynısı olan üç kuark nesli üzerine kurulmuştu.

Günümüzde fizikçiler, kuarkların altı değişik "tat" (yukarı, aşağı, acayip, tılsımlı, alt ve üst) ve üç renkte mevcut olduğunu söylerler. Ortada toplam on sekiz kuark vardır. Fakat her kuark'ın bir de antimaddeden oluşan ikizi vardır. Antikuarkları da

eklediğimiz zaman, toplam sayı otuz altıya çıkar. (Bu sayı, pek çok fizikçinin elektron, proton ve nötronun evrendeki bütün maddeleri tarif etmek için yeterli olduğuna inandığı 1930'larda bulunan atom altı parçacıkların toplam sayısından çok daha fazladır.)

Standart Model

Hâlihazırda, standart modelden hiç bir deneysel sapma mevcut değildir. Dolayısıyla bu, belki de bilim tarihinin önerilmiş en başarılı kuramıdır. Bununla birlikte, fizikçilerin çoğu son derece çirkin ve asimetrik oluşu nedeniyle Standart Model'i hiç de çekici bulmaz. (Fizikte simetri, Bölüm 7'de daha ayrıntılı şekilde anlatılmaktadır.) Deneysel olarak çok başarılı olduğu için, fizikçilerin çoğu, Standart Model'in gerçek bir her şeyin kuramına giden bir ara adımdan ibaret olduğuna inanır. Standart Modelin böylesine çirkin olmasının nedeni, mevcut elektromanyetik kuvvet, zayıf kuvvet ve güçlü kuvvet kuramlarını kaba kuvvet kullanıp birbirine yapıştırarak tek bir kuram oluşturmasıdır. (Birbirine uymadığı açıkça belli olan üç yapboz parçasını zorla birbirine geçirmeye çalıştığınızı düşünün. Üç parçayı birbirine zorla yapıştırmak için, yapışkan bant kullanılabilir. Bu, Standart Model'dir.)

Kuramın ne kadar çirkin olduğunu ortaya koymak amacıyla, çeşitli parçaların birbirine nasıl uyduğunu özetleyelim.

İlk olarak, güçlü etkileşimler altı tat, üç renk ve madde/antimadde çiftleri halinde karşılaştığımız bu otuz altı kuark tarafından tarif edilmektedir. Onları bir arada tutarak proton ve nötronu meydana getirmelerini sağlayan "yapıştırıcı", (Yang-Mills alanı tarafından tanımlanan) gluon'lardır. Toplam sekiz gluon alanı mevcuttur. Hepsini bir araya toparladığımız zaman bu kuram, kuantum kromodinamiği veya "renk" etkileşimlerinin kuramı olarak adlandırılır.

Aynı nesil sorunu, zayıf etkileşimde de mevcuttur. İlk nesilde elektron ve onun nötrinosu bulunur. İkinci nesilde muon ve

onun nötrinosu bulunur. Üçüncü nesil ise, tau parçacığına ve onun nötrinosuna sahiptir. Bu parçacıklara hep birlikte "leptonlar" adı verilir ve bunlar, güçlü etkileşimlerde bulunan kuarklarla birlikte standart modelin tablosunu tamamlarlar. Bu leptonlar, (iri yarı Yang-Mills alanları olan) W ve Z parçacıklarını değiş tokuş ederek etkileşirler.

Sonra, Maxwell alanının aracılığıyla ortaya çıkan elektromanyetik etkileşimler vardır.

Son olarak "Higgs parçacığı" diye adlandırılan (Yang-Mills alanının simetrisini bozmamıza olanak sağlayan) bir şey vardır. Higgs parçacığı hariç, bu parçacıkların hepsi atom parçalayıcılarda keşfedilmişlerdir.

Günümüzde fizikçiler, atom altı parçacıkların birbirleri ile yaptıkları etkileşimleri üç trilyon elektron voltun ötesine kadar araştırmışlar ve deneysel olarak Standart Model'den hiç bir sapma ile karşılaşmamışlardır. Bununla beraber, inkâr edilemeyecek kadar başarılı olmasına karşın, kuram hiç de çekici değildir; onun nihai kuram olamayacağını biliyoruz, çünkü:

1. Kuarklardan, leptonlardan, gluonlardan ve W, Z bozonlardan meydana gelen garip bir içeriği vardır.
2. Hem kuark ve hem de lepton bölümlerinde birbirinden ayırt edilemeyen (kütleleri hariç) tam üç nesil mevcuttur.
3. Leptonların kütlesini, W ve Z parçacıklarının kütlesini güçlü ve zayıf etkileşimlerin göreli şiddetini v.b. kapsayan, keyfi olarak seçilmiş on dokuz parametresi vardır. (Standart Model, bu on dokuz parametrenin değerlerini belirlemez. Bunlar, modele herhangi bir gereklilik kontrolü yapılmadan, amaca göre dahil edilir ve bu parçacıkların özellikleri dikkatle ölçülmek suretiyle sabitlenir.

Einstein, temel ilke olarak kendine daima şu soruyu sorardı: Tanrı olsaydın, evreni nasıl kurardın? On dokuz ayarlanabilir parametre ve bir sürü gereksiz parçacık ile kurmayacağı muhakkak. İdeal olarak yalnızca bir (veya sıfır) ayarlanabilir parametre ve kendisinden doğada bulunan bütün parçacıklarla belki de

uzay ve zamanı da kurabileceğiniz tek bir nesne olmasını isterdiniz.

Benzerliği nedeniyle, geçen yüzyılın "temel parçacıkları" olan yüzden fazla elementi kapsayan bir topluluğu gösteren Mendelev tablosuna bakabiliriz. Maddenin yapı taşlarını tarif etmek konusunda Mendelev tablosunun nefes kesen bir başarıya sahip olduğunu hiç kimse yadsıyamaz. Fakat bu tablo, keyfi şekilde seçilmiş yüzlerce katsayısı ile öylesine gelişigüzeldi ki, hiç de çekici gelmiyordu. Bugün biliyoruz ki, bu tablonun tümü yalnızca üç parçacıkla, nötron, proton ve elektronla açıklanabilir. Aynı şekilde fizikçiler, garip görünüşlü ve gereksiz kuarkları ve leptonlarıyla Standart Modelin daha da basit yapılar kullanılarak kurulması gerektiğine inanmaktadırlar.

Atılabilecek bir ara adım da, çeşitli Yang–Mills alanlarını birleştirilmiş alanlardan meydana gelen tek bir takım içinde birleştirmek olurdu.

GUT'lar ve Renormalizasyon

Bu parçacıkları birbirinin içine karıştıracak en basit kuram, Harvard'dan Howard Georgi ve Sheldon Glashow tarafından 1974 yılında yazılmış ve SU(5) olarak adlandırılmıştı. Bu "büyük birleştirici kuram"da (Grand Unified Theory–GUT) elektron, nötrino ve kuarklar arasındaki bağlantıyı SU(5) simetrisi sağlamaktaydı. Buna paralel olarak foton, zayıf etkileşimlerin W parçacığı ve güçlü etkileşimlerin gluonları, başka bir kuvvetler ailesi oluşturmak üzere artık bir araya toparlanıyordu.

Güçlü etkileşimlerin elektro-zayıf kuvvetle birleştiği enerji düzeyinin hâlihazırda kullanmakta olduğumuz parçacık hızlandırıcılarının çalışma sınırları dışında olması nedeniyle GUT kuramının test edilmesi zor olmakla beraber, GUT kuramının günümüz teknolojisi ile test edilme olasılığına sahip dikkate değer bir öngörüsü bulunmaktadır.

Bu kuram, kuark'ın başka bir parçacık çıkartarak bir elektrona dönüşebileceğini öngörmektedir. Elbette bu, protonun (ki üç

kuark'tan yapılmıştır) eninde sonunda bozunarak elektrona dönüşeceği ve protonun sınırlı bir ömrü olduğu anlamına gelir. GUT kuramının dikkat çekici olan bu öngörüsü -protonun eninde sonunda bozunarak elektrona dönüşeceği- dünyanın her yanında bu kuramı test etmek için çalışan yeni bir fizikçiler neslinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. (Birkaç grup deneysel fizikçinin Dünya'nın derinliklerine gömülü algılayıcılar vasıtası ile proton bozunmasına ilişkin kanıtlar arıyor olmasına karşın, şimdiye kadar hiç kimse proton bozunmasını kesin şekilde tanımlayabilmiş değildir.)

Geri dönüp baktığımız zaman, her ne kadar GUT kuramı elektro-zayıf kuvveti güçlü kuvvetle birleştirmek konusunda dikkate değer bir gelişme anlamına gelse de, önemli deneysel problemlere sahip olduğunu görüyoruz. Örneğin, proton bozunması deneyleri dışında kalan GUT öngörülerinin doğrudan test edilmesi olanaksız olmasa dahi son derece zordur.

Daha da önemlisi, GUT kuramı kuramsal olarak eksiktir. Örneğin, neden birbirinin kopyası olan üç parçacık ailesi (elektron, muon ve tau aileleri) mevcut olduğunu açıklamaz. Ayrıca, kuramın her yanı çok sayıda rastgele katsayı (kuarkların kütleleri, leptonların kütleleri ve Higgs parçacıklarının sayısı gibi) ile doludur. GUT kuramı, bu kadar çok sayıda belirsiz parametre ile bir süre sonra bir Rube Goldberg makinesini* andırmaya başlamaktadır. Bu kadar çok sayıda açıkta kalmış parametreye sahip bir kuramın temel nitelik taşıyacağına inanmak, bir fizikçi için kolay değildir.[3]

Bununla beraber, GUT kuramının taşıdığı sorunlara karşın fizikçiler yıldırımın beş kere düşeceğine ilişkin ümitlerini korumaktaydılar. Basit (Yang-Mills gibi) bir ayar kuramı, bir kütleçekimi kuramı yaratılmasını sağlayabilir miydi?

Cevap, kulaklarda yankılanan bir hayır idi. Bütün başarılarına karşın ayar kuramı, kütleçekimi ile başa çıkmaya kalkıştığı zaman bir duvara çarptı. Yang-Mills biçimselciliği, kütleçekimi-

* Basit bir şeyi karmaşık şekilde yapan düzeneklerin ortak adı. Rube Goldberg'in çizmiş olduğu karikatürlerdeki düzeneklere bu isim verilmiştir. (Ç.N.)

nin üstesinden gelmek için hâlâ çok kaba-sabaydı. Bu, belki de GUT kuramu için en temel itiraz nedenidir; kuram, bütün başarısına karşın kütleçekimsel etkileşimleri kapsama yeteneği taşımamaktadır.

Yang-Mills kurammdan dahi daha büyük simetrilere dayalı yeni bir fikrin ortaya çıkışına kadar bu alanda hiç bir ilerleme sağlanmayacaktı. Bu kuram, süper sicim kuramıydı.

Bölüm II

Süper Simetri
ve
Süper Sicimler

6
Süper Sicim Kuramının Doğuşu

SÜPER SİCİM KURAMI, bilim tarihi içerisinde belki de en garip hikayeye sahiptir. Başka hiç bir yerde yanlış soruna çözüm olarak önerilen, on yılı aşkın bir süre terkedilmiş bir durumda bırakılan, sonra da evrenin kuramı olarak yaşama döndürülen bir kuram bulamayız.

Süper sicim kuramı, 1960'lı yıllarda, Yang-Mills kuramının ve ayar simetrilerinin gelişmesinden önce, renormalizasyon kuramının sonsuzlarla lanetlenmiş bir kural olarak hâlâ bocaladığı sıralarda başladı.

Uyduruk ve yapay görünen renormalizasyon kuramına karşı bir tepki gelişmişti. Temel parçacıklar, Feynman diyagramları ve renormalizasyon kuramına bağımlı olmayan yeni bir kuram öneren, Berkeley'deki California Üniversitesi'nden Geoffrey Chew, bu düşünceye karşı çıkan ekolün başında yer almaktaydı.

Bazı temel parçacıkların diğerleriyle nasıl etkileşim kurduğunu Feynman diyagramlarıyla ayrıntılı şekilde tarif eden bir dizi dolambaçlı kural öne sürmek yerine, Chew'in kuramı yalnızca

(parçacıkların çarpışmasını matematiksel olarak tarif eden) S matrisinin kendi içinde tutarlı olmasına gerek görmekteydi. Chew'in kuramı S matrisinin çok sıkı bir matematiksel özellik takımına uyduğunu varsayıyor, sonra da bu özelliklerin öylesine sıkı olduğunu ki, yalnızca tek bir çözümün olası olduğunu varsayıyordu. Bu yaklaşım, genellikle "bootstrap" (çizme atkısı) yaklaşımı olarak adlandırılırdı, çünkü kişi tam anlamıyla çizmelerinin atkılarından tutarak kendi kendisini ayağa kaldırırdı (kişi, önce bir varsayım takımı ile başlar, sonra yalnızca kendi içinde tutarlılıktan yararlanarak kuramı teorik olarak türetir).

Chew'in yaklaşımı Feynman diyagramlarındaki temel parçacıklara değil de tümüyle S matrisine dayalı olduğu için, kurama "S matrisi kuramı" adı verilmiştir (bütün fizikçilerin kullandığı, S matrisinin kendisiyle sakın karıştırılmasın).

Bu iki kuram, yani kuantum alan kuramı ile S matrisi kuramı, bir "temel parçacığın" anlamı hakkındaki farklı varsayımlar üzerine kurulmuşlardır. Kuantum alan kuramının maddelerin tümünün küçük bir temel parçacık takımından yola çıkarak inşa edilebileceği varsayımı üzerine kurulmuş olmasına karşın, S matrisi kuramı hiç biri temel olmayan sonsuz sayıdaki parçacık üstüne kurulmuştur.

Durup düşündüğümüz zaman, süper sicim kuramının aslında pek çok yönden birbirinin karşıtı olan S matrisi kuramı ile kuantum alan kuramının en iyi yönlerini bünyesinde birleştirmiş olduğunu görmekteyiz.

Süper sicim kuramı kuantum alan kuramına benzer, çünkü maddenin temel birimleri üzerine kuruludur. Bununla beraber süper sicim kuramı nokta parçacıklara değil, Feynman benzeri diyagramlar aracılığıyla parçalanıp yeniden şekillenerek etkileşen sicimlere dayanmaktadır. Fakat renormalizasyonun gerekli olmaması, süper sicimlere kuantum alan kuramına kıyasla belirgin bir avantaj kazandırmaktadır. Her düzeydeki döngü diyagramları muhtemelen kendi başlarına sonlu bir özelliğe sahiptirler ve sonsuzları ortadan kaldırmak için hiç bir yapay el çabukluğuna gereksinimleri yoktur.

Benzer şekilde, süper sicim kuramı içinde sonsuz sayıda "temel parçacık" barındırabildiği için S matrisi kuramına benzer. Bu kurama göre, doğada bulunan sonsuz çeşitlilikteki parçacıklar, yalnızca aynı sicimin farklı rezonanslarından ibarettir ve hiç bir parçacık, diğerinden daha temel değildir. Bununla beraber, süper sicim kuramı vasıtasıyla hesap yaparak sonunda S matrisinin sayılarını elde etme olasılığının bulunması, süper sicim kuramının S matrisi kuramına kıyasla sahip olduğu büyük bir avantajdır. (Buna karşın S matrisi kuramında hesap yapmak ve işe yarar sayılar elde etmek, olağanüstü düzeyde zordur.)

Bu durumda süper sicim kuramı hem S matrisi kuramının ve hem de kuantum alan kuramının en iyi taraflarını bünyesinde toplar, çünkü şaşırtıcı derecede farklı bir fiziksel resme dayanmaktadır.

Yıllar boyu sabırla süren geliştirme çalışmalarının ürünü olan S matrisi kuramının veya kuantum alan kuramının aksine, süper sicim kuramı fizik toplumunun önüne 1968 yılında birdenbire çıkıvermiştir. Aslına bakılacak olursa, süper sicim fikrinin keşfi, mantıklı bir fikirler silsilesinin değil, tam anlamıyla bir kazanın sonucunda gerçekleşmiştir.

Yanıtı Tahmin Etmek

S matrisi kuramının hâlâ çok moda olduğu 1968 yılında her biri Cenevre'nin dışındaki nükleer araştırma merkezi CERN'de bağımsız olarak çalışan iki genç fizikçi, Gabriele Veneziano ve Mahiko Suzuki, kendilerine basit bir soru sordular: Madem S matrisi bu kadar çok sayıda kısıtlayıcı özelliğe uymak zorunda, yanıtı neden tahmin etmeye çalışmayalım? Matematikçiler tarafından on sekizinci yüzyıldan beri kataloglanmış matematiksel fonksiyonlara ait kalabalık listeleri gözden geçirirlerken, ilk kez İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından 1800'lerde yazılmış olan güzel bir matematiksel formüle, Beta fonksiyonuna rastladılar. Beta fonksiyonunun özelliklerini inceledikleri za-

man, Chew'in S matrisi varsayımlarının hepsini otomatik olarak karşıladığını görerek çok şaşırdılar.[1]

Bu, çılgınca bir şeydi. Güçlü etkileşim fiziğinin çözümü, yüz yıldan fazla bir zaman önce bir matematikçi tarafından yazılmış olan bir formülden mi geçiyordu? Hepsi bu kadar mı basitti?

Bir matematik kitabının sayfaları arasında rastgele gezinmek suretiyle yapılan önemli bir bilimsel keşif, bilim tarihi boyunca hiç görülmemişti (belki de rastgele bir keşifte bulunma olasılıklarının ne kadar düşük olduğunu takdir edemeyecek kadar genç olmaları, Veneziano ve Suzuki'nin Beta fonksiyonunu bulmalarına yardımcı olmuştur. Daha yaşlı, daha ön yargılı bir fizikçi, yanıtı eski bir matematik kitabında bulma fikrini en baştan bir yana atabilirdi.)

Euler'in formülü, bir anda fizik dünyasının olayı oluverdi - S matrisi kuramı, kuantum alan kuramına galip gelmişti. Atom parçalayıcılardan oluk oluk akan verileri yerine oturtmak üzere Beta fonksiyonunu kullanmaya çalışan yüzlerce makale yazıldı. Makalelerin çoğu, özellikle Beta fonksiyonunun itaat etmediği son Chew varsayımını çözümlemek amacıyla yazılmıştı: Üniterlik veya olasılığın korunması.

Verilere daha da iyi şekilde uyacak daha da karmaşık kuramlar önermek için girişimler, büyük bir hızla başladı. Çok geçmeden, o sıralarda her ikisi de Princeton Üniversitesi'nde çalışmakta olan John Schwarz ve Fransız fizikçi Andre Neveu ile Chicago yakınlarındaki Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarında çalışmakta olan Pierre Ramond, "burgulu" parçacıkları kapsayacak bir kuram önerdiler (bu kuram, giderek süper sicim kuramı haline geldi.)

Beta fonksiyonu ne kadar dikkat çekici olursa olsun, o rahatsız edici soru hâlâ gündemdeydi: Bu formülün harika nitelikteki özellikleri tamamen rastlantı mıydı, yoksa altında yatan daha derin, daha fiziksel bir yapı mı vardı? Yanıt, 1970 yılında, Chicago Üniversitesi'nden Yoichiro Nambu bu harika beta fonksiyonunun birbiriyle etkileşen sicimlerin özelliklerinden ileri geldiğini gösterdiği zaman verilmiş oldu. Bu yeni yaklaşım Neve-

ou-Schwarz-Ramond kuramına uygulanınca, günümüzdeki süper sicim kuramı haline geldi.

Nambu Tarzı

Gösterişli sosyal formaliteler, küçümsemeye bayılan Einstein veya muziplik etmeyi seven Feynman veya fiziğin *yaramaz çocuğu* olan Gell-Mann'ın aksine Nambu, sakin, kibar fakat insanı daima etkileyen tarzı ile tanınmıştır. Geleneksel Japonların mesafeli, bazılarının çoğunlukla atılgan yapılı batılı meslektaşlarından daha saygılı diye nitelediği karaktere sahiptir. Belirli fiziksel fikirleri ortaya atmanın getirdiği itibarın kıskanç bir şekilde korunduğu fikir pazarının itiş kakışı içerisinde Nambu'nun insanı ferahlatan, yaptığı çalışmaların değerinin kendiliğinden anlaşılmasını tercih eden bir tarzı bulunmaktadır.

Bununla birlikte bu tarz, fizikteki en temel keşiflerin bazılarına katkıda bulunmuş olmasına karşın, kendisi için herhangi bir öncelik talep etmekte ısrarcı olmadığı anlamına gelmektedir. Fizikte isimler, tarihsel açıdan doğru olmasa dahi genellikle ortak mutabakat sonucunda keşiflerle ilişkilendirilir. Örneğin, iki elektronlu sistemlerin davranışlarını tanımlayan çok tanınmış Bethe-Saltpeter denklemi, ilk olarak Nambu tarafından yayımlanmıştır. Aynı şekilde, "kendiliğinden simetri kırılması" konusundaki ilk görüşlerin Nambu tarafından yayımlanmış olmasına karşın, bu kuram yıllar boyunca "Goldstone" kuramı olarak tanınmıştır. Nambu-Goldstone kuramı olarak anılmaya başlaması, ancak yakın zamanlarda başlamıştır. Bununla beraber, sicim kuramının temel denklemlerinin Nambu tarafından yazıldığı, son derece açıktır.[2]

Son derece dikkate değer olan başarılarından bazılarının derhal takdir edilmemiş olmasının nedenlerinden birisi, onun genellikle zamanının çok ilerisinde olmasıdır. Northwestern Üniversitesi'nden meslektaşı Dr. Laurie Brown tarafından işaret edildiği gibi Nambu, "Getirdiği yenililer, başkalarının farkına dahi varmasından yıllar, hatta on yıllar önce buluşlar için gerek-

li zemini hazırlayan bir öncüdür."[3] Fizikçiler arasında söylendiği gibi, eğer fiziğin gelecek on yılda nerede olacağını öğrenmek isterseniz, Nambu'nun çalışmalarını okumanız gerekir.

Nambu, 1985 yılında katıldığı bir sohbette, geçmişin devrim yaratan keşiflerini yapan büyük fizikçileri tarafından kullanılan düşünce tarzlarını özetlemeye çalıştı. Nambu, bunları "Yukawa tarzı" ve "Dirac tarzı" düşünceler olarak adlandırıyordu. Yukawa tarzı, deneysel verilere derin kökler salmıştır. Yukawa, nükleer gücün mezon tarafından taşındığına ilişkin, yeni ufuklar açılmasını sağlayan görüşünü, elinde mevcut olan verileri yakından incelemek suretiyle geliştirmişti. Buna karşın Dirac tarzı ise, matematiksel mantıkta Dirac'ın antimadde kuramı veya monopol kuramı (mıknatıslanmanın tek bir kutbunu temsil eden bir parçacık) gibi şaşırtıcı keşiflere yol açan delişmen, spekülatif sıçramadır. Einstein'ın genel görelilik kuramı, Dirac tarzı ile uyumludur.

Bununla beraber, 1985 yılında, Nambu'nun altmış beşinci yaş gününü kutlamak için yapılan ve onun sayısız başarısının özetlendiği bir toplantıda, çalışma arkadaşları bambaşka bir düşünce tarzına onun adını verdiler: "Nambu tarzı". Bu tarz, diğer iki tarzın olumlu yönlerini birleştirir ve yaratıcı, zekice ve hatta çılgınca matematiksel önerilerde bulunarak deneysel verileri dikkatle yorumlamaya çalışır. Süper sicim kuramı, kaynağının büyük kısmını Nambu tarzı düşünceye borçludur.

Belki de Nambu'nun tarzına ait izleri dedesi ve babası tarafından temsil edilen Doğu ve Batı etkilerinin çarpışmasında izlemek mümkündür. Tokyo'yu yerle bir eden feci 1923 depreminin ardından Nambu'nun ailesi, Budizm'in Shinshu mezhebinin merkezi olarak ün salmış olan küçük Fukui kasabasına yerleşmişti. Dedesi, kişilerin atalarını onurlandırmak için kullandığı ev tipi tapınaklar satarak evini geçindiriyordu. Nambu'nun babası, kendi babasının yolunu itaatkâr bir şekilde izlemek yerine, baş kaldırmış ve birkaç kez evden kaçmıştı. Nambu'nun bir entelektüel olan babası, Batı kültürüne hayranlık duymaktaydı ve sonunda William Blake konulu bir tez yazarak İngiliz dili ve edebiyatı dalından mezun olmuştu.

Nambu, gelenekçi dedesinin hâkimiyeti altında bulunan, fakat arada sırada Batılı garip entelektüel rüzgârların menevişlendirdiği bu ev ortamında büyüdü. Bununla beraber, 1930'lu yıllarda Japonya'da militarizm yükselmeye başladığı zaman, bütün aile bundan zarar gördü. Nambu'nun babası,

> o günlerde insanın kendine saklamasının politik açıdan akıllıca olduğu liberal ve enternasyonalist görüşlere sahipti. Birkaç tane ucuz (yen kitabı adı verilmişti) kitap dizisine abone oldu, bunları Yoichiro da okuyordu. Bunlar arasında yabancı romanlar, modern Japon edebiyatı ve Marksist klasikler de vardı. Bu sonuncular, 1930'lu yıllarda dahi gelmeye devam etti, fakat artık ağır bir sansüre uğruyorlardı. Sonunda bu tür kitaplara sahip olmak tehlikeli bir hal almaya başladı, fakat Nambu'nun babası, bazılarını saklamıştı.[4]

Nambu, çocukluğunda bilime ilgi duydu ve Feynman ve diğer pek çokları gibi, küçük radyo alıcıları ile oynadı. Tokyo Üniversitesindeki öğrenciliği sırasında, Batı'da Heisenberg ve başkaları tarafından geliştirilmekte olan yeni kuantum mekaniğine dair hikâyeler onu büyülemişti. Bununla beraber, ülkeyi avucunun içine almakta olan militarist atmosferden nefret ediyordu.

Japon halkı, feci 1945 yenilgisinin ardından ülkelerini zorluklar içerisinde yeniden inşa etmeye başladı. Nambu, savaş nedeniyle Batı'daki meslektaşlarının çalışmalarından kopmuş bulunan Shinichiro Tomonaga gibi Japon fizikçilerin uluslararası ilişkilerini yavaş yavaş yeniden kurmaya başladığı Tokyo Üniversitesinde kendisine bir iş bulmuştu.

Princeton'dan fizikçi Freeman Dyson, Tomonaga'dan bir mektup alınca, Batılı fizikçilerin Japonya'daki ilerlemelere ilişkin haberler aldıkları zaman duyduğu tatlı şaşkınlığı duymuştu. Yazdığına göre Tomonaga,

> Julian Schwinger'in kuramının ana fikrini hiç bir matematiksel ayrıntıya girmeksizin, sade ve açık seçik bir şekilde

> düzenlemişti. Bunun sonuçları şaşırtıcıydı. Tomonaga, şu ya da bu şekilde, savaşın yıkım ve kargaşasının arasında, dünyanın geri kalanından tam olarak yalıtılmış bir durumda, Japonya'da teorik fizik alanında bazı açılardan o sırada başka herhangi bir yerde olmadığı kadar ileri düzeydeki bir araştırma okulunu sürdürmeyi başarmıştı. Tek başına çalışıp çabalamış ve yeni kuantum elektrodinamiğinin temellerini Schwinger'den beş sene önce atmıştı...[5]

Nambu'nun çalışmaları, Princeton'daki Gelişmiş Araştırmalar Enstitüsünün direktörü olan J. Robert Oppenheimer'in dikkatini nihayet çekti ve onu iki yıl için enstitüye davet etti. Nambu, Japonya'dan 1952 yılında ayrıldı ve "normal" bir toplum içine girince şok geçirdi. (Yoğun yangın bombası saldırıları nedeniyle Tokyo, Hiroshima'dan daha fazla zarar görmüştü.) 1954 yılında Chicago Üniversitesini ziyaret etti ve 1958 yılından beri orada profesörlük yapmaktadır.

Nambu'nun yumuşak, içe dönük tarzı ile Feynman'ın lafını sakınmayan yapısı arasındaki keskin kontrast 1957 yılında, Rochester, New York'ta yapılan Rochester Konferansı'nda, Nambu yeni bir parçacık veya rezonansın (izoskalar mezon) varlığını öne sürdüğü bir makaleyi sunduğu sırada grafik olarak sergilendi. Nambu konuşmasını yaparken, Feynman "hadi oradan!" diye bağırarak tepki göstermişti. (Bununla beraber, birkaç yıl sonra bu parçacığın atom parçalayıcılarda keşfedilmesi ve "omega mezonu" diye adlandırılmasıyla bu konu da halloldu.)

Nambu'nun Sicimi

Nambu, sicim fikrini memleketin dört bir yanındaki laboratuarlarda keşfedilmekte olan yüzlerce hadronun yol açtığı karmaşadan bir anlam çıkartabilmek amacıyla önermişti. Bu hadronların kelimenin hiç bir anlamıyla "temel" olarak kabul edilemeyeceği açıkça belliydi. Nambu, güçlü etkileşim fiziğindeki düzensizliğin, alttaki yapının bir yansıması olabileceğini düşünüyordu.

Yıllar önce meslektaşı Yukawa ve Heisenberg gibi diğerleri tarafından yapılmış olan bir öneri, temel parçacıkların birer nokta değil, çarpma (kalp gibi) ve titreme hareketi yapabilen "damlalar" olduğunu varsaymaktaydı. Yıllardır damlalar, membranlar ve diğer geometrik şekillere sahip nesnelere dayalı bir kuantum alan kuramı oluşturmak için yapılan bütün girişimler başarısız olmuştu. Bu kuramlar, eninde sonunda görelilik gibi bir fiziksel ilkeye karşı geliyorlardı (çünkü bir damla bir noktasından sallanırsa, bu titreşim damla boyunca ışıktan hızlı şekilde hareket edebilirdi). Bunlar ancak belli belirsiz şekilde tanımlanmışlardı ve herhangi bir hesaplamada kullanılmaları olağanüstü zordu.

Nambu'nun yeni ufuklar açan fikri, hadronun titreşen bir sicimden meydana geldiğini ve her titreşim şeklinin ayrı bir parçacığın karşılığı olduğunu kabul etmek şeklindeydi. (Süper sicim kuramı göreliliğe karşı gelmezdi, çünkü sicim üzerindeki titreşimler yalnızca ışık hızına eşit veya ondan daha düşük bir hızda hareket edebilirlerdi.)

Daha önce verdiğimiz keman teli örneğini hatırlayın. Diyelim ki, elinize ahenkli sesler yaratan esrarengiz bir kutu geçmiş olsun. Eğer müzik konusunda hiç bir şey bilmiyorsak, yapacağımız ilk iş, sesleri sınıflandırmak ve onlara do, re, mi gibi isimler vermek olurdu. Uygulayacağımız ikinci strateji ise, notalar arasındaki ilişkileri keşfetmek, örneğin notaların sekizli gruplar (oktavlar) halinde ortaya çıktığını gözlemlemek olurdu. Bu durumda, armoni kurallarını keşfetme olanağına sahip olurduk. Son olarak da, buradan yola çıkarak, titreşen bir keman teli gibi tek bir ilkeden hareketle armonileri ve müzikte gamları açıklayacak bir "model" öne sürmeye çalışırdık. Nambu, buna benzer şekilde, Veneziano ve Suzuki tarafından bulunan beta fonksiyonunun titreşen sicimlerle açıklanabileceğine inanmaktaydı.

Geride kalan sorunlardan birisi, sicimler çarpıştığı zaman ne olduğunun açıklanmasıydı. Sicimin her kipi bir parçacığı temsil ettiği için, sicimlerin nasıl çarpıştıklarının anlaşılması, bize olağan parçacık etkileşimlerinin S matrisini hesaplama olanağı sağlar. O sırada Wisconsin Üniversitesinde çalışmakta olan üç fizik-

çi, Bunji Sakita, Keiji Kikkawa ve Miguel Virasoro, Chew'in S matrisinde kalan son varsayımın (üniterlik) tıpkı renormalizasyon kuramının bu varsayımı çözdüğü gibi çözülebileceğini tahmin etti; döngüler ekleyerek. Başka bir deyişle bu fizikçiler, bu sicimler için Feynman diyagramlarını tekrar gündeme getirmeyi önerdiler (S matrisi kuramcılarının büyük bölümü bu noktada korktu. Bu aykırı fikir, onların yasaklayıp S matrisi kuramından uzaklaştırdığı döngülerin ve renormalizasyon kuramının yeniden ortaya çıkması demek olacaktı. Bu, S matrisi taraftarları arasındaki özleştirmeciler için çok fazlaydı).

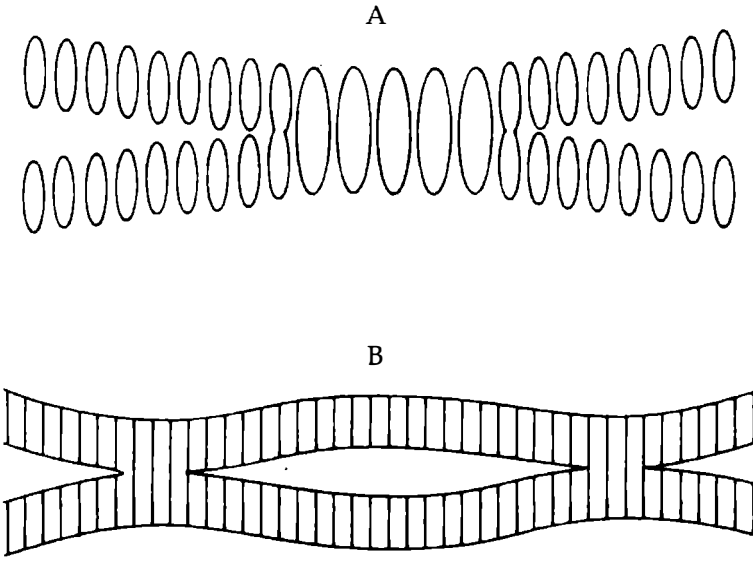
Onların önerisi, sonunda Berkeley'deki California Üniversitesi'nde lisansüstü öğrencilikleri sırasında bizlerden biri (Michio), onun bir çalışma arkadaşı, LohPing Yu ve o sırada CERN'de bulunan Claude Lovelace ile Arjantinli bir fizikçi olan V. Alessandrini tarafından tamamlandı.

Origami Eğlencesi

Sicimler, iki türdedir: Açık (uçları olan) sicimler ve kapalı (dairesel olan) sicimler. Sicimlerin ne şekilde etkileşime girdiğini anlamak için, nokta parçacıkları için çizilen Feynman diyagramlarını temsil eden Tinker oyuncaklarını gözünüzün önüne getirin. Bir parçacık hareket ettiği zaman, bir Tinker Toy çubuğu tarafından temsil edilen bir çizgi çizer. Parçacıklar çarpıştığı zaman Y şeklinde çizgiler çizerler ve çarpışma, bir Tinker Toy bağlantı parçası tarafından temsil edilir.

Aynı şekilde, açık sicimler hareket ettiği zaman, geçtikleri yolu uzun kağıt şekiller şeklinde düşünmek mümkündür. Kapalı (dairesel) sicimler hareket ettikleri zaman gidiş yolları çizgi şeklinde değil, kağıt borular gibi düşünülebilir. Bu nedenle, Tinker oyuncaklarını origami ile değiştirmemiz gerekir.

Bu kâğıt şeritler çarpıştığı zaman, düzgün bir şekilde birleşerek başka bir kâğıt şerit meydana getirirler. Elimizde yine Y şeklinde bir bağlantı parçası vardır, fakat Y'yi meydana getirenler çubuklar değil, şeritlerdir.



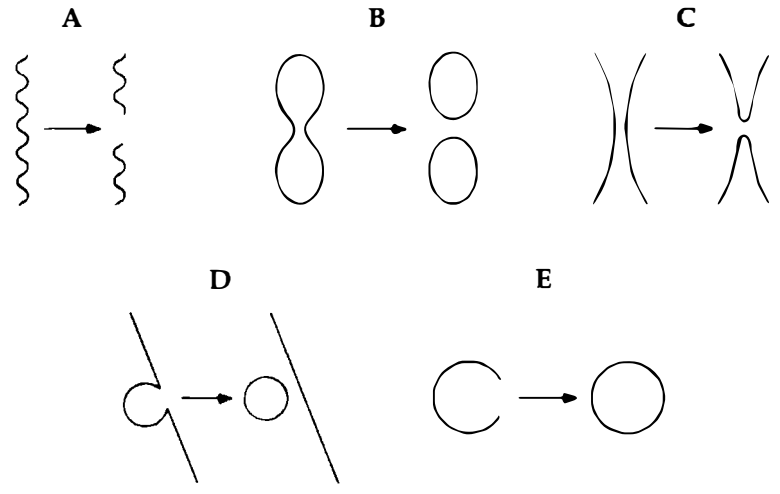
Şekil A, iki kapalı sicim soldan girerler, ortada çarpışır ve tek bir sicim oluştururlar, bu da ikiye ayrılır ve iki sicim oluşturur. Şekil B, iki açık sicim soldan girer, birleşir, ayrılır, birleşir ve tekrar iki sicime ayrılarak sağdan çıkar.

Demek ki fizikçilerin karatahta üzerinde çizgilerle vakit geçirmek yerine, birbiriyle çarpışan kâğıttan şeritleri ve boruları gözlerinde canlandırmaları gerekmektedir. (Michio, iki sicimin nasıl çarpışacağını, yeni bir şekil alacağını ve yeni sicimler meydana getireceğini açıklamak üzere makas, bant ve kâğıt kullanan danışmanı, Berkeley'den Stanley Mandelstam ile yaptığı bir sohbeti hatırlıyor. Kâğıtlarla yapılan bu imalat, gelişerek sonunda süper sicimler için önemli bir Feynman diyagramı haline dönüşmüştü.)

İki sicim çarpışarak bir S matrisi ürettiği zaman, bir sonraki sayfada gösterilen Feynman diyagramlarını kullanırız.

Bu etkileşimlere ait alan kuramı, 1974 yılında Michio ve Keiji Kikkawa tarafından tamamlanmıştı. İkisi birden, süper sicim kuramının tümüyle nokta parçacıklara değil, sicimlere dayalı bir

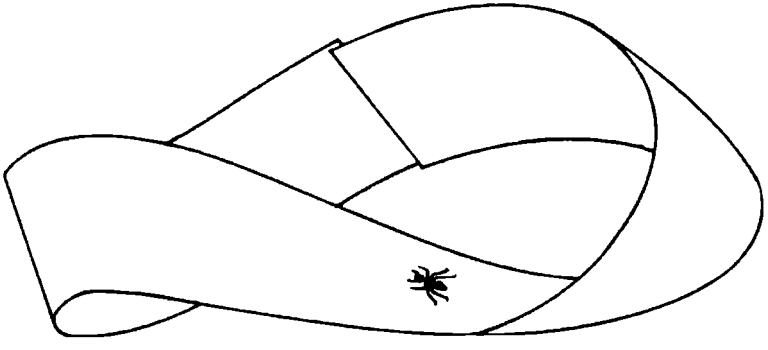
kuantum alan kuramı olarak özetlenebileceğini gösterdiler. Sicim kuramını anlatmak için yalnızca beş tür etkileşime gerek vardı:



Burada beş tür sicim etkileşimi gösterilmektedir. Şekil A'da bir sicim bölünerek daha küçük iki sicim üretir; Şekil B'de kapalı bir sicim ortadan bölünerek daha küçük iki sicim üretir; Şekil C'de iki sicim çarpışır ve iki yeni sicim oluşur, Şekil D'de bir açık sicim, bir açık ve bir kapalı sicim üretir, Şekil E'de açık bir sicimin iki ucu birbirine değer ve kapalı bir sicim oluşturur.

Kuramın test edilmesi, bu Feynman diyagramlarını "döngüler" olarak genelleştirdiğimiz zaman gerçekleşir. Daha önce olduğu gibi, Feynman diyagramlarındaki bütün ıraksaklıklar (eğer varsa), sicimin döngüler oluşturması sırasında ortaya çıkar. Alışılagelmiş renormalizasyon kuramında bu ıraksaklıkları birbiri ile karıştırarak ve başka numaralardan yararlanarak ortadan kaldırmamıza izin verilmektedir. Buna karşın, herhangi bir kütleçekimi kuramında bu karıştırma işlemi olanaksızdır ve dizideki her ifadenin sonlu olması gerekir. Bu durum, kuram açısından muazzam kısıtlamalar getirmektedir. Tek bir sonsuz

Feynman diyagramı, bütün programın bozulmasına neden olabilir. Bunun sonucunda fizikçiler, bu sonsuzlardan kurtulma olanağı bulmaktan onlarca yıl boyunca ümitlerini kesmişlerdir.

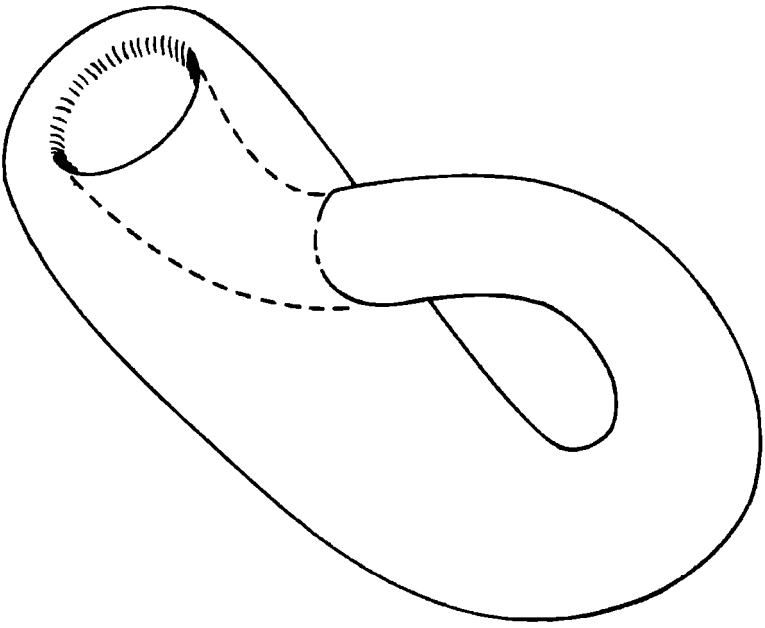


Möbius şeridi, çarpışan açık şeritler için çizilmiş tek döngülü bir Feynman diyagramının geometrisini temsil eder.

Şaşırtıcı görünebilir, fakat etkileşim kuran sicimler için hazırlanan Feynman diyagramlarının sonlu olduğu bilinmektedir. Sonsuz olma potansiyeli taşıyan ifadelerin hepsini ortadan kaldırıyormuş gibi görünen harika bir yok etme dizisi ortaya çıkar ve sonlu bir sonuç elde edilir.

Süper sicim kuramında ıraksaklık olmadığının kanıtlanması, en garip geometrik yapılardan bazılarının kurulmasını gerektirir. Örneğin, tek döngülü basit bir diyagramda Feynman diyagramının içini daire şeklindeki bir şerit veya boru temsil eder.

Bununla beraber, kuram bir bütün olarak kâğıt şeridin veya borunun dönük olmasını gerektirmektedir. Daire şeklindeki bir kâğıt şeride bir dönüklük verecek olursak, Möbius şeridi olarak adlandırılan (ve yalnızca tek tarafı olan) bir geometrik nesne elde ederiz. Herkes, bir kâğıt şeridin iki tarafı olduğunu bilir. Buna karşın, eğer bir tarafı döndürüp iki ucu birbirine yapıştırırsak, tek taraflı bir şerit elde ederiz. Bu şeridin iç yüzeyi boyunca yürüyen bir karınca, çok geçmeden kendini dış yüzey boyunca



Klein şişesi, çarpışan kapalı sicimler için tek döngülü bir Feynman diyagramının geometrisini temsil eder.

ilerlerken bulacaktır. Benzer şekilde, dairesel bir boruyu kıvırırken sadece tek tarafı olan iki boyutlu bir yüzey, Klein şişesi adı verilen, daha da acayip bir nesne elde ederiz. İçi boş bir borunun iki – bir iç, bir de dış – yüzeyi olduğunu herkes bilir. Buna karşın, eğer borunun bir ucunu 180 derece çevirir ve sonra da bu iki ucu birbiri ile birleştirerek borunun şeklini bozarsak, bir Klein şişesi yaparız.

Tarihsel olarak, Möbius şeridi ve Klein şişesi pratikte hiç bir uygulaması olmayan, ilgi çekici olmaktan ileri gitmeyen şeylerdi. Bununla beraber, her ikisi de bir sicim fizikçisine döngü içeren Feynman diyagramının bir parçası olarak görünür ve ıraksaklıkların birbirini yok etmesi için çok önemlidir.

Süper Sicim Kuramının Ölümü

Süper sicim kuramı her ne kadar güçlü etkileşim verilerinin bir kısmına uyuyormuş gibi görünen güzel bir matematiksel soyutlama olsa da, bu modelde işi engelleyecek nitelikte bazı zorluklar bulunuyordu.

Birinci olarak, kuram çok fazla sayıda parçacık öngörmekteydi. Kuramın "gravitonlar" (kütleçekimsel kuvvetten meydana gelen kuantum paketleri) gibi davranan parçacıkları ve fotonlar (ışık paketleri) gibi davranan parçacıkları vardı. Aslında kapalı sicimin en alt titreşimi gravitona, açık sicimin en alt titreşimi de fotona karşılık gelmekteydi

Bu, kütleçekimini veya manyetizmayı değil de güçlü etkileşimleri tanımlaması beklenen bir kural için çok talihsiz bir durumdu. Güçlü etkileşimlerle ilgili olan bir kuramda graviton ve fotonun ne işi vardı? (Bunun kılık değiştirmiş bir kutsanma olduğu, o sıralarda anlaşılamamıştı. Sicim modelinde meydana gelen kütle çekimi ve güçlü etkileşimler, tam da bir birleşik alan kuramı oluşturmak için gerekli olan bileşenlerdir.)

İkinci olarak kuram, ışıktan daha yüksek hızla hareket eden parçacıklar olan "takiyonların" varlığını öngörüyormuş gibi görünmekteydi. Bu parçacıklar hoşa gitmiyordu, çünkü onların varlığı, nedenselliği bozabileceğiniz -yani zaman içinde geri giderek siz doğmadan önce annenizle karşılaşabileceğiniz- anlamına gelmekteydi.

Üçüncü ve en büyük felaket olarak, fizikçiler çok geçmeden Nambu kuramının yalnızca yirmi altı boyutta kendi içinde tutarlı olduğunu keşfettiler (Tutarsız olmak, herhangi bir kuram için ölüm öpücüğü anlamına gelir. Örneğin eğer bir kuram tutarsızsa, eninde sonunda 1 + 1 = 3 gibi gülünç öngörülerde bulunacaktır).

Sicim modelinin yirmi altı boyutta daha iyi bir matematiksel yapıya sahipmiş gibi göründüğü, ilk olarak CERN'den Claude Lovelace tarafından keşfedilmiştir. Daha sonra MIT'den Richard Brower, Charles Thorn ve başkaları, eğer yirmi altı boyut için tanımlanmazsa modelin çöktüğünü göstermişlerdir. Aradan çok

geçmeden, fizikçiler süper sicim kuramının (NeveuSchwarzRamond modeli) sadece on boyutta kendi içinde tutarlı olduğunu keşfetmiştir.

Bu, fizikçiler için katlanılması çok zor bir durumdu. Dört boyutta düşünmeye alışmış bilim insanları için bu kuram gerçek bilimden çok bilimkurgu gibi gelmekteydi. Bunun sonucu olarak, süper sicim kuramı 1974 yılı civarında ününü yitirdi. Aralarında Michio'nun da bulunduğu pek çok fizikçi, bu modeli istemeyerek terk etti.

Michio, modelin yalnızca yirmi altı ve on boyutta tutarlı olduğunu öğrendikleri zaman pek çok fizikçinin hissettiği şaşkınlık ve üzüntüyü gayet iyi hatırlıyor. Hepimiz Niels Bohr'un herhangi büyük bir kuramın "yeterince çılgınca" olması gerektiği yolundaki sözlerini hatırlarız, fakat evrenin yirmi altı veya yalnızca on boyutlu olabileceğini düşünmek, bilimsel hayal dünyalarımızın sınırlarını epeyce zorlamıştı.

Herkesin bildiği gibi uzayın üç boyutu vardır: Uzunluk, derinlik ve genişlik. Evrenimizde bulunan herhangi bir nesnenin -bir karıncadan Güneş'e kadar- ölçüleri, bu üç nicelik ile ifade edilebilir.

Diyelim ki Güneş'in yaşını tarif etmek istersek, bize bir nicelik daha gerekir: Zaman. Bu dört niceliği (uzunluk, derinlik, genişlik ve zaman) kullanarak, evrendeki herhangi bir nesnenin fiziksel durumunu tarif edebiliriz. Bunun sonucu olarak fizikçiler, dört boyutlu bir dünyada yaşadığımızı söylerler.

Bilimkurgu yazarlarının gözde hünerlerinden biri de dörtten fazla boyut icat etmek, bizimkine benzeyen fakat başka boyutlarda bulunan "paralel evrenler" mevcut olduğunu varsaymaktır. Fakat bu, yalnızca bir yazarlık hüneriydi; paralel evren fikri fizikçiler tarafından hiç bir zaman ciddiye alınmadı. Dolayısıyla, sicim modeli daha fazla sayıda boyuta sahip bir evren öngörünce, çoğu fizikçi tarafından göz ardı edildi.

1974 ile 1984 arasındaki on yıl, çoğu fizikçinin elektro-zayıf ve GUT tipi kuramlardaki hızlı gelişmeler üzerinde çalışıyor olması nedeniyle çok verimsiz geçti. Yalnızca Londra Queen Mary Koleji'nden Michael Green ve California Teknoloji Enstitü-

sü'nden John Schwarz gibi kendisini adamış olan emekçiler bu kuramı kurcalıyordu.

1976 yılında birkaç fizikçi, garip bir öneride bulunarak kuramı canlandırmaya çalıştı. Paris'ten Joel Scherk ve John Schwarz, sicim modelinin yeniden yorumlanmasını önerdiler. Bir kusurdan bir yarar üretmeye karar vermişlerdi. Belki de kuramın arzu edilmeyen "graviton" ve "fotonu", gerçek graviton ve fotondu. Onların yaklaşımına göre, süper sicim kuramı yanlış problemi çözmek için kullanılan doğru kuramdı. Bir güçlü etkileşim kuramı değil, aslında evrenin kuramıydı!

Sicim modelinin bu şekilde yeniden yorumlanması, yoğun bir eleştiri ile karşılandı. Ne de olsa bu kuram güçlü etkileşimleri öngörmede ancak orta düzeyde başarılıydı, fakat şimdi Scherk ve Schwarz, onu evreni açıklayan bir kuram haline getirmekteydiler. Bu fikir, akıllıca olmakla beraber, ciddiye alınmamıştı. Çünkü kuram, hâlâ on boyutluydu. Schwarz, durumu şu şekilde özetlemişti: "Hiç kimse bizi kaçık olmakla suçlamadı, fakat çalışmalarımız göz ardı edildi."

Sicimin Çocukları

Şu işe bakın ki, süper sicim kuramının 1970'li yıllarda bir güçlü etkileşimler modeli olarak ölmesine karşın, bir sonraki on yıl "sicimin çocukları" olarak adlandırabileceğimiz bir şeyin çiçek açmasına şahit oldu. Süper sicim kuramı, gerçekçi olamayacak kadar fazla simetrik kabul edilirdi, bu nedenle modelin belirli bazı özelliklerini bünyesinde taşıyan başka kurallar moda oldu. Sicimin kendisi gözden düşse de, onun pek çok yan ürünü 1974 ile 1984 yılları arasında kuramsal fiziğe egemen oldu ve diğer alanlarla polen alışverişi yapmasına olanak sağladı. Sicimin öylesine zengin bir kuramsal yapısı vardı ki, ürünleri bütün fizik toplumuna yayılmıştı.

Örneğin Cornell Üniversitesinden Ken Wilson, kuarkların ipliğe benzer bir madde vasıtası ile kalıcı olarak birbirlerine bağlanmış olduğunu önermek için alışılagelmiş olmayan iplik kav-

ramını kullanmıştı. Bu kuramı kafa karıştıran bir soruyu yanıtlamak amacıyla önermekteydi: Kuarklar nerede? Her ne kadar kuarklar fizik toplumu tarafından son yirmi yıldır yaygın olarak kabul edilmekte ise de, hiç kimse laboratuarda bir kuark görmemişti. Gell-Mann ve başkaları, kuarkların gizemli bir güç tarafından bir şekilde "kuşatılmış" olabileceğini ileri sürdü.

Wilson'un kuramı, kuark kuramında bulunan ve normal koşullarda parçacık halinde olan Yang-Mills gluonlarının bazı koşullar altında kuarkları kuşatıp hapsedecek yapışkan nitelikli bir macun şeklinde "yoğuşabileceğini" önermekteydi. Wilson, bilgisayar kullanarak bu gluon parçacıklarının tıpkı buharın su damlaları halinde yoğuşabilmesi gibi, iki ucunda kuarklar bulunan macunumsu iplikler halinde yoğuşabileceğini gösterdi. Bu mantığa göre, sicimler tarafından kalıcı şekilde hapsedilen kuarklar hiç bir zaman görülemiyordu.

Günümüzde Ulusal Bilim Vakfı, Wilson tarafından sorulana benzer soruları yanıtlamak için dünyanın en büyük bilgisayarlarını kurmak üzere milyonlarca dolar harcamaktadır. Wilson'un sicim kuramı ilkesel olarak güçlü etkileşimlerin neredeyse bütün özelliklerini hesaplayabilecek kadar güçlüdür. Bu alanda "faz geçişleri" adlı çalışmasıyla yarı iletken fiziğinde ve kuark modelinde derhal büyük bir etki yaratan Wilson, 1983 yılında Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür.

Sicimin yan ürünlerinden biri de "süper simetri" idi (daha sonraki bir bölümde incelenecektir). Süper simetri ilk olarak on boyutlu bir kuramda ortaya çıkmış olmakla beraber dört boyutlu kuramlara da uygulanabiliyordu ve 1970'li yılların sonuna doğru epeyce moda oldu. GUT'larda süper simetri tarafından tedavi edilebilen belirli bazı hastalıklar bulunduğu ortaya çıktı.

Daha sonra süper simetrinin kütleçekimini de kapsamına alan, "süper kütleçekimi" olarak adlandırılan daha gelişmiş bir sürümü önerildi. İlk olarak o sıralarda Stony Brook'daki New York Eyalet Üniversitesinde bulunan Peter van Nieuwenhuizen, Dan Freedman ve Sergio Ferrera tarafından formüle edilen bu kuram, Einstein'ın denklemlerinin altmış yıldır yapılan ilk basit olmayan uzantısı oldu. (Süper kütleçekimi kuramı, süper simet-

riye dayalı olduğu için, aslında süper sicim kuramının içinde mevcuttur.)

Sonunda çok sayıda boyuta sahip uzay-zaman kavramına karşı fizikçilerin sahip olduğu önyargı dahi Kaluza-Klein modelinin moda olmasıyla birlikte 1980'li yılların başlarında çökmeye başladı. Bazı kuantum etkileri, daha yüksek sayıda boyut içeren kuramları dahi kabul edilebilir hale getirmişti. (Bu durum, ileride çok ayrıntılı olarak açıklanacaktır.)

1970'lerin sonlarında ve 1980'lerin başlarında teorik fiziğin yönü üzerinde sicimin çocukları egemenlik kurmuş olsa da, ebeveynlerinden epeyce uzak durulmuştur. Burada bilimde karşılaşılan en büyük simetri takımına sahip olan bir kuram vardı, fakat tümüyle işe yaramaz olarak kabul ediliyordu. Ancak bu durum, 1984 yılında fizikçilerin "anomaliler" olarak adlandırılan bir şeyi yeniden incelemesiyle birlikte değişmeye başladı.

Tesadüfün ve Akıllıca Gözlemin Zaferi

Anomaliler, kuantum mekaniğinin görelilikle yaptığı evliliğin bir başka yan ürünüdür. Anomaliler, kuantum alan kuramının içindeki ve birbirini götürmesi veya ortadan kaldırılması zorunlu olan minicik fakat ölümcül olma potansiyeli taşıyan arızalardır. Bir kuram, bu anomalilerin varlığı halinde hiç bir anlam taşımaz.

Anomaliler, sırlı çömlek veya seramik yapmak için en ince kil, kum ve mineralleri karıştırırken ortaya çıkan küçük hatalara benzer. Bileşenleri doğru oranda karıştırırken küçücük bir hata yapılsa dahi, bu küçük kusur sonuçta elde edilen ürünün eninde sonunda onun çatlamasına neden olarak onu mahvedebilir.

Anomaliler bize, ne kadar şık olursa olsun kuramın sonuç olarak tutarsız olduğunu ve gülünç öngörülerde bulunacağını söyler. Anomaliler ayrıca bize, yeni bir kuantum kütleçekimi alan kuramı inşa ederken doğanın bir başka kısıtlamaya daha gereksinim duyduğunu da söyler. Aslında kuantum kuramının üzerinde o kadar çok kısıtlama varmış gibi görünmektedir ki, S matrisi kuramında olduğu gibi nihai yanıt benzersiz olabilir.

Anomaliler, simetriye sahip olan kuramların çoğunda mevcuttur. Örneğin, süper sicim modeli on boyutludur (Rus fizikçi A.M. Polyakov tarafından gösterildiği şekilde) çünkü bir anomaliyi yok etmek için daha yüksek bir boyut gerekmektedir.

Princeton Üniversitesinden Edward Witten ve Luis Alvarez-Gaume, başka parçacıklarla etkileşime giren kütleçekimini tarif etmek üzere kullanılması durumunda kuantum alan kuramının ölümcül anomalilerin istilasına uğradığını bulmuşlardır. Daha sonra, 1984 yılında Green ve Schwarz, süper sicim kuramının anomalileri kesin şekilde yok etmek için yeterli simetriye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Süper sicimin bir zamanlar herhangi bir pratik uygulaması yapılamayacak kadar güzel olduğu kabul edilen simetrisi, artık bütün sonsuzları ve anomalileri ortadan kaldırmanın anahtarı haline gelmişti.

Bu durum, süper sicim kuramına duyulan ilgide bir patlama meydana gelmesine yol açtı. Nobel ödülü sahibi Steven Weinberg, süper sicimler konusundaki heyecanı duyduğu zaman derhal süper sicim kuramı üzerinde çalışmaya başladı. "Yapmakta olduğum her şeyi bir kenara bıraktım" diye anlatmaktadır, "bunların arasında üzerinde çalışmakta olduğum birkaç kitap da vardı ve sicim kuramı hakkında öğrenebileceğim her şeyi öğrenmeye başladım." Oysa, tümüyle yeni olan matematiği öğrenmek hiç de kolay değildi. "Matematiği, çok zordur"[7] diye itiraf etmektedir.

Meydana gelen dönüşüm çok şaşırtıcıydı. Güzel fakat işe yaramaz bir ilginçlikten fazla bir şey olmayan süper sicim kuramı, birkaç ay içerisinde belki de birleşik alan kuramının tek ümidi haline gelmişti. Anomaliler, bir kuantum kütleçekimi alan kuramı kuruluşuna ilişkin bütün ümitleri yok etmek yerine, süper sicimin yeniden canlanmasını sağlamıştı. Süper sicim makalelerinin -1980'lerin başında yalnızca damlalar halinde olan- sayısı, 1995 yılında bini aşkın bir düzeye ulaşarak kuramın kuramsal fizikte egemen güç olmasını sağlamıştı.

Bilimin tarihinde hata gibi görünen bir şeyin muazzam bir fırsat olduğunun ortaya çıktığı olayların sayısı çok azdır. Örne-

ğin Alexander Fleming, 1928 yılında kaplar içerisinde kültür hazırladığı stafilokok bakterilerinin kazara belli bazı ekmek küfleri ile temas ettiği zaman zarar gördüğünü bulmuştu. Başlangıçta bakteri kültürlerinin bu kültürlerden zarar görmesini engellemek için önlem almayı rahatsızlık verici bir iş olarak görmüştü. Fakat sonra, Fleming'in aklına bakteri öldüren küflerin bakterilerin kendisinden daha önemli olabileceği geldi. Bu gözlem, penisilinin keşfine ve Fleming'in "tesadüf ve akıllıca gözlemin zaferi" olarak adlandırdığı bu iş için 1945 Nobel tıp ödülünü almasına yol açmıştı.

Kendi küllerinden yükselen bir Anka kuşu gibi, süper sicim kuramı da Schwarz ve Green'in tesadüf ve akıllıca gözlemlerinin sayesinde, intikam almak üzere dönmüştü.

7
Simetri: Kayıp Halka

GÜZELLİK NEDİR?

Bir müzisyen için güzellik, büyük bir tutku uyandıran armonik, uyumlu bir parça olabilir. Bir ressam için güzellik, doğanın özünü yakalayan veya romantik bir kavramı simgeleştiren bir tablo olabilir. Bir fizikçi için ise güzellik, simetridir.

Fizikte simetrinin en açık örneği, bir kristal veya kıymetli taştır. Kristaller ve kıymetli taşlar, değerlidirler, çünkü simetri sahibidirler – belli açılarda döndürdüğümüz zaman aynı şekli korurlar.

Bir kristalin belli bir açıda döndürüldüğü zaman kendi şekline geri dönmesi nedeniyle, kristalin *değişmez* olduğunu söyleriz. Örneğin bir küpü eksenlerinden herhangi biri üzerinde doksan derece döndürdüğümüz zaman başlangıçtaki şekline döner. Bir küre daha da simetriktir, çünkü bütün olası dönüşlerde değişmezdir, çünkü kendi üzerine döner.

Buna çok benzer bir şekilde, simetriyi fizik alanına uyguladığımız zaman, belli bazı "döndürmeler" yaptığımızda denklem-

lerde herhangi bir değişiklik meydana gelmemesini, değişmeden kalmalarını isteriz. Bu olayda dönüşler (daha doğrusu, karıştırmalar), uzayı zamana veya elektronları kuarka çevirdiğimiz zaman gerçekleşmektedir. Bu dönüşleri yaptıktan sonra denklemler aynı kalıyorsa, denklemlerimizin güzel bir simetriyi koruduğunu söyleriz.

Fizikçiler, şu soru üzerinde sık sık tartışmışlardır: Simetri, yalnızca insanlara özgü bir estetik sorunu mudur, yoksa doğa, evrende simetriyi tercih eder mi?

Evrenin simetrik şekilde yaratılmadığı kesindir. Evren, yalnızca güzel buz kristallerinden veya değerli taşlardan meydana gelmez, aksine fena halde parçalanmış bir görünüme sahiptir. Tırtıklı kayalarda, dolanarak akan nehirlerde, şekilsiz bulutlarda, düzensiz dağ silsilelerinde, rastgele kimyasal moleküllerde veya bilinen atom altı parçacıklarından oluşan fırtınalarda çok fazla simetriden bahsedilemez.

Bununla beraber, Yang-Mills ve ayar kuramlarından yararlanılarak yapılan keşifler sayesinde anlamaya başlıyoruz ki, doğa, temel düzeyde bir fizik kuramının içinde simetriyi yalnızca tercih etmez, onu şart koşar. Fizikçiler, felaketlere yol açan anomaliler ve ıraksaklıklar taşımayan fizik yasaları oluşturmak için gerekli anahtarın simetri olduğunu artık anlamaktadırlar.

Simetri, diğer kuramları öldürmek için yeterli olan, zarar verme potansiyeline sahip bütün ıraksaklıkların ve anomalilerin neden süper sicim kuramında birbirlerini mükemmel bir şekilde ortadan kaldırdığını açıklamaktadır. Aslına bakılacak olursa süper sicim modeli o kadar muazzam bir simetriler takımına sahiptir ki, elektro-zayıf ve GUT tipi kuramların yanı sıra bir de Einstein'ın genel görelilik kuramının bütün simetrilerini kapsayabilmektedir. Evrenin bilinen bütün simetrileri ve henüz keşfedilmemiş olanların çoğu, süper sicim kuramının içinde bulunmuştur. Tekrar düşününce açıkça görülmektedir ki simetriler, süper sicim kuramının böylesine iyi bir şekilde işe yaramasının nedenidir.

Fizikçiler, herhangi bir göreli kuantum kuramının karşı karşıya olduğu ölümcüllük potansiyeli sahibi sorunların ortadan

kaldırılmasında simetrilerin birinci derecede önemli olduğunu artık anlamaktadır. Her ne kadar bilim insanları bir kuramda simetrilerin bulunmasını bütünüyle estetik nedenlerden dolayı arzu ediyor olsa da, aslında doğanın görelilik ile kuantum mekaniği arasında kabul edilebilir bir birleşme için simetriyi en baştan itibaren garantili bir ölçüt olarak şart koştuğunu öğrenmektedirler.

Bu en baştan itibaren belli olan bir şey değildir. Eskiden fizikçiler yalnızca evrenin göreceli olan ve kuantum mekaniğine uygun şekilde hareket eden, olası, kendi içinde tutarlı pek çok teorisini yazabileceklerine inanırlardı. Şimdi ise, ıraksaklıkların ve anomalilerin yok edilmesi için gereken koşulların belki de yalnızca bir kurama izin verecek kadar sıkı olduğunu şaşkınlık içinde öğreniyoruz.

Simetri ve Grup Kuramı

Simetrinin matematiksel olarak incelenmesine "grup kuramı" (bu bağlamda bir grup, birbirine kesin matematiksel kurallar aracılığı ile bağlı olan bir matematiksel nesneler takımı anlamına gelir) adı verilir ve başlangıcı büyük Fransız matematikçi, 1811 doğumlu Evariste Galois'nın araştırmalarına kadar uzanır. Galois, dünyanın en büyük matematikçilerini beş yüz yıldır çaresiz bırakmış olan bir problemi delikanlılık dönemi sırasında yalnızca simetrinin gücünü kullanarak çözmüştür. Örneğin, $x^2 + bx + c = 0$ denklemini ele alırsak, lise cebir dersinde bize yalnızca karekökler kullanarak x'in değerini bulabileceğimiz öğretilmiştir. Soru, şuydu: Beşinci dereceden $ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f = 0$ denklemi de benzer bir şekilde çözülebilir mi?

Şaşırtıcı bir şekilde, bu delikanlının yarattığı yeni kuram öylesine güçlüdür ki, dünyanın en iyi zihinlerini asırlardır kurcalayan bu probleme yanıt verebilmiştir. Yanıt, 'hayır' idi. Onun çözümü, grup kuramının muazzam gücünü ortaya koymuştu.

Ne yazık ki Galois zamanının o kadar ilerisindeydi ki, diğer matematikçiler onun çığır açan araştırmalarını anlayamamıştı.

Örneğin, École Polytechnique adlı saygın okula giriş başvurusunda bulunduğu zaman, düzeyi sınav komitesi üyelerinin çok üstünde olan bir matematik dersi verdi. Bunun sonucunda, başvurusu reddedildi.

Sonra Galois, önemli keşiflerinin bir özetini hazırladı ve makalesini Fransız Akademisinin önünde sunulmak üzere matematikçi Augustin Louis Cauchy'e gönderdi. Bu çalışmaların önemini anlayamayan Cauchy, daha sonra Galois'nm makalesini kaybetti. 1830 yılında Galois, bir yarışma dolayısıyla Akademiye başka bir makale gönderdiyse de, bu sefer hakem Joseph Fourier yarışmadan kısa bir süre önce öldü ve makale kayboldu. Hüsrana uğrayan Galois, makalesini Akademiye son bir kez gönderdi, fakat bu sefer de makale, matematikçi Simeon Denis Poisson tarafından "anlaşılmaz" diye elendi.

Galois, toprakları üzerinde devrimin hüküm sürdüğü bir dünyada doğmuş ve 1830 devriminin gerekçelerini benimsemişti. En sonunda Paris'teki École Normal'e kabul edildi, fakat çok geçmeden radikal görüşleri nedeniyle okuldan atıldı. Kral Louis Philippe karşıtı bir gösteride kışkırtıcılık yaptığı suçlamasıyla 1831 yılında tutuklandı. Tarih kayıtlarına göre bir yıl sonra bir polis ajanı, bir provokatör, onu düelloya davet etti. (Görünüşe göre Galois'nın bir kadınla ilişkisi vardı ve ahlak kuralları gereği tabanca ile düello etmek zorundaydı.) Galois, daha yirmi yaşındayken öldü.

İyi bir şans eseri, düellodan önceki akşam Galois öleceğini hissetmişti. Ulaştığı önemli sonuçları arkadaşı Auguste Chevalier'ye yazdığı bir mektupta anlattı ve onların *Revue Encyclopedique* dergisinde yayımlanmasını istedi. Onun grup kuramı üzerindeki önemli fikirlerini içeren bu mektup, on dört yıl boyunca yayımlanmadı. (Bir yüzyıl sonra matematikçiler, onun notları karşısında hâlâ şaşkınlıklarını ifade etmektedir, çünkü o notlarda ölümünden ancak yirmi beş yıl sonra keşfedilen matematiksel denklemlere atıfta bulunmaktaydı.)

Kurucusu Galois'nın ölümü ile grup kuramı tartışılmaz bir kayba uğramış olmakla beraber, burada amaç kuramın içindeki muazzam gücü göstermektir. Sadece kendi içinde matematik

açısından şık olmakla kalmıyor, diğer matematik problemlerine uygulandığı zaman da muazzam bir ateş gücü sağlıyordu. Başka yöntemlerle çözülemeyen problemleri çözmemize olanak sağlayan bir simetride insana garip ve harika gelen bir yan vardır. (Grup kuramı artık öylesine matematiğin bir parçası olmuştur ki, bazen lisede dahi öğretilmektedir. "Yeni matematik" ile boğuşmuş olan herkes, Galois'ya teşekkür edebilir.)

Galois'nın ardından grup kuramı, 1800'lerin sonlarına doğru Norveçli matematikçi Sophus Lie tarafından geliştirilerek matematiğin olgunlaşmış bir dalı haline getirildi. Lie, aynı türden bütün olası grupları kataloglayarak (artık Lie grupları olarak adlandırılırlar) muazzam bir işi tamamladı. Tümüyle soyut matematik kurgularına dayalı olan Lie gruplarının gelişmesiyle matematikçiler, nihayet fizikçilerin hiç bir şekilde işine yaramayacak bir bilgi dalı keşfettiklerini düşünmüşlerdi. (Görünüşe göre bazı matematikçiler, hiç bir pratik uygulamaya sahip olmayacak kadar saf matematik üretmeye bayılmaktadırlar.)

Yanılıyorlardı.

Bu "işe yaramaz" Lie grupları kuramı, bir yüzyıl sonra bütün fiziksel evrenin temelini oluşturacaktı!

Lie Grupları – Simetrinin Dili

Lie'nin en büyük başarılarından biri, belli bir türdeki bütün grupları yedi tür altında kataloglamak olmuştur.[1] Örneğin, Lie grupları arasındaki sınıflardan birisi, O(N) olarak adlandırılmaktadır.

Bir deniz topu, O(N) simetrisine sahip nesneler için en basit örnektir. Deniz topu hangi açıda döndürülürse döndürülsün, şeklinde herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Bu topun O(3) simetrisine sahip olduğunu söyleriz (O harfi "ortogonal" kelimesini, 3 rakamı ise uzayın 3 boyutunu temsil eder).

O(3) simetrisi için verilebilecek bir başka örnek de, atomun kendisidir. Bütün kuantum mekaniğinin temelinde yatan Schrödinger denkleminin dönme durumunda değişmez olması nede-

niyle, denklemin çözümlerinin de (yani atomların) bu simetriye sahip olması gerekmektedir. Atomların bu dönel simetriye sahip olmaları, Schrödinger denkleminde gördüğümüz O(3) simetrisinin doğrudan bir sonucudur.

Lie ayrıca, SU(N) olarak adlandırılan ve karmaşık sayıları döndüren bir simetriler kümesini de keşfetmiştir. Bunun en basit örneği, Maxwell'in denklemlerinin altında yatan simetri olan U(1)'dir ("1" rakamı, yalnızca bir adet foton olduğunu göstermektedir). İkinci en basit olanı ise, proton ve nötronu döndürebilen SU(2)'dir. Heisenberg, 1932 yılında yükleri dışında birbirlerine çok fazla benzeyen bu parçacıklar için geçerli olan Schrödinger denkleminin bu iki parçacık birbiri ile yer değiştirdiği zaman denklemin değişmezliği korunacak şekilde yazılabileceğini gösteren ilk kişi olmuştur. Bir başka örnek de, elektron ve nötrinoyu birbiri üstüne döndürdüğümüz zaman aynı kalan Weinberg–Salam kuramıdır. Bu kuram, böyle iki parçacığı döndürdüğü için, SU(2) simetri grubuna sahiptir. Ayrıca Maxwell'in U(1) simetrisini de içerdiği için, Weinberg ve Salam'ın simetrisi, SU(2) × U(1) olur.

Bunun üzerine Sakata ve çalışma arkadaşları, güçlü etkileşimleri göstermek için bu güçlü etkileşimleri ortaya çıkartan çekirdek altı üç parçacığı döndüren SU(3) simetri grubu tarafından temsil edilebileceğini göstermişlerdir. Daha da ötesi SU(5), beş parçacığı (elektron, nötrino ve üç kuark) birbiriyle karıştırabilecek yazılabilir en küçük GUT kuramıdır. Doğal olarak, eğer elimizde N sayıda kuark varsa, bu durumda simetri grubu SU(N) olur ve N, istendiği kadar yüksek olabilirdi.

Bununla beraber, Lie gruplarının belki de en garip olanları E(N) gruplarıdır. E(N) simetrisi için herhangi bir örnek hayal etmek son derece güçtür, çünkü bu gizemli gruplar olağan nesneler cinsinden ifade edilemezler. E(N) simetrisine sahip tek bir kar tanesi veya kristal mevcut değildir. Bu simetriler, Lie tarafından fiziksel nesnelerle hiç bir ilgisi olmayan soyut cebir işlemleri yapılarak bulunmuştur. Bu grupların garip olan tarafı, N' nin tamamen matematiksel nedenlere bağlı olarak en çok 8 değerini alabiliyor olmasıdır. (En yüksek değerin 8 olmasını açıklamak

için yüksek matematik konusunda bilgi sahibi olmak gereklidir.)

Bu E(8) grubu, süper sicimin sahip olduğu simetrilerden biridir. Kullanılabilecek en büyük değer 8 olduğu için sicim modelinde bulunan yirmi altı boyutla ve süper sicim de bulunan on boyutla çok yakından ilişkili olan garip bir "nümeroloji" şekli ortaya çıkmaktadır. (Bu "nümerolojinin" kökeni, matematikçiler tarafından dahi bilinmemektedir. Süper sicim kuramında 8, 10 ve 26 sayılarının neden ikide birde karşımıza çıkmakta olduğunu anlamayı başarabilirsek, belki de evrenin neden dört boyutlu olduğunu çözebiliriz.)

Dolayısıyla püf noktası, birleşik alan kuramının Lie gruplarını birleştirme işleminin çerçevesi olarak benimsenmesinden geçmektedir. Bu, günümüzde elbette kolay görünebilir. Fizikçiler, insanı hayrete düşüren bir şıklığa ve güzelliğe sahip olan Lie grupları ve birleşik alan kuramları konularında elde edilen gelişmelerden gurur duymaktadırlar. Bununla beraber, durum her zaman böyle olmamıştır. Fizikçilerin büyük bir çoğunluğu zaman zaman inatçılıklarını ve hatta dik kafalılıklarını kanıtlamak istercesine fizikte daha büyük Lie gruplarından ve birleştirmeden yararlanılmasına şiddetli bir şekilde karşı çıkmışlardır. Belki de bu, yalnızca bir avuç fizikçinin diğerlerinden daha uzağı görebilmiş olmasının nedenlerinden biridir.

Birleştirmeye Karşı Düşmanlık

1941 yılında, W parçacığının keşfinden ve elektro-zayıf kuramın deneysel olarak parlak bir şekilde doğrulanmasından kırk iki yıl önce Harvard Üniversitesinden Julian Schwinger, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin tek bir kuramda birleştirilebileceğinden J. Robert Oppenheimer'a bahsetmişti. Schwinger'in anlatışıyla, "Bundan Oppenheimer'a bahsettim, o da pek soğuk karşıladı. Ne de olsa, çok ölçüsüz bir spekülasyondu."[2]

Cesareti kırılan Schwinger, buna rağmen son derece matematiksel olan bu kural üzerinde harıl harıl çalışmaya devam etti.

Eski bir harika çocuk olan Schwinger, ileri matematiğin yabancısı değildi. New York City Üniversitesine on dört yaşındayken girmiş, Columbia'ya nakil yaptırarak on yedi yaşında mezun olmuş, Ph.D. derecesini ise yirmi yaşında kazanmıştı. Yirmi sekiz yaşına geldiği zaman, Harvard üniversitesinin o zamana kadar ki en genç profesörlerinden biri olmuştu.

Schwinger, 1956 yılında Columbia Üniversitesi'nden Nobel Ödülü sahibi Isidor Isaac Rabi'ye elektro-zayıf kuramın dikkat çekecek kadar tamamlanmış bir sürümünü gösterdi. Rabi, açık bir şekilde "Bu makaleden herkes nefret eder" diye yanıtladı.[3] Schwinger, elektro-zayıf kuramın bazı deneysel verilerle çelişmekte olduğunun fakına vardığı zaman yenilgiyi kabullendi ve komik kuramını lisansüstü öğrencisi olan Sheldon Glashow'a devretti. (Elbette hatalı olan Schwinger'in kuramı değil, onun o sırada karşısına çıkan deneysel verilerdi. Sonradan Glashow ve Weinberg ile birlikte elektro-zayıf kuram için Nobel Ödülü kazanan Abdus Salam, şu yorumu yapmıştır: "Eğer o deneyler yanlış olmasaydı, işi orada ve o anda bitirirdi.")[4]

Her ne kadar Glashow ve çalışma arkadaşları diğer fizikçiler tarafından hor görülseler de, doğru iz üzerindeydiler. SU(2)'yi kullanarak elektron ve nötrinoyu matematiksel olarak birleştirmişlerdi. Elektromanyetik kuramın içinde U(1) zaten vardı, böylece kuramın tamamı, SU(2) × U(1) simetrisine sahip olmuştu. Fakat neredeyse bütün fizik toplumu, bu kuramı on yıllar boyunca dikkate almamayı başardı.

Sakata ve çalışma arkadaşlarının çalışmaları da aynı buzlu tepkilerle selamlandı. 1950'lerde, Gell-Mann tarafından kuarkların tanıtılmasından yıllar önce, Sakata ve çalışma arkadaşları o sırada hakim olan görüşlere karşı çıkarak hadronların altında SU(3) simetrisine uygun davranan bir alt katman mevcut olduğunu öne sürdüler. Fakat, Sakata'nın çekirdek altı kuramları diğer fizikçiler tarafından tam olarak anlaşılamayacak kadar çağın ilerisindeydi. Görüşleri, saçma olarak değerlendirildi.

Bir problem üzerinde yıllarca ter döken fizikçiler, diğer alanlardaki profesyonellerden hiç de farklı olmayan bir şekilde, bir-

denbire ortaya çıkıp bütün problemi, çözdüğünü iddia eden kişilere bazen şüpheyle ve hatta kıskançlıkla bakma eğilimi gösterirler. Sanki bir cinayetin gizemini çözmeye çalışan bir detektifin tepkisini andırır. Muammaya ait kanıtları toplayıp birbiriyle birleştirmek için aylarını harcamış olan birini gözünüzün önüne getirin. Kanıtlarda pek çok boşluk vardır ve kanıtların bazıları birbiriyle çelişiyormuş gibi dahi görünür. (Üstelik bu kişi parlak bir zekâya sahiptir, fakat bir dahi değildir.) Tam da birtakım kanıtlar üzerinde kafa yormakta iken genç ve atılgan bir detektif odaya dalar, kanıtlara bir göz atar, bir şablon tespit eder ve yumurtlayıverir, "Katilin kim olduğunu biliyorum!" İşini ağır ağır yapan detektif, muhtemelen kıskançlıkla renklendirilmiş bir miktar kızgınlık duyacaktır.

Ne de olsa, diye yanıtlar deneyimli detektif genç detektifi, kanıtlar arasında bu kadar boşluk varken yanıtı tahmin etmek çok zamansız olur. Ayrıca diyebilirdi ki, herkes katilin kimliğine ilişkin kuramlar öne sürebilir. Aslına bakılacak olursa, bu genç detektifin alelacele fikir beyan etmeyen dikkatli, deneyimli bir detektif olmanın inceliklerinin değerini bilmemesi için yüzlerce neden önde sürebilir. Görüşleri, tıpkı Oppenheimer'ın Schwinger'a yaptığı gibi, genç detektifi belli bir kişinin katil olduğunu iddia etmenin akılsızca olacağı konusunda ikna dahi edebilir.

Fakat ya genç detektif haklıysa?

Bu acayip husumet, batılı fizikçiler arasında sıklıkla görülen ve bir nesnenin iç işleyişini içindeki parçaların mekanik hareketlerini inceleyerek anlamaya çalışan mekanik düşünce sürecine kapılmış pek çok fizikçinin bilinçaltı eğilimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu düşünce şekli her ne kadar bazı alanlarda inkâr edilemeyecek bir başarı elde etmişse de, insanın genel manzarayı ve daha büyük desenleri görmesine engel olmaktadır. Onlarca yıl boyunca bu mekanik düşünce, fizikçileri Einstein'ın 1920'lerden itibaren yapmaya çalıştığı gibi birleştirme terminolojisi açısından düşünmeye karşı şartlandırmıştır.

Yang–Mills Kuramı

1950'lerde Long Island'daki Brookhaven Ulusal Laboratuarı'ndaki fizikçilerden biri olan Chen Ning Yang ve onun meslektaşı Robert Mills, güzel bir önerinin adil bir ilgiyle karşılaşmaması konusunda epeyce bilgi sahibidirler.[5] Onların simetri ve birleştirmenin gücünü ortaya koyan önerileri, yıllar boyu kelimenin tam anlamıyla göz ardı edilmiştir.

Yang, 1922 yılında Çin'de bir matematik profesörünün oğlu olarak doğmuştu. Yang Kunming ve Tsinghua üniversitelerinden mezun oldu, fakat kendisinden önce Oppenheimer'ın yaptığı gibi Almanya'ya göç etmedi. Savaş sonrası fizik dünyasına yer değiştirmiş Avrupalıların egemen olacağı yeni nesil fizikçiler açısından açıkça görülmekteydi, bu da ABD'ye yolculuk anlamına geliyordu.

Yang, ABD'ye 1945 yılında geldi ve çok geçmeden kahramanlarından birinin, Benjamin Franklin'den esinlenerek "Frank" takma adını benimsedi. Ph.D. derecesini İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin (1942 yılında zincirleme bir nükleer tepkimenin kontrol edilebileceğini göstererek atom bombasının geliştirilmesinin ve nükleer enerji santrallarının yolunu açan ilk kişi) varlığı yüzünden savaş sonrasında fizik araştırmalarının kıblesi sayılan Chicago Üniversitesinden 1948 yılında aldı.

Yang daha 1947 yılında bir lisansüstü öğrencisiyken, Maxwell'in kuramından daha gelişmiş ve daha genel olan bir kuram üzerinde çalışmaya başladı. İyice düşünüldüğü zaman, Maxwell'in kuramının Einstein tarafından keşfedilen göreliliğin uzay-zaman dönüşleri sırasında değişmezliğini korumaya ek olarak, U(1) adı verilen başka bir tür simetrisi de bulunmaktaydı. Acaba bu, genelleştirilerek SU(2) veya daha üst düzeye çıkartılabilir miydi?

Daha önce Heisenberg, SU(2)'nin Schrödinger denklemindeki protonlarla nötronların birbirine karıştırılması sonucunda elde edilen simetri olduğunu göstermişti. Heisenberg, protonlarla nötronların birbirinin yerini aldığı durumda temel denklemlerin

"değişmez" olduğu (aynı kaldığı) bir kuram yaratmıştı. O sırada Heisenberg, bu parçacıkları birbirleriyle proton ve nötron ister Dünya'da, ister Ay'da olsun değişmeyen bir açıda karıştırmıştı. Proton ve nötron nereye yerleştirilmiş olursa olsun, bu simetri etkilenmemekteydi.

Bununla beraber Yang, kendi kendine şu soruyu sordu: Proton ve nötron farklı bir açıda, örneğin Dünya'da değil de Ay üzerinde karıştırıldığı zaman değişmez olan daha gelişmiş bir kuram yaratırsak ne olur? Aslına bakılacak olursa, uzayın her noktasında farklı bir karıştırma açısı uyguladığımız takdirde ne olur?

Bu fikir -yani uzayın her noktasında farklı bir dönüş meydana gelmesi- Yang-Mills kuramının (ayar kuramı olarak da adlandırılır) içine yerleştirildi. Yang ve çalışma arkadaşları 1954 yılında kuramın ayrıntılarını ortaya çıkarttıkları zaman, zayıf etkileşimlerin W parçacığını çok andıran, yepyeni bir mezon benzeri parçacık varsayımında bulundukları takdirde bu yerel simetrinin sağlanabilecek olduğunu gördüler.

Hazırladıkları ve daha sonra yüzyılın en önemli makalelerinden birisi haline gelen makaleye fizik toplumunun tepkisi, tahmin edildiği şekilde oldu: Umursamazlık.

Kendisine takılan ismiyle Yang-Mills parçacığının sorunu, çok fazla simetriye sahip olmasıydı. Doğada bilinen hiç bir parçacığa benzemiyordu. Örneğin kuram, bu Yang-Mills parçacıklarının tam anlamıyla kütlesiz olmasını öngörmekteydi, fakat varsayılan W mezon'un ölçülebilir bir kütlesi vardı. Yang-Mills parçacıklarının doğada bulunan parçacıklardan hiç birine benzemiyor olması nedeniyle, kuram daha sonraki yirmi yıl boyunca bilimsel bir garabet olarak kaldı. Yang-Mills kuramını gerçekçi bir hale getirmek için, fizikçilerin bu simetrileri bir şekilde bozması, fakat kuramın bütün iyi özelliklerini de koruması gerekmekteydi.

Bunun sonucunda Yang-Mills kuramı neredeyse yirmi yıl boyunca hareketsizliğini korudu, meraklı fizikçiler tarafından dönemsel olarak kurcalandı, fakat sonra tekrar bir kenara bıra-

kıldı. Kuramın pratik hiç bir uygulama alanı yoktu, çünkü (a) muhtemelen renormalize edilebilir değildi (fakat bunu hiç kimse kanıtlayamamıştı) ve (b) yalnızca kütlesiz parçacıkları tanımlıyordu, fakat W parçacığının kütlesi vardı. Bilimin tarihi boyunca pek çok çarpıklık ve dönemece rastlanır, fakat Yang–Mills kuramının ihmal edilmesi, kaçırılan büyük fırsatlar arasında yer almayı hak etmektedir.

İskoçyalı fizikçi Peter Higgs, Yang–Mills kuramındaki simetrilerden bazılarının bozulmasının ve bu sayede kütlesi olan parçacıklar elde edilmesinin mümkün olduğunu fark edince, biraz ilerleme sağlandı. Artık W parçacığı kuramına çok benzemekteydi, fakat kuramın renormalize edilebilir olduğuna hiç kimse inanmamaktaydı. Bunların hepsi, Hollanda'dan gelen yirmi dört yaşındaki bir fizikçinin çalışmaları sonucunda değişti.

Ayar Devrimi

1971 yılında Gerard 't Hooft, Higgs tarafından bulunan yöntem kullanılarak bozulan Yang–Mills kuramının renormalize edilebilir olduğunu, bu sayede zayıf etkileşimler için uygun bir kuram haline geldiğini gösterdi. Bu ayar kuramlarının renormalize edilebilir olduğunun kanıtlanmasının fizik dünyasında bir yanardağ patlaması kadar büyük bir etkiye yol açtığını söylemek, hiç de abartılı olmayacaktır. 1860'lı yıllardaki Maxwell'in ardından ilk kez, doğadaki temel kuvvetlerden bazılarını birleştirebilecek bir kuram yaratılmıştı.

Başlangıçta kuram, elektro–zayıf kuvveti tanımlamak üzere SU(2) × U(1) ile birlikte kullanılmıştı. Sonra, kuarkları birbirine bağlamak için bir SU(3) gluon kuramının içinde kullanıldı. Son olarak da bilinen bütün parçacıkları tek bir aile halinde toplamak için SU(5) veya daha yüksek bir grup içinde kullanıldı.

Fizikçiler, geri dönerek "ayar devrimine" göz attıkları zaman, evrenin onların zannettiğinden çok daha basit olduğunu görerek şaşkına dönmüşlerdi. Steven Weinberg'in bir vesile ile söylediği gibi:

> . . . simetrilerin bizden saklanmış olmalarına karşın, onların görünmeseler de doğada var olduklarını, çevremizde bulunan her şeyi yönettiklerini hissedebiliriz. Bu, benim karşılaştığım en heyecan verici düşüncedir: Doğanın göründüğünden çok daha basit olması. Hiç bir şey beni bizim kuşağımızın insanlarının evrenin anahtarını ellerinde tutuyor olmasından -galaksiler ve parçacıklardan meydana gelen bu muazzam evrende gördüğümüz her şeyin neden mantıksal açıdan kaçınılmaz olduğunu belki de yaşam sürecimizin içerisinde söyleyebilecek olmamızdan- daha fazla ümitlendiremez.

GUT'lardan Sicimlere

GUT modeli heyecan vericiydi, çünkü kuarklardan, leptonlardan (elektronlar ve nötrinolar) ve Yang-Mills parçacıklarından ibaret yalnızca birkaç bileşen parçacığın varlığını farz etmek suretiyle yüzlerce parçacığı birbirleriyle birleştirebilmekteydi.

Ancak, ortaya beklenmeyen sorunlar çıktı. Zaman geçtikçe, atom parçalayıcılar giderek daha fazla sayıda "temel" kuarklar ve leptonlar keşfetmeye başladılar ve 1974 yılında dördüncü bir kuark keşfettiler. Görünüşe göre tarih tekerrür etmekteydi.

1950'lerde fizikçiler, güçlü etkileşimlerde bulunan atom altı parçacıkların meydana getirdiği bir okyanusun içinde boğulmaktaydılar. Bu durum, SU(3) ve kuark modelinin keşfini sağlamıştı. 1970'lerin sonları ve 1980'lerin başlarında yeni kuarkların keşfedilmesi sürmekteydi, fakat 5. bölümde gördüğümüz gibi, bunlar daha önceki kuark takımının karbon kopyası gibiydiler. Fizikçiler açısından bakılacak olursa, kopya kuarkların varlığı GUT kuramının temel bir evren kuramı olamayacağı anlamına gelir.

GUT'un aksine, süper sicim kuramı maddenin temel birimi olarak E(8) × E(8) simetrisine sahip tek bir varlığın -sicimin- mevcudiyetini varsayarak kuarkların bolluğu sorununa bir çözüm getirmektedir.

Neden Gereğinden Fazla Üç Tane GUT Parçacığı Ailesi Var?

Elektron Ailesi	Muon Ailesi	Tau Ailesi
elektron	muon	tau
nötrino	muon nötrinosu	tau nötrinosu
yukarı kuark	acayip kuarklar	üst kuark
aşağı kuark	tılsımlı kuark	alt kuark

GUT kuramının en büyük utançlarından birisi, neden birbirinin aynı olan üç parçacık ailesi mevcut olduğunu açıklamayı başaramamasıdır. Buna karşın süper sicim kuramında bu yedekli aileler aynı sicimin farklı titreşimleri olarak açıklanmaktadır.

(Lie, SU(N) gruplarına ek olarak kendisinin E(6), E(7) ve E(8) olarak adlandırdığı başka bir sınıf grubun daha olduğunu buldu (E, "kural dışı" anlamına geliyordu). Bu gruplar kural dışıydı, çünkü sonsuza kadar devam etmek yerine E(8)'de bitiyorlardı. GUT simetrisini içeren bu grup, sicimler açından önemlidir.)

Origami ve Simetri

Süper sicim kuramının bu kadar başarılı olmasının nedeni, konformal simetri ve süper simetri olarak adlandırılan iki güçlü simetri kümesine sahip olmasıdır. İlk simetriyi anlatmak için origami kullanılabilir. (İkinci simetriyi bir sonraki bölümde tartışacağız.)

Tinker Toy'ların nokta parçacıklar için S matrisinin hesaplanmasında yararlı olduğunu daha önce görmüştük. Çubuklar ve mafsallar kullanarak hepsi bir araya toplandığı zaman S matrisini ortaya çıkartacak olan sonsuz sayıda Feynman diyagramı yaratabiliriz. Bununla beraber, bu Feynman diyagramlarının çoğunun arkasında herhangi bir plan veya düzen yoktur. Yaptığımız şey, Tinker Toy parçalarını mümkün olan her şekilde amaçsızca birbirine eklemekten ibarettir. Şansımız var ki, QED gibi böyle basit kuramlar söz konusu olduğunda verilerle muhteşem

bir uyum sağlamak için yalnızca birkaç diyagram yeterli olmaktadır.

Buna karşın, bir kuantum kütleçekimi kuramında tek bir döngü diyagramını temsil etmek için dahi bu diyagramlardan on binlercesine ihtiyaç vardır. Üstelik, bu diyagramların çoğu ıraksaktır. Doğa, gerçekten bu kadar karmaşık olabilir mi? Bu diyagramlar üzerinde yıllar boyu çalışan, üzeri denklemlerle dolu binlerce sayfa dolduran herkes, bu işin altında bir desen olması gerektiğini hissetmektedir.

Süper sicim kuramı, bu binlerce diyagramın yalnızca birkaç taneye indirgenmesine izin vererek bu simetriyi sağlamaktadır. Bu diyagramların sağladığı muazzam avantaj, hiç bir değer değişikliği meydana gelmeden lastik gibi esnetilebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin ilk döngü düzeyinde on binlerce Feynman diyagramı yerine elimizde sadece bir tanesi vardır. On binlerce tek döngülü farklı Feynman diyagramının bire eşdeğer olduğu, onları esneterek gösterilebilir.

Bu simetri sayesinde kuramın muazzam bir sadeleştirmeye uğradığı açıkça görülmektedir. Bu simetri aslında o denli güçlüdür ki, binlerce ıraksaklığı geçersiz kılmakta, sonlu bir S matrisi halinde toparlanmaktadır.

Kırık Simetri

Eğer doğa simetrik olsaydı, fizikçilerin işi çok daha kolay olurdu. Birleştirme kuramı açıkça ortaya çıkardı, çünkü ortada dört değil, yalnızca bir kuvvet olurdu. Bununla beraber doğa, kırık simetriler şeklinde karşımıza çıkan sürprizlerle doludur. Örneğin doğal evren mükemmel kristal şeklinde veya tekdüze değil, asimetrik galaksilerle, dengesiz gezegen yörüngeleriyle ve buna benzer şeylerle doludur. Dünya, simetrinin kırılma nedeniyle gizli olduğu örneklerle doludur (Aslında eğer simetri asla kırılmasaydı, evren epeyce sıkıcı bir yer olurdu. İnsanlar var olamazdı [çünkü hiç bir atom olmazdı], yaşam mümkün olmazdı ve kimya çökerdi. Dolayısıyla, evreni böylesine ilgi çekici yapan şey, simetrinin kırılmasıdır).

Kırık simetrilerin incelenmesi, örneğin suyun donmasını açıklamaktadır. Su, sıvı halde iken büyük bir simetriye sahiptir. Ne yöne çevirirsek çevirelim, su olarak kalır. Buna karşın, suyu yavaş yavaş soğuttuğumuz zaman her yönde rastgele buz kristalleri şekillenmeye başlar, sonunda sert buz haline gelen düzensiz bir ağ yaratır. İşte, sorunun özü burada yatar: Orijinal denklemler büyük bir simetri sahibi olmakla beraber, denklemlerin çözümlerinin bu simetriye sahip olması şart değildir.

Bu kuantum geçişlerinin meydana gelmesinin ardında yatan neden, doğanın daima en düşük enerji konumunda olmayı "tercih" etmesidir. Bunun kanıtlarını her an görmekteyiz; örneğin su yokuş aşağıya akar, çünkü daha düşük bir enerji konumuna ulaşmaya çalışmaktadır. Kuantum geçişleri meydana gelir, çünkü sistem en başta yanlış enerji konumunda (bazen "yalancı boşluk" da denir) başlamıştır ve daha düşük bir enerji konumuna geçmeyi arzu etmektedir.

Simetrinin Yenilenmesi

Bu noktada, gizli simetriyi bulup çıkartmak için bir simetrinin kırık parçalarının incelenmesi, ümitsiz bir çaba gibi görülebilir. Bununla beraber, orijinal simetriyi tekrar elde etmek için elimizde bir yol vardır: Nesneyi ısıtmak. Örneğin suyu ısıtarak suyu ve O(3) simetrisini geri kazanırız. Aynı şekilde, eğer dört kuvvetin gizli simetrilerini yenilemek istersek, kuramı ısıtmamız –sıcaklıkların süper sicimin kırılmış olan simetrisini geri getirecek kadar yüksek olduğu Büyük Patlama'ya geri gitmemiz– gerekir. Hiç şüphesiz, evreni en baştan ısıtmamız ve Büyük Patlama'nın koşullarını yeniden yaratmamız, fiziksel olarak mümkün değildir. Bununla beraber, Büyük Patlama'yı incelemek suretiyle evrenin bütün simetrilerinin sağlam olduğu bir dönemi çözümlememiz mümkündür.

Aslına bakılacak olursa fizikçilerin tahminine göre zamanın başlangıcında sıcaklıklar o denli yüksekti ki, dört kuvvetin dördü de birbiri ile karışmış durumdaydı. Ancak, evren soğudukça

dört kuvveti bir arada tutan simetriler teker teker kırılmaya başladı.

Başka bir deyişle, bugün dört kuvvet görüyor olmamızın nedeni, evrenin böylesine yaşlı ve böylesine soğuk olmasıdır. Eğer Büyük Patlama'ya şahit olabilseydik ve eğer kuram doğruysa, maddenin tümüyle süper sicimin simetrilerini, örneğin bir sonraki bölümde inceleyeceğimiz süper simetriyi, sergilediğini görecektik.

Yine de, eğer fizikçiler anahtarın süper simetri olduğunu iddia ediyorlarsa ve eğer süper simetri bu kadar basit bir kuramsa, neden bunca yıl fizikçilerin dikkatinden kaçmış olabilir?

8
Süper Simetri

SÜPER SİCİMLERİN keşfedilmesi söz konusu olduğunda en ön planda ortaya çıkan kişi, California Teknoloji Enstitüsü'nden John Schwarz'dır.

Önde gelen diğer bazı süper sicim fizikçileri gibi John Schwarz da başka bilim insanları yetiştirmiş bir aileden gelmektedir. Babası bir endüstriyel kimyacı, annesi de Viyana Üniversitesi'nde fizikçiydi. Hatta annesi Paris'te Madam Curie ile çalışmak üzere bir anlaşma yapmış, fakat o işe başlayamadan büyük kimyacı ölmüştü. John'un Macar asıllı olan ebeveynleri, Avrupa'da Nazi yönetimi altında yükselen Yahudi karşıtı görüşler nedeniyle 1840 yılında Avrupa'dan kaçarak ABD'ye yerleşmişlerdi. John, 1941 yılında Massachusetts'in North Adams kentinde doğmuştu.

Lisans eğitimine Harvard'da matematik öğrencisi olarak başladı, fakat 1962 yılında bir fizik öğrencisi olarak mezun oldu. "Matematikten usanmaya başlamıştım," diye anımsıyor. "Çok eğlenceli olmakla beraber, amacının ne olduğunu anlayamıyor-

dum. Fakat, doğanın ortaya koyduğu soruyu yanıtlamaya çalışmak, işte bu, bana daha odaklanmış bir çalışma şekli gibi göründü, ayrıca daha da tatmin edici geldi."[1]

Harvard'dan sonra Berkeley'de California Üniversitesi lisansüstü okuluna gitti. "Orası, o günlerde teorik fiziğin yatağıydı," diye sevgiyle hatırlamaktadır. S matrisi kuramı zirveye çıkmıştı ve Princeton'dan David Gross ile birlikte Geoffrey Chew'in yönetimi altında çalıştılar. O günlerde Berkeley'de bulunan geleceğin ünlüleri arasında kıdemsiz öğretim üyelerinden Steven Weinberg ve Sheldon Glashow vardı. Schwarz, "Weinberg odaya girdiği zaman," diye anlatır, "çevresine belirgin bir hava yayardı. Önemli bir insan olduğunu anlardınız."[2]

Ph.D. derecesiyle birlikte 1966 yılında Berkeley'den ayrılan Schwarz, Princeton Üniversitesi'ne giderek orada Paris'ten gelen iki genç Fransız fizikçiyle, Andre Neveu ve Joel Scherk ile çalıştı. Schwarz, bu iki Fransız ile birlikte yeni ufuklar açan bir makale dizisi yayımladı. 1971 yılında Neveu ve Schwarz, Veneziano ve Suzuki tarafından ortaya atılan Beta fonksiyonunda temel bir hata bulunduğunu fark ettiler: Onların kuramı, doğada bulunan bütün "döner" parçacıkları tanımlıyor olamazdı.

Bütün nesneler bir "dönüş" hareketine veya açısal momentuma sahiptir - galaksilerden (bir dönüşleri milyonlarca yıl sürebilir) atom altı parçacıklara (bir saniyede milyonlarca kez dönebilirler) varıncaya kadar her şey.

Dönen bir topaç gibi tanıdık nesneler, herhangi bir hızda dönebilirler. Örneğin bir pikap, bir düğmeyi çevirerek dakikada 33⅓ veya 78 dönüş yapacak şekilde ayarlanabilir.

Buna karşın kuantum dünyasında bir elektron, gelişigüzel şekilde dönmez. Tıpkı yalnızca foton adı verilen belirli demetler halinde ortaya çıkabilen ışık gibi, atom altı parçacıklar da yalnızca belirli miktarlarda açısal momentum ile dönebilirler.

Aslında kuantum mekaniği, Dünya'daki bütün parçacıkları yalnızca ikiye ayırır: *Bozonlar ve fermiyonlar.*

Fermiyonlara bir örnek görmek isterseniz, kendi vücudunuza bakabilirsiniz. Vücudunuzdaki atomları meydana getiren elektronların ve protonların tamamı, fermiyonlardır. Etrafınızda

gördüğünüz her şey, duvarlar ve gökyüzü dahil, Planck sabiti birimleriyle ölçülen yarım tamsayı dönüşe sahip fermiyonlardan meydana gelir: ½, 3/2, 5/2 v.b. Fermiyonlar, Enrico Fermi'ye saygı ifadesi olarak bu adı almışlardır.

Bozonlara bir örnek olarak, sizi dış uzaya fırlamaktan alıkoyan yerçekimini düşününüz. Ya da ışığın kendisini aklınıza getiriniz. Bozonlar olmasaydı evren karanlık olurdu ve yıldızları bir arada tutacak bir kütleçekimi olmazdı. Bozonlar tamsayı dönüşe sahiptirler: 0, 1, 2, v.b. Bozonlar, adlarını Hintli fizikçi Satyendra Bose'dan almaktadırlar.

Fermiyon	**Dönüş:**	**Bozon:**	**Dönüş:**
Elektron	½	Foton	1
Nötron	½	Graviton	2
Proton	½	W parçacığı	1
Nötrino	½	Pi mezon	0
Kuark	½		

Bir parçacığın dönüşü, Planck katsayısının 2π sayısına bölünmesi ile elde edilen son derece küçük bir sayı olarak ölçülür ve ifade edilir. Örneğin elektron $\frac{1}{2} \times h/2\pi$ dönüşe, foton ise $1 \times h/2\pi$ dönüşe sahiptir.

Bugün Nambu'nun Veneziano-Suzuki Beta fonksiyonunun kaynağını açıklayan sicim kuramının yalnızca bir bozon sicimi olduğunu anlamaktayız. Neveu, Schwarz ve Ramond, bozon sicimine eşlik edecek bir *fermiyon* sicimi icat ederek kuramı tamamladılar. Neveu-Schwarz-Ramond kuramı, (küçük bir değişiklikle) günümüzün süper sicim kuramı oldu.[3]

Neveu, Schwarz ve Ramond'un bu teorileri, Veneziano ile Suzuki'ye ait eski S matrisinden dahi daha iyi özelliklere sahip olan yeni bir S matrisi öngörmekte ise de, bu yeni özelliklerin kökeni pek açık değildi. Ne zaman böyle harikulade "tesadüf-

ler" ortaya çıksa, fizikçiler onun altında gizli bir simetri bulunduğundan şüphe ederler.

1971 yılında New York Şehir Koleji'nden Bunji Sakita ve Paris Ecole Normale'den Jean Loup Gervais, bu bulmacaya kısmen bir cevap buldular. Gerçekten de, Neveu, Schwarz ve Ramond kuramının bu şaşırtıcı özellikleri gizli bir simetri nedeniyle sergilediğini gösterdiler. Öncü niteliği taşıyan bu keşifler, süper simetrinin başlangıcı oldu. (Süper simetri, iki Sovyet fizikçi, Yu. A. Gol'fand ve E.P. Likhtman tarafından aynı anda öne sürülmüş, fakat onların çalışmalarının kıymeti o sıralarda Batıda dikkate alınmamıştı.)

Gervais ve Sakita'nın keşfettiği süper simetri, o zamana kadar bulunan en alışılmamış simetriydi. Bozon türü bir nesneyi fermiyon türü bir nesnenin içine döndürebilecek bir simetri, ilk kez yaratılıyordu. Sonuç olarak bu, evrendeki bütün bozon parçacıklarının fermiyon türü bir eşe sahip olduğu anlamına gelmekteydi. (Bununla beraber, bunların simetrisi henüz tamamlanmamıştı, çünkü yalnızca iki boyutlu bir simetriydi.)

Bu yeni süper sicim kuramı ve fermiyonlarla bozonlar arasında alışveriş sağlayan tamamen yeni bir simetrinin keşfi, muazzam bir heyecan yarattı. Ancak bu kuram, 1970'lerin ortalarında alt üst oldu.

En Şiddetli Eleştirmen

Daha önce bahsedildiği gibi, Nambu'nun bozon siciminin yalnızca yirmi altı boyutta var olduğunun ve Neveu, Schwarz ve Ramond'un süper siciminin yalnızca on boyutta var olduğunun keşfi, modelin 1970'lerin ortalarında ölümüne yol açmıştı. Görünüşe göre, sicim konusundaki araştırmaları destekleyenler yalnızca Schwarz ve onun çalışma arkadaşı Michael Green idi. Sanki hiç kimse, on boyutlu uzay-zamanda araştırma yapmak istemiyordu.

Bununla beraber Schwarz, zorlukların üstesinden gelinebileceğine inanmaktaydı. O verimsiz yıllarda Richard Feynman ile

yaptığı bir konuşmayı anımsamaktadır. Feynman, herhangi bir kuram öngördüğümüz zaman kendimizin en insafsız eleştirmeni olmamız gerektiğini söylemişti. Hiç şüphe yok ki, demektedir Schwarz, Feynman bunu iyilik olsun diye, üretken yıllarını bir çıkmaz sokağa benzeyen sicim kuramı üzerinde harcamaktan onu alıkoymak amacıyla söylemişti. Oysa bu, Schwarz üzerinde tam tersi bir etki yaptı. "Feynman farkında değildi, fakat sicimler konusundaki çalışmalarımda son derece eleştirel olmaya çalışmama karşın yanlış olan hiç bir şey bulamıyordum!"

Kuramın gelişmesi, o yıllarda Joel Scherk'in beklenmeyen ölümü nedeniyle başka bir aksama ile karşılaştı. Michio, onun Princeton'dan henüz ayrıldığı, Berkeley'de bir ziyaretçi olduğu 1970 yılında Scherk ile ilk karşılaşmasını hatırlıyor. Birlikte çalışarak, çok döngülü diyagramlardaki eşsiz yapı konusundaki ilk makaleyi yayımlamışlardı. Sherk, o sıralarda San Fransisco'da Haight Ashbury'de ve Berkeley Telegraph Caddesi'nde gelişmekte olan savaş karşıtı kültürü tam anlamıyla benimsemiş, alışılmışın ötesinde fakat nazik bir insandı. Berkeley'den ayrıldıktan sonra tıpkı kendisinden beklendiği şekilde, hiç alışılmamış bir yoldan Fransa'ya dönmüştü. İlk olarak Japonya'ya giderek bir Budist manastırında birkaç hafta geçirdi, rahiplerle beraber çile çekerek meditasyon yaptı. Sonra TransSiberian Demiryolu üzerinden Fransa'ya gitti. Bu dönemde bünyesinde ileri derecede şeker hastalığı ortaya çıktı. Görünüşe göre bu nedenle ve biriken bazı kişisel sorunlar yüzünden 1980 yılında intihar etti.

Süper Kütleçekimin Yükselişi

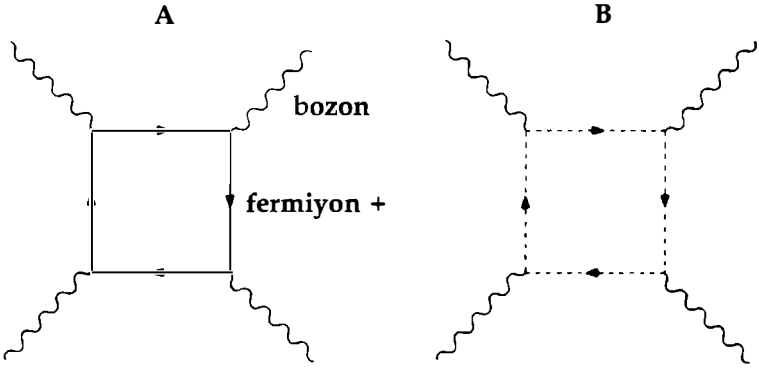
Sicimin hızla gözden düşmesine karşın, başka fizikçiler süper simetriyi olağan nokta parçacıklara ait bir simetri olarak kurtarmaya çalıştılar. Fermiyonları bozonlara, bozonları da fermiyonlara dönüştüren simetri, göz ardı edilemeyecek kadar iyi bir şeydi.

Gervais ve Sakita'nın çalışmalarından esinlenen Bruno Zumino (şimdi Berkeley'de) ve Julius Wess (Almanya'da Karlsru-

he Üniversitesinden), 1974 yılında bu yeni simetrinin sicimden nasıl çıkartılabileceğini ve dört boyut içerisinde tanımlanan basit bir nokta parçacık kuramına (geleneksel bir kuantum alan kuramı) nasıl indirgenebileceğini gösterdiler. Alan kuramlarının en basit olanlarından birini (½ dönüşlü bir fermiyonla etkileşime giren 0 dönüşlü bir bozon) aldılar ve onun süper simetrik hale getirilebileceğini kanıtladılar. Daha da önemlisi, nokta parçacıklara ait kuantum alan kuramlarında bulunan pek çok istenmeyen ıraksaklıkların süper simetri tarafından yok edildiğini basit ve temiz bir şekilde gösterdiler. Tıpkı Yang–Mills kuramındaki SU(N) simetrisinin W parçacığı kuramındaki bütün ıraksaklıkları yok etmesi gibi, süper simetri de nokta parçacığı kuramındaki pek çok ıraksaklığı (fakat hepsini değil) yok etmekteydi.

Bir sonraki sayfadaki şeklin sol tarafındaki Feynman diyagramında iç döngüde dolaşan bir fermiyon bulunduğu için şekil, ıraksaktır. Wess ve Zumino, bu ıraksaklığın, iç döngüde bir bozonun dolaşmakta olduğu sağ taraftaki diyagramda görülen ıraksaklığı ortadan kaldırmak için kullanılabileceğini şaşkınlıkla keşfettiler. Başka bir deyişle, soldaki döngünün ıraksaklığı, sağdaki döngünün ıraksaklığını güzel bir şekilde götürmekte, geride sonlu bir sonuç bırakmaktadır. Burada simetrinin bir ıraksaklığı ortadan kaldırmak için sahip olduğu gücü görmekteyiz.

Simetri, benzer şekilde fiziğin dışında kalan alanlardaki problemlerin çözümü için de kullanılabilir. Örnek olarak diyelim ki bir terzi, bir gelinlik dikmiş olsun. Düğünden hemen önce terzi, gelinliğin bir tarafının hafifçe uzun olduğunu fark eder. Önünde iki seçenek vardır. Giysinin bütün kalıplarını masaya serebilir, uzunlukları farklı olan parçaları zahmetli bir şekilde orijinalleriyle karşılaştırabilir ve fazla olan kısmı dikkatli bir şekilde kesebilir. Veya, simetrinin gücünden yararlanarak gelinliği basit bir şekilde ortadan katlayabilir, iki kenarı üst üste getirerek fazlalığı kesebilir. Simetri, sağ ve sol yarıların ıraksaklığını ortadan kaldırmak ve istenmeyen fazlalığı izole etmek için kullanılabilir.



Şekil A'da içteki düz çizgi bir fermiyonu göstermektedir. Şekil A'nın ıraksaklığı, bir bozonu (dalgalı çizgi) gösteren şekil B'nin ıraksaklığını götürmektedir. Böylece, iki şeklin toplamı, sonlu olmaktadır.

Süper simetri, ıraksak Feynman diyagramlarının iki yanını aynı şekilde, birbirlerini mükemmel şekilde yok ederek hiç bir fazlalık kalmayacak biçimde üst üste getirmemize olanak sağlar.

Süper simetrinin nokta parçacık kuramlarına uyarlanması kolay olduğu için, Stony Brook'taki New York Eyalet Üniversitesinde çalışan üç fizikçi, 1976 yılında Einstein'ın eski kütleçekimi kuramını kurcaladılar. Wess ve Zumino'nun başarılarını geliştirerek, gravitona fermiyon türü bir eş ilave etmeyi başardılar ve "süper kütleçekimi" diye adlandırdıkları yeni bir kuram yarattılar.

Süper kütleçekimi, süper sicimin yalnızca küçük bir parçası (sicimin uzunluğunun sıfır olduğunu, yani bir nokta olduğunu kabul ettiğimiz zaman ortaya çıkar) olmakla beraber, kendi çapında ilgi çekicidir. Bir anlamda Einstein'ın kütleçekimi kuramı ile süper sicim arasında bir istasyonu temsil eder.

Kütleçekimi, iki birimlik dönüşe sahip olduğu için, yarım tamsayı, ³⁄₂ dönüşe sahip bir eşi mevcut olması gerekir, fizikçiler de buna "gravitino" (küçük kütleçekimi) adını verirler.

Süper kütleçekimi Einstein'ın denklemlerine altmış yıldır yapılan anlaşılması zor eklentilerin en basiti olduğu için, ortaya

atıldığı ilk günlerde epeyce büyük bir gürültü koparttı. Hatta bir dergi, bu varsayımın sahibi Peter van Nieuwenhuizen ve Dan Friedman'ı sanki kütleçekimi yasalarına karşı geliyorlar ve bir tür anti kütleçekimi yaratıyorlarmış gibi sıçrarken gösteren acayip bir resmini dahi yayımlamıştı.[6]

Süper kütleçekimi başlangıçta büyük beklentilerin doğmasına yol açmış olsa da, kuram doğanın kuvvetlerini birleştirme konusunda açıkça belli birtakım sorunlar sergilemekteydi. Bir kere bu kuram, bilinen bütün parçacıkları kapsayamayacak kadar küçüktü. Bilinen bütün parçacıkları kapsayabilecek en küçük Lie grubu, SU(5)'tir. Ne var ki, süper kütleçekiminin içine sığabilecek en büyük Lie grubu O(8)'dir, bu da gerçek bir GUT kuramındaki bütün kuarkları ve leptonları içeremeyecek kadar küçüktür. En büyük süper kütleçekimi, hem kuarkları ve hem de leptonları aynı anda kapsayamaz.

Özet olarak, süper kütleçekimi kuramı çok çekici olmakla beraber, sahip olduğu simetri ıraksaklıklarını ortadan kaldırmak veya hem kuarkları, hem de leptonları kapsamak için yeterince büyük değildi.

Princeton Yaylı Sazlar Dörtlüsü*

1970'lerin sonuna doğru fizikçiler, süper kütleçekiminin süper sicim kuramının küçük bir parçası olduğunu fark ettiler. Örneğin eğer en küçük kapalı süper sicimi kullanırsak, süper sicim kuramından süper kütleçekimi kuramı çıkıyordu. Bununla beraber süper sicim kuramının gerçekçi olamayacak kadar matematiksel olduğu düşünülmekteydi.

1984 yılında Green ve Schwarz tarafından kuramda hiç bir anomali bulunmadığı keşfedilince, süper sicimlere karşı duyulan ilgide bir patlama meydana geldi. Dünyanın her yanındaki fizikçilerin büyük bir çoğunluğu tarafından ölü kabul edilen sü-

* Burada sicim ve yaylı sazlar kelimelerinin İngilizce karşılığının aynı olması nedeniyle bir kelime oyunu yapılmıştır. (Ç.N.)

per sicim kuramı, o zamana kadar inşa edilmiş en güçlü kuantum alan kuramı olarak çok hızlı bir şekilde yaşama geri döndü.

Kütleçekimindeki ıraksaklıkların tümüyle ortadan kaldırılabilmesi için muazzam bir simetri grubuna gerek duyulacağı artık açıkça görülmeye başlamıştı ve süper sicim kuramı, fizikçilerin gördüğü en büyük simetri kümesine sahipti.

Princeton'dan dört fizikçi (David Gross, Jeffrey Harvey, Emil Martinec ve Ryan Rohm) Green-Schwarz süper siciminden daha iyi özellikler taşıyan, E(8) × E(8) simetri grubuna sahip olan yeni bir süper sicim keşfettiler. "Princeton Yaylı Sazlar Dörtlüsü" olarak adlandırılan Princeton grubu, E(8) × E(8) siciminin daha önceki bütün GUT kuramlarıyla uyumlu olduğunu, dolayısıyla bilinen bütün deneylerle tutarlı olduğunu gösterdi. Tek başına E(8) dahi SU(5)'ten çok daha büyüktür, bu nedenle kuram yalnızca bilinen bütün GUT türü kuramları yutmakla kalmaz, ayrıca şimdiye kadar hiç görülmemiş binlerce yeni parçacığı da öngörür. Princeton süper sicimi, hâlihazırda evrenin kuramı olmak için en önde gelen adaydır.

Süper Sayılar

Süper sicim kuramı, belki de şimdiye kadar önerilmiş en çılgınca kuramdır ve onun altında yatan, adına süper simetri denilen simetri de aynı derecede gariptir.

Süper simetrinin doğada hiç bulunmaması, biraz komiktir. Şimdiye kadar yalnızca kâğıt üzerinde var olmuştur, fakat o denli güzel ve ikna edici bir kuramsal araçtır ki, fizikçilerin çoğu süper simetrinin eninde sonunda keşfedileceğine muhakkak gözü ile bakmaktadırlar.

Fakat, madem süper simetri bu kadar güzel bir simetridir, neden yıllar önce keşfedilmemiştir? Bunun insan topluluklarının başlangıcına ve parmaklarımızı kullanarak nasıl saydığımıza kadar uzanan basit, fakat derin bir nedeni vardır.

İnsanların binlerce yıl önce saymaya başlayışından bu yana, sayıların gerçek, elle tutulabilen şeylere karşılık geldiğini var-

saymaktayız. Biliriz ki, sayılar birbiri ile toplanabilir; 5 koyuna 2 koyun eklenince 7 koyun eder. Toplum giderek karmaşıklaştıkça, giderek daha büyük sayıları birbiri ile toplamak ve birbirinden çıkartmak için kurallar icat edilmesi gerekti. Romalılar, vergileri toplamak ve diğer ülkelerle ticaret yapmak için gelişmiş toplama ve bölme yöntemlerine gerek duyuyorlardı. Bu şekilde, aritmetiğin en eski kuralları, takas edilebilen veya satılabilen malları saymak için bir yöntem olarak geliştirildi.

Eski insanlar, sayıların herhangi bir sırada toplanıp çarpılabileceğini buldular. Örneğin biliriz ki $2 \times 3 = 3 \times 2 = 6$ eder. Bu ilişkilerin doğru olduğunu biliriz, çünkü nesneleri parmaklarımızı kullanarak sayabilir ve sonucun doğru olduğunu gösterebiliriz. Fakat, sayılar arasındaki bu ilişkilerin genelleştirilmesi, neden birleşik alan kuramı için de geçerli olsun?

Süper simetrinin bu kadar uzun yıllar boyunca keşfedilmemesinin nedenlerinden biri, bu "sağduyu" kurallarına uymayan yeni bir dizi yaratmak zorunda oluşumuzdur. Özellikle, diyelim ki Grassmann sayıları adını vereceğimiz yepyeni bir sayı sistemi icat etmek istiyoruz. Eksi işareti, yeterince masum görünüşlü olmasına karşın, kuramsal fizikte kullanıldığı zaman çok geniş anlamlar taşır.

Bu, örneğin $a \times a = -a \times a$ olacağı anlamına gelmektedir. Bu noktada itiraz edebilirsiniz, çünkü bu da $a \times a = 0$ anlamına gelir. Normal koşullar altında bunun $a = 0$ olduğu durumda mümkün olacağı söylenebilirdi. Ancak, Grassmann sayıları için bu böyle değildir.

Bu şekilde, $a \times b = -b \times a$ olan anlamlı bir "aritmetik" sistemi kurulabilir. Sistemin matematiksel olarak kendi içinde tutarlı olduğu ve tümüyle tatminkâr bir aritmetik sistemi olduğu gösterilebilir. Bu garip sayı sistemi, son on bin yıldır kullanılmakta olan aritmetiğin derinlerine inmemizi gerektirecektir.

Süper simetri, birleşik alan kuramının tarihindeki diğer bütün gelişmeler gibi, kendine özgü, özel bir birleştirme yaratır: Gerçek bir sayı kavramı ile bir Grassmann sayısını birleştirir ve ortaya bir "süper sayı" çıkmasına neden olur.

Özetlenecek olursa, süper simetrinin daha önce keşfedilmemiş olmasının nedeni, kısmen doğayı keşfetmek için Grassmann sayılarının kullanılmasına karşı fizikçiler arasında mevcut bir önyargıdır. Aslında, olası bütün grupları kataloglad ığını zanneden Norveçli büyük matematikçi Sophus Lie, Grassmann sayılarına dayanan süper simetrik grupları gözden kaçırmıştır.

Doğal olarak insan, bu soyut yapıların fiziksel içerikten yoksun olduğunu söyleyerek itiraz etme eğilimi taşıyabilir. Bununla beraber, Grassmann sayıları son derece pratiktir. Grassmann sayıları fermiyonları tarif ettiği için, insan vücudu yalnızca Grassmann sayıları tarafından tarif edilebilecek parçacıklardan meydana gelmektedir.

Zamanın Başlangıcında Süper Simetri

Ne yazık ki, süper simetrinin varlığına yönelik hiç bir deneysel kanıt mevcut değildir. Süper simetri eğer bizim enerji ölçeğimizde fiziksel bir simetri olarak mevcut ise, o zaman ½ dönüşlü elektronun 0 dönüşlü bir mezon partneri olması gerekir. Oysa bu, deneysel olarak doğrulanmamıştır. Süper simetriye beklendiği şekilde sıklıkla "sorun bekleyen bir çözüm" adı verilir, çünkü doğa, güzelliğine ve şıklığına karşın makinelerimizin enerji sınırları dahilinde onu göz ardı edermiş gibi görünmektedir.

Bununla beraber, süper simetri taraftarlarının cesareti kırılmış değildir. Onların yürüttüğü mantığa göre düşük enerji düzeylerinde süper simetri henüz bulunamamışsa, daha büyük atom parçalayıcıları inşa etmemiz ve protonun daha derinlerine dalmamız gerekmektedir. Onlara göre sorun süper simetrinin yokluğu değil, daha büyük enerji ölçeklerinde araştırma yapabilecek kadar güçlü makinelerin bulunmamasıdır.

ABD hükümeti, atom altı dünyasının diğer gizemlerinin yanı sıra süper simetriyi de keşfetmek için kuramsal bilimler tarihin en büyük makinesini -süper iletken süper çarpıştırıcı (SSC)- inşa etmeyi planlamış, fakat bu proje, Kongre tarafından 1993 yı-

lında iptal edilmişti. Bununla beraber SSC, muazzam ölçeği nedeniyle hâlâ üzerinde konuşulmayı hak etmektedir.

Antaeus

SSC korku uyandırıcı bir proje olmasına -piramitlerin inşası ile kıyaslanmaktaydı- karşın, parçacık fiziği mütevazı kökenlere sahipti.

1920'lerde fizikçiler, elemanter parçacık fiziğini araştırmak için atom parçalayıcıların günümüzdeki maliyetinin yüzde birinin kesri kadar maliyete sahip aygıtlar kullanarak kozmik ışınları (dış uzaydan gelen, kökeni hâlâ pek iyi anlaşılmış olmayan ışınım) inceliyorlardı.

Tarihsel olarak kozmik ışın deneyleri, büyük balonlara bağlı fotoğrafik plakaları yukarı göndererek yapılmaktaydı. Balonları atmosferin üst katmanlarına göndermek, onları geri toplamak, filmleri banyo etmek ve sonra da yüksek enerjili kozmik ışınlar tarafından bırakılmış olabilecek izleri görebilmek için plakaları aylarca izlemek, zahmetli bir süreçti. Bu süreç, deneysel fizik açısından çeşitlilik arz eden yavaş bir yaklaşımdı, çünkü fizikçiler ne bulacaklarını önceden bilmiyorlardı. (Örneğin Yukawa'nın güçlü kuvvetle ilgili olan pi mezonu, ilk olarak kozmik ışınların bıraktığı izlere bakılarak, aylar süren dikkatli bir çalışma ile keşfedilmişti.)

Üstelik, rastgele kozmik ışınların izlerinin çözümlenmesi, sıkıcı bir işti. Bu kozmik ışınların enerjileri öngörülemiyordu ve öngörülemeyen enerji düzeyindeki kozmik ışınlarla denetlenebilir deneyler yapmak olanaksızdı.

Bunların hepsi, Berkeley'deki California Üniversitesinden Ernest Lawrence tarafından 1930 yılında ilk atom parçalayıcının yapılması ile değişti. Bu makine yalnızca birkaç santim uzunluktaydı ve zayıf bir enerji huzmesi üretiyordu, fakat kozmik ışınlara benzeyen ısmarlama ışınları laboratuarda yaratabiliyordu.

Bu evrimi, yüz binlerce yıl ormanlarda yiyecek arayarak geçen insan evrimi ile kıyaslamak mümkündür. Atalarımız, ne

cins meyve veya av bulacaklarını asla önceden bilmiyorlardı. Bu eziyetli, rastgele bir süreçti. Biz tarım kurallarını öğrenip tahıl hasadı yapmaya, küçük ve büyükbaş hayvan yetiştirmeye başladığımız, dolayısıyla besin kaynaklarını kaderin insafından kurtararak kontrollü koşullar altında aldığımız zaman, büyük devrim gerçekleşti.

1980'ler boyunca Enerji bakanlığı, 11 milyar dolardan fazla bir maliyete sahip olacak üç bin bilim insanı ile mühendisten oluşan bir kadro gerektirecek gibi görünen SSC için verilen teklifleri değerlendirdi.

Amaç, fizikçilerin dört temel kuvvetin başlangıçta tek olup olmadığı sorusuna yanıt aramalarına olanak sağlayacak bir makine yapmaktı. Bunun sonucu olarak SSC, sadece o zamana kadar yapılmış en pahalı değil, fakat aynı zamanda en büyük bilimsel aygıt olacaktı.

SSC'nin manyetik bobinleri, 6,6 tesla şiddetinde, Dünya'nın manyetik alanlarından 130.000 kat güçlü manyetik alanlar üretecekti. Bu kadar güçlü manyetik alanlar, sıcaklığı mutlak sıfıra yakın düzeylere düşürüldüğü zaman metallerin elektriksel direncinin sıfıra düşmesinden yararlanılarak elde edilen ve "süper iletkenlik" adı verilen bir kuantum etkisi sayesinde üretilebilmekteydi. Mıknatıslar mutlak sıfırın 4,35 derece üstünde tutulan sıvı helyum ile soğutulacaktı.

Makinenin kendisi, yerin altında kazılacak yaklaşık 6 metre genişlikte ve 300 kilometre uzunluktaki çember şeklinde dar bir tünelin içine yerleştirilecekti (makinenin yarattığı yoğun radyasyonu emmek için). Bu tünelin içinde, halka boyunca hareket eden parçacıkların yolunu eğebilecek bir dizi güçlü mıknatıs bulunacaktı.

SSC'nin kalbi, çapı 60 santimetreden fazla olmayan ve tünel boyunca uzanan iki ayrı borudan meydana gelecekti. Bu iki borunun içinde iki proton ışını zıt yönlerde hareket edecek ve ışının yolu üzerine yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla muazzam enerjilere hızlandırılacaktı. (Işınlar başlangıçtan sonra on beş dakika içinde hızlanacak ve boru içinde 3 milyon kere dönecek, doruk hıza, yani ışık hızına çok yakın bir hıza erişecekti.)

Bu iki proton ışını zıt yönde dolaşırlarken elektromanyetik kapaklar açılıp iki ışın kafa kafaya çarpışacaklar, Büyük Patlama'dan bu yana görülmemiş yoğunlukta sıcaklıklar ve koşullar yaratacaktı. (Örneğin çarpışma, 40 trilyon elektron voltluk enerji yaratacaktı.)

Kendileri bu tür projeler uygulayacak kadar büyük olmayan Avrupa ülkeleri birleşerek Cenevre yakınlarında CERN'i kurdular, fakat SSC, CERN'de bulunan en büyük makineden altmış kat büyük olacaktı.

Bilim insanları, SSC vasıtasıyla bir dizi yeni kuramsal fikri denemeyi ummaktaydı. Weinberg ve Glashow'un eski elektro-zayıf kuramı, sınanması en kolay olan kuramdı. Bununla beraber, bilim insanları uzun vadede GUT kuramlarını ve belki de süper sicimleri anlamakta yardımcı olacak ipuçları keşfetmeyi ummaktaydılar. Hem GUT ve hem de süper sicim kuramları birleştirmeyi SSC'de bulunacak olanlardan bir katrilyon kez büyük enerjilerde sağlayacağı için, bu iki kuramın yalnızca pırıltısını görmeyi ümit edebilecektik.

Her ne kadar SSC sayesinde bu gezegenin üstündeki ülkelerin atom altı fizik dünyasına dalmak için ödeyebilecekleri bedelin uygulamadaki sınırlarına hızla yaklaşıyor olsak da, karşımıza daima yeni yollar çıkmaktadır.

Örneğin ABD, şimdi uyduların üzerinde uzak galaksilere göz atarak kara delikler ve Büyük Patlama kalıntıları arayacak olan yörünge laboratuarları fırlatmaktadır. Aslında, verilerimizi toplamak için "laboratuar" olarak yaratılışın yankılarını kullanmak zorunda kalmamız da mümkündür.

Deneysel verileri kuramla ilişkilendirme süreci her kuram için, özellikle bütün kuvvetleri birleştirme iddiasında bulunan bir kuram için büyük bir önem taşır. Fizikçi Maurice Goldhaber'in Yunan mitolojisinden ödünç alarak belirttiği gibi, "Antaeus, yaşayan en güçlü insandı, annesi olan toprakla temas halinde olduğu sürece yenilmezdi. Toprakla temasını kaybedince zayıfladı ve yenildi. Fizik kuramları da bunun gibidir. Güçlü olmak için yere değmeleri gerekir."[8]

Eleştirilere Yanıt

Julian Schwinger'in GUT kuramına ilişkin yorum yaparken söylediği gibi, "Birleştirme, bilimin nihai amacıdır, bu doğru. Fakat bu, şimdi birleştirme şekline dönüşürse - işte bu, aşırı kibir anlamına gelir. Henüz erişemediğimiz dünya kadar enerji var."[9]

Schwinger her ne kadar bunu GUT kuramını eleştirmek amacıyla söylemiş olsa da, aynı görüş süper sicim kuramı için de aynı mükemmellikle uyarlanabilir. Kuram şimdi evrenin yasalarını tarif eden kapsamlı bir çerçeve elde etmek konusunda tek ümit olma özelliği taşısa da, süper sicimleri eleştirenlerin bazıları belki SSC'nin dahi 10^{19} milyar elektron voltluk Planck ölçeğinde fiziğin sonuçlarını tam olarak test etmek için yeterince büyük olmayabileceğine işaret etmektedirler.

Buna karşın Schwarz, yılmadan devam etmektedir. "Elbette bu yalnızca 10^{19} milyar elektron volt düzeyi için bir fizik kuramı değildir, fakat eğer doğruysa, her ölçekteki fizik için geçerli bir kuramdır. Düşük enerji sonuçlarını elde etmek için kendi matematiksel araçlarımızı geliştirmek zorundayız."[10]

Başka bir deyişle, sorun bizim büyük makineler inşa etmeyi başaramamamızdan değil, on boyutlu bir evrenin nasıl olup da dört boyuta düştüğüne dair matematiksel anlayışımızın bu noktada çok ilkel olmasından ileri gelmektedir. Dolayısıyla bir sonraki adımımız, en büyük "laboratuarı", zamanın başlangıcındaki evreni inceleyerek süper simetriyi araştırmak olacaktır.

Bölüm III

Dördüncü Boyutun Ötesinde

9
Büyük Patlamadan Önce

ZAMANIN BAŞLANGICI konusunda her toplumun kendi mitolojisi vardır. Bu efsanelerin çoğu evrenin hummalı başlangıcına, yeni yaratılan Dünya'nın kaderini çizmek için tanrıların gök kubbede birbiriyle savaştığı zamanlara atıfta bulunur. Evrenin başlangıcını ve ölümünü konu alan eski Norveç efsaneleri devler, tanrılar ve cüceler arasında yapılan ve tanrıların ölümünü anlatan Ragnarok destanına kadar uzanan muazzam savaşlarla doludur.

Artık bilim insanları yaratılış hakkında ilk kez mitolojiye değil de fiziğe dayanan mantıklı beyanlarda bulunabilmektedir. Kozmolojinin (evrenin başlangıcı ve yapısını inceleyen bilim dalı) özellikle heyecan uyandıran yanı, kuantum mekaniği ile görelilik arasında meydana gelen, Einstein'ın hayal dahi etmediği şaşırtıcı yeni bakış açıları yaratan etkileşimdir. Fakat süper sicim kuramının belki de en görkemli sonucu, Büyük Patlamadan önce, zamanın başlangıcı sırasında neler olduğu hakkında gerçekçi açıklamalar yapabiliyor olmasıdır. Aslında süper sicim kura-

mı Büyük Patlamaya çok daha şiddetli bir patlamanın, on boyutlu evrenin dört boyutlu bir evrene dönüşmesinin yan ürünü gözü ile bakmaktadır.

Büyük Patlama

Büyük Patlama kuramının kökeni, Einstein'ın 1917 yılında yaptığı ve sonradan yaşamının "en büyük gafı" olarak adlandırdığı bir hataya kadar izlenebilir.

Einstein, ünlü genel görelilik kuramını yazdıktan iki yıl sonra, 1917 yılında, çok rahatsız edici bir sonuçla karşılaştı. Kendi denklemlerini her çözdüğünde evrenin genişlemekte olduğunu buluyordu. O dönemde evrenin ebedi ve durağan olduğu, "herkesçe bilinen" bir şeydi. Bizim Samanyolu'muzun ötesinde galaksilerin var olabileceği fikri dahi, bilimkurgunun eşiğinde dolaşan bir sapkınlık olarak kabul edilmekteydi. Einstein, denklemlerinin sağduyuya saldırıda bulunduğunu görerek üzüldü. Denklemlerinde bir hata mı vardı?

Genişleyen bir evren düşüncesini o denli yabancı buldu ki, denklemlerinin henüz tamamlanmamış olduğu sonucuna varmak zorunda kaldı. Einstein daha sonra evrenin genişleme eğilimini dengelemek üzere denklemlerine bir "düzeltme payı" ekledi. Üç yüz yıllık Newton fiziğini alt üst eden büyük devrimci Einstein dahi, kendi denklemlerine inanamamış ve "hile yapmak" zorunda kalmıştı.

1922 yılında Sovyet fizikçi Alexander Friedman, Einstein'ın denklemleri için bize genişleyen evrenin en şık tanımını veren belki de en basit çözümü buldu. Bununla beraber, tıpkı Einstein'ın çözümlerine olduğu gibi, hiç kimse onun fikirlerini ciddiye almadı, çünkü bu fikirler zamanın geçerli olan bilgileri ile çelişiyordu.

Nihayet, 1929 yılında Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble, Wilson Dağı'ndaki iki buçuk metrelik teleskopla yıllarca çalıştıktan sonra, dramatik bulgularını duyurdu: Samanyolu'nun çok ötesindeki uzayda milyonlarca galaksinin var olmasının ya-

nı sıra, bunların hepsi de inanılmaz hızlarla Dünya'dan uzaklaşmaktaydı. Einstein ve Friedman, başından beri haklıydılar!

İki yıl sonra, 1931 yılında, Einstein bu "düzeltme payını" bir kenara attı ve on dört yıl önce terk etmiş olduğu eski genişleyen evren kuramını tekrar ortaya attı.

Hubble, bir galaksi Dünya'dan ne kadar uzaktaysa, Dünya'dan o kadar büyük bir hızla uzaklaşmakta olduğunu buldu. Bilim insanları, bu galaksilerin muazzam hızlarını ölçmek için Doppler etkisinden yararlanır. (Doppler etkisi uyarınca, size doğru gelmekte olan bir nesneden yayılan ışık veya ses dalgaları, uzaklaşmakta olan bir nesneden yayılan ışık ve ses dalgalarından daha yüksek frekansa sahiptirler. Size yaklaşmakta olan bir trenin sesinin tren sizi geçip uzaklaşmaya başladığı zaman bu kadar dramatik bir şekilde düşmesinin nedeni, budur.)

Hubble, uzaktaki yıldızlardan gelen ışıkta bu Doppler etkisi ile karşılaşıldığını, yıldız ışığında bir "kırmızıya kayma" meydana geldiğini doğruladı. (Eğer yıldızlar Dünya'ya doğru gelmekte olsaydı ortaya deneysel olarak görülmeyen bir "maviye kayma" çıkardı.)

Genişleyen evren, sıklıkla şişirilmekte olan bir balona benzetilir. Balonun yüzeyine plastik noktacıklar yapıştırıldığını düşünün. Balon şişirildikçe noktalar (galaksiler) birbirinden uzaklaşacaktır. Biz, balonun yüzeyinde yaşamaktayız, bu nedenle bütün yıldızlar bizden uzaklaşıyormuş gibi görünmektedir.

Genişleyen evren, gökbilimcilerin yıllardır kafasını karıştıran bir ikilemi de açıklamaktadır. Geceleri gökyüzü neden karanlıktır? 1826 yılında Heinrich Olbers, bir makalesinde eğer sonsuz sayıda yıldız varsa, onlardan gelen ışığın geceleri gökyüzünü doldurması gerektiğini savunmuştu. Geceleri gökyüzünde nereye bakarsak bakalım, parlak ışıklar nedeniyle gözlerimizin kamaşması gerekirdi. Fakat genişleyen bir evrende kırmızıya kayma nedeniyle enerji kaybı olmaktadır ve yıldızların belirli bir ömrü vardır, bu nedenle geceleri karanlıktır.

Bu "genişleyen evren" modeli deneysel olarak doğrulanmış olmasına karşın, Einstein'ın kuramı Büyük Patlama'nın nasıl meydana geldiği ve ondan önce ne olduğuna dair hemen hemen

hiç bir şey söylememektedir. Bu soruların yanıtını aramak için, GUT kuramlarına ve süper sicimlere başvurmak zorundayız.

GUT Evreninin İlk Günleri

Bir sicim kuramcısı açısından kozmoloji alanında çalışmanın amaçlarından birisi, kuantum simetrisi kırılmasını evrenin ilk aşamaları için bir sorgulama olarak kullanmaktır. Günümüzdeki evren, dört kuvvetin dördünün de birbirinden tamamen farklı görünmesi nedeniyle fena halde asimetriktir, fakat artık biliyoruz ki bunun nedeni, evrenimizin bu kadar yaşlı olmasıdır.

Zamanın başlangıcında, sıcaklıklar inanılmaz derecede yüksek iken, evrenimizin mükemmel bir simetriye sahip olması gerekir. Bütün kuvvetler, tek bir tutarlı kuvvet halinde birleşmişti. Ancak, evren patladığı ve hızla soğuduğu zaman dört kuvvet teker teker birbirinden ayrıldı, ta ki birbirleri ile hiç bir benzerlikleri kalmayıncaya kadar - günümüzde olduğu gibi.

Bunun anlamı, simetrinin ne şekilde bozulmuş olabileceğine dair görüşlerimizi sınamak amacıyla Büyük Patlama olayını bir laboratuar olarak kullanabilecek olduğumuzdur. Örneğin, zaman içerisinde geriye doğru giderken bir yerlerde GUT simetrisinin bozulmamış olduğu sıcaklıklara ulaşırız. Bu da, evrenin en şaşırtıcı gizemlerinden birini açıklama olanağını bize verir: Doğuşu sırasında neler oldu?

Örneğin biliyoruz ki zamanın başlangıcında kütleçekimi, elektro-zayıf kuvvet ve güçlü kuvvet, muhtemelen tek bir kuvvetin parçalarıydı.

Evren belki de 10^{-43} saniye yaşında ve yalnızca 10^{-33} santimetre çapındayken, madde ve enerji muhtemelen parçalanmamış süper sicimlerden meydana gelmekteydi. Süper sicim tarafından tanımlandığı şekliyle kuantum kütleçekimi, evrende egemen olan kuvvetti. Ne yazık ki, orada olaya tanık olacak hiç kimse yoktu, çünkü o sırada evren bir protonun içine kolaylıkla sığabilecek durumdaydı.

Fakat, 10^{32} Kelvin (Güneş'imizde bulunan sıcaklıklardan bin trilyon trilyon kez daha sıcak) sıcaklıkta kütleçekimi, diğer GUT

kuvvetlerinden ayrıldı. Kuvvetler, tıpkı bir buhar bulutu içerisinde yoğuşan su damlacıkları gibi, birbirlerinden ayrılmaya başladılar.

O sırada evrenin büyüklüğü, her 10^{-35} saniyede bir, ikiye katlanmaktaydı. Soğuma sürdükçe güçlü kuvvet elektro-zayıf kuvvetten sıyrılmaya, GUT kuvveti parçalanmaya başladı. Evren yaklaşık olarak bir bowling topu büyüklüğündeydi, fakat hızla genişlemekteydi.

Yaratılışın üzerinden 10^{-9} saniye geçip evrenin sıcaklığı 10^{15} derece Kelvin düzeyine ulaştığı zaman, elektro-zayıf kuvvet parçalanarak elektromanyetik kuvvete ve zayıf kuvvete ayrıştı.

Bu sıcaklıkta dört kuvvetin dördü de birbirinden ayrılmıştı ve evren, serbest kuarklar, leptonlar ve fotonlardan meydana gelen bir "çorba" halindeydi.

Biraz sonra, evren biraz daha soğuyunca, kuarklar birleşerek protonları ve nötronları meydana getirdiler. Yang-Mills alanları yoğuşarak kuarkları hadronlar halinde birbirine bağlayan, daha önce anlattığımız o yapışkan "zamkı" oluşturdular. Son olarak, kozmik" çorba" içinde bulunan kuarklar yoğuşarak protonları ve nötronları meydana getirdi, onlar da en sonunda çekirdekleri oluşturdular.

Yaratılıştan üç dakika sonra, kalıcı çekirdekler oluşmaya başladı.

Büyük Patlamadan üç yüz bin yıl sonra, ilk atomlar doğdu. Sıcaklıklar 3.000 K düzeyine, hidrojen atomlarının çarpışmalar nedeniyle parçalanmadan kalabildiği bir noktaya düştü. O zaman evren, nihayet şeffaflaştı - ışık, ışık yılları boyunca yutulmadan dolaşabiliyordu. (Ondan önce, uzayın öbür yanını görmek mümkün değildi. Işık yutuluyor, teleskop aracılığı ile uzak mesafelerin gözlemlenmesini olanaksızlaştırıyordu. Her ne kadar biz uzayın karanlık ve şeffaf olduğunu düşünsek de, eskiden uzay tıpkı yoğun bir sis gibi geçirimsizdi.)

Bugün, Büyük Patlamanın ardından 10 ila 20 milyar yıl geçtikten sonra, dört kuvvetin dördü de birbirinden çarpıcı bir biçimde farklılaşmış olarak, evren korkutucu derecede asimetrik ve parçalanmış görünmektedir. Başlangıçtaki ateş topunun sı-

caklığı 3 derece K düzeyine kadar düşmüştür, bu da mutlak sıfıra yakındır.

Dolayısıyla, evrenin soğumasına bağlı olarak kuvvetlerin kendilerini diğerlerinden adım adım ayırma şekline bakılarak, birleşmenin genel planını tanımlamak mümkündür. Önce kütleçekimi ayrılır, sonra güçlü kuvvet, ardından zayıf kuvvet, son olarak da geride elektromanyetik kuvvet parçalanmadan kalır.

Glashow, "madde Büyük Patlamadan 10^{-38} saniye kadar sonra ilk olarak ortaya çıkmıştır ve belki de şu andan 10^{40} saniye sonra hepsi yok olacaktır" derken, GUT kuramcılarının evrenin doğumu ve ölümüne nasıl baktıklarını özetlemiş olmaktadır.

Büyük Patlamanın Yankıları

Biz insanların Dünya'mızı (ve hatta evrenimizi) paramparça edebilecek kadar dehşet verici sıcaklıklar ve olaylar hakkında böylesine üstünkörü bir şekilde konuşmayı başarıyor olmamız, ürkütücü görünebilir. Fizikçi Steven Weinberg, evrenin doğuşu konusunda yazdığı bir yazıda "İlk üç dakika hakkında sanki neden bahsettiğimizi gerçekten biliyormuşuz gibi yazarken bir gerçek dışılık duygusuna kapıldığımı inkâr edemem"[1] diyerek bunu samimiyetle itiraf etmiştir.

Evrenin ilk anları hakkındaki bu ifadeler neresinden bakılırsa bakılsın hâlâ yalnızca kuramlardan ibarettir. Bununla beraber şu da var ki, yaratılışın ayrıntıları ne kadar inanılmaz olursa olsun, böyle bir olayın kuantum kuramının ve görelilik kuramının öngördüğü şekle uygun olarak gerçekleştirildiğini doğrulayan deneysel kanıtlar giderek artmaktadır.

Özellikle Rus fizikçi George Gamow, 1940'lı yıllarda Büyük Patlamanın gerçekten meydana geldiğini deneysel olarak kanıtlamak için bir yöntem mevcut olabileceğini öne sürmüştür. Gamov, Büyük Patlamadan kalan orijinal radyasyonun, aradan geçen 10 ila 20 milyar yıl sonra sıcaklığı epeyce düşmüş olsa da, hâlâ evrende dolaşıyor olması gerektiğini savunmuştur. Öngördüğüne göre, Büyük Patlamanın bu "yankıları" evrenin her ta-

rafına eşit şekilde dağılmış olmalı, bu nedenle nereye bakarsak bakalım aynı olmalıydı. 1948 yılında çalışma arkadaşları Ralph Alpher ve Robert Herman, kozmik ateş topunun sıcaklığının şimdi düşmüş olduğu değeri dahi hesapladılar: 5 derece Kelvin.

Bu yankıya veya orijinal Büyük Patlamanın bıraktığı arka plan radyasyonuna ilişkin Gamow-Alpher-Herman öngörüsü, 1965 yılında göz alıcı bir şekilde doğrulandı. Holmdel, New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuarlarında bilim insanları, Dünya ile iletişim uyduları arasında mesaj alışverişi yapmak üzere dev bir radyo antenini, Holmdel Koni Anteni'ni kurdular. Bilim insanları Arno Penzias ve Robert Wilson, antenin mikrodalga bandında rahatsız edici bir arka plan radyasyonu almakta olduğunu şaşkınlıkla gördüler. Anten nereye yönlendirilirse yönlendirilsin, bu garip radyasyon alınmaktaydı. Bu duruma sinirlenen bilim insanları ellerindeki bütün verileri kontrol edip bütün cihazlarını temizlediler (antendeki güvercin pisliklerini dahi temizlemişlerdi) fakat bu radyasyon çok ısrarcıydı.

Sonunda, Dünya'dan kaynaklanan parazitlerden kurtulmak amacıyla cihazlar jetlere ve balonlara yüklenerek çok yükseklere çıkıldı, fakat bu garip sinyal, daha da güçlendi. Bilim insanları, radyasyonun şiddeti ile frekansı arasındaki ilişkinin grafiğini çizdikleri zaman, sonucun uzun yıllar önce Gamov ve diğerleri tarafından öngörülen eğriye benzediğini gördüler. Ölçülen 3 derecelik sıcaklık, kozmik ateş topu için daha önce yapılmış olan tahmine dikkat çekecek kadar yakındı. Penzias ve Wilson, bu radyasyonun tam olarak daha önce öngörülmüş olan arka plan "yankısı" olduğunu büyük bir zevkle keşfettiler. Bu 3 derecelik radyasyon, evrenin dehşet verici bir patlama ile başlamış olduğunun hâlâ en kesin kanıtıdır. Penzias ve Wilson'a fizik dalında 1978 Nobel Ödülünü kazandıran bu göz kamaştırıcı detektiflik çalışması, Büyük Patlamanın şaşırtıcı bir doğrulamasını oluşturmuştur.

Genel göreliliğin merak uyandırıcı özelliklerini ve evrenin ilk zamanlarını araştırmak için başka bir yol da, muazzam ölü yıldızlar olan kara delikler tarafından uzay-zamanda meydana getirilen çarpıklıkları incelemektir.

Kara Delikler

Bir yıldız, nedir? Basit bir anlatımla bir yıldız, güçlü kuvvette depolanmış enerjiyi salan atomik bir fırındır. Bir yıldız, yakıt olarak hidrojen yakar, "kül" olarak da helyum üretir. Güneş'teki ve diğer yıldızlardaki hidrojenin ve diğer elementlerin yanmasına dair temel denklemler 1939 yılında Hans Bethe tarafından hazırlanmış, kendisine 1967 Nobel Ödülünü kazandırmıştır.

Bir yıldız, kendisini parçalama eğilimi gösteren içsel nükleer ateşler ve ezerek bir nokta haline getirmeye çalışan kütleçekimi kuvveti arasındaki hassas denge nedeniyle kararlı bir nesne olarak vardır. Diğer bir deyişle yıldızlar, patlayıcı olma eğilimi sergileyen güçlü kuvvet ile çöktürücü olan kütleçekimi kuvvetinin yarattığı enerjiler arasında bir denge mevcut olduğu için vardır.

Bununla beraber, yıldızın nükleer yakıtı (hidrojen, helyum ve diğer hafif elementler) milyarlarca yıl boyunca kullanılıp bittiği zaman, bu hassas denge bozulur. Nükleer yakıt tükendiği zaman, kütleçekimi kuvveti galip gelir. Eğer kütleçekimi kuvveti yeterince büyükse yıldız çöker, atomları ezerek yoğun bir nötron topu oluşturur ve "nötron yıldızı" adı verilen ölü bir yıldız yaratır.

Bir nötron yıldızı öylesine yoğundur ki, yıldızın bütün nötronları gerçekten birbirilerine "dokunurlar". Dolayısıyla bir nötron yıldızı, yörüngedeki elektronlarla çekirdek arasında hiç bir boşluğun veya atomun bulunmadığı nükleonik maddeden meydana gelen katı bir kütledir. Bir nötron yıldızı meydana getirmek için gerekli olan sıkıştırmayı hayalinizde canlandırmak için, Güneş'in Dünya'nın kütlesinden çok daha büyük olan bütün kütlesini Manhattan'a sığacak kadar sıkıştırdığınızı düşünmeniz yeterli olacaktır.

Gökbilimciler tarafından pek çok nötron yıldızı bulunmuştur. Çinli gökbilimciler, 1054 yılında göklerde gündüz vakti dahi gözle görülebilen muazzam, gizemli bir patlama gözlemlemişlerdi. Bugün, onun ender görülen bir "süpernova", bütün bir galaksiden daha fazla enerji üreten afet niteliğinde bir yıldız patlaması olduğunu biliyoruz. Bu süpernova Yengeç Nebulasında

meydana gelmişti ve bu patlamanın merkezinde şimdi bir nötron yıldızı bulunmaktadır.

Bununla beraber, eğer başlangıçta yıldız yeterince (belki de bizim Güneş'imizin kütlesinden birkaç kat) büyük olursa, o zaman nötron yıldızı kararsız olur; kütleçekimi kuvveti de o denli büyük olur ki, nötronlar birbirlerinin üzerine bastırılarak sonuçta nötron yıldızını küçücük bir nokta haline gelinceye kadar sıkıştırır. Bu nokta, kara deliktir.

Kara deliğin çekim kuvvetinin mengenesi o denli güçlüdür ki, çekirdekler parçalanır, ışık dahi dışarı çıkamaz, yıldızın çevresinde yörüngeye girmek zorunda kalır. Bunun sonucunda, bu ölü yıldızların ışığı doğrudan görülemez, böylece delikler, tıpkı adları gibi, siyah görünürler. Newton'un bir dağın tepesinden fırlatılan taş parçasının yörüngesini gösteren meşhur çizimini hatırlayalım. Bu durumda o taşın yerine kara bir deliğin etrafında bir yörüngeye hapsolmuş bir ışık demeti çizmemiz gerekecektir.

Alis Harikalar Diyarında hikâyesindeki Cheshire kedisi gibi kara delik de gözden kaybolur, yerinde sadece "gülümsemesi", yoğun çekim kuvvetinin etkisi sonucunda ortaya çıkan uzay-zaman çarpıklığı kalır.

Ayrıca, kara deliğin uzay-zamanda meydana getirdiği aşırı çarpıklık, evrenin ilk anlarını temsil eder. Örneğin siz kara deliğin merkezine yaklaştıkça, zaman yavaşlar. Bunun anlamı, bir kara deliğe düştüğünüz takdirde kendinizi giderek yavaşlıyormuş ve zaman içinde donup kalıyormuş gibi hissedeceğiniz ve ağır çekimde merkeze ulaşmanızın binlerce yıl süreceğidir. Siz merkeze ne kadar yaklaşırsanız, zaman o kadar yavaşlar. Aslına bakılacak olursa, kara deliğin merkezinde zamanın durduğu tahmin edilmektedir. (Gerçekte bunun muhtemelen anlamı, kara deliğin merkezinde genel göreliliğin bozulduğu ve biz genel görelilik için kuantum düzeltmeler hesaplarken süper sicim kuramının devreye girmesinin gerektiğidir.)

Kara delikler, ilk kez J. Robert Oppenheimer ve onun öğrencisi Hartland Snyder tarafından 1939 yılında genel göreliliğin sonucu olarak kuramsal temelde öne sürülmüştür. Oppenhe-

imer'in dahi genel göreliliğin hayal gücünün sınırlarını zorlayan şaşırtıcı sonuçları karşısında şaşırıp kalmış olmasına karşın, 1994 yılının yazında Hubble Uzay Teleskopu M87 galaksisinde (Dünya'dan elli milyon ışık yılı uzakta) bir kara delik bulunduğunu keşfetmiştir. 1995 yılının Ocak ayında bir radyo teleskop dizisi kullanılarak NGC4258 galaksisinde (21 milyon ışık yılı uzakta) ikinci bir kara delik belirlenmiştir.

Bir başka kara delik adayı da, yaklaşık altı bin ışık yılı uzaklıkta muazzam bir X ışını üreteci olan Cygnus X-1 yıldızıdır. Aslına bakılacak olursa, Cygnus X-1 gibi yıldızlardaki muazzam enerji çıkışını açıklamak için kütleçekimsel çöküşten başka bir fiziksel kuvvet hayal etmek kolay değildir. Bizim kendi galaksimizin yoğun radyasyon ve çekim alanlarıyla dolu gizemli bir bölge olan merkezinde muhtemelen çok sayıda kara delik bulunmaktadır. (Gökyüzüne baktığınızda, galaksimizi meydana getiren milyonlarca yıldız geceleri gökyüzünü boydan boya kesen, Samanyolu adı verilen belli belirsiz bir ışık şeridi halinde görünür. Toz bulutları tarafından gözlerden saklanan göz kamaştırıcı merkezi göremeyiz. Bununla beraber, komşu galaksilerin merkezleri, çekilen fotoğraflarda pırıl pırıl görünmektedir.)

Gelecekte bilim insanları bu ölmüş yıldızlara ait verileri genel göreliliğin önemli yönlerini sınamak amacıyla kullanacaklardır. Kuantum mekaniği alanındaki bilgilerimize büyük katkılar yapan fizikçilerden birisi, görelilik alanında bir dev haline gelebilmek için muazzam fiziksel engellere karşı savaşan Stephen Hawking'dir. Ellerinin, bacaklarının ve ağzının kontrolünü yitirmiş olan Hawking, bütün hesaplamaları aklından yapmaktadır.

Stephen Hawking – Kuantum Astronomu

Bazıları, Stephen Hawking'i Einstein'ın halefi olarak kabul ederler. Aslında o, kara deliklerin dinamikleri için düzeltmeler hesaplamak amacıyla kuantum mekaniğini kullanmaya çalışması nedeniyle, bazı yönlerden daha da ileri gitmiştir. Hawking, ku-

antum düzeltmelerinin kara delikler üzerindeki etkilerine bakarak, Einstein'ın asla öngörmediği olayları öngörmüş bulunmaktadır. Kara deliklerin "buharlaşarak" mini kara deliklere dönüşebileceği - yani aslında bir ışık demetinin kütleçekim kuvvetine karşı gelerek yoluna devam edebilmesi ve kara deliğin muazzam çekiminin ötesine "sızabilmesi" için küçük olsa da ölçülebilir bir olasılık bulunduğunu beyan eden Heisenberg Belirsizlik İlkesi uyarınca bir miktar ışığın kara delikteki muazzam çekimden kurtulabileceği kavramını o öne sürmüştür. Kara delikteki bu enerji kaybı, sonunda bir proton kadar küçük olabilecek bir mini kara delik yaratır.

Hawking'in bilime karşı ilgisi, gençliğinde başladı. Londra'da Ulusal Enstitü'de bir tıp araştırmacısı olan babası, onu küçük yaşta biyolojiyle tanıştırmıştı. Hawking, şöyle anlatmaktadır:

> "Daima her şeyin nasıl çalıştığını anlamak istemişimdir... On beş yaş civarındayken, telepatiye karşı son derece büyük bir ilgi duyduğum bir dönemden geçtim. Hatta bir grup olarak zar atma deneyleri dahi yaptık. Sonra, Rhine tarafından Duke Üniversitesinde yapılan bütün meşhur telepati deneyleri üzerinde çalışmış olan birinin verdiği bir dersten haberimiz oldu. Sonuç elde edilen her seferinde deney yöntemlerinde hatalar vardı ve ne zaman deney yöntemleri gerçekten iyi idiyse, sonuç elde edememişlerdi. Böylece bu, beni bunların hepsinin bir hile olduğuna inandırdı."[2]

Hawking, yetenekli olmakla beraber Oxford Üniversitesinde pek umursamaz bir öğrenciydi, daha önceki büyük bilim insanlarını ateşleyen azim ve kararlılığa sahip değildi. Sonra, yaşamını baştan aşağı değiştiren o trajedi meydana geldi. Cambridge'de master öğreniminin ilk yılında dilinin sürçmeye ve kollarıyla bacakları üzerindeki kontrolünü yavaş yavaş kaybetmeye başladığını fark etti. Kendisine, kollarıyla bacaklarındaki kasların acımasızcasına erimesine yol açan tedavisi olanaksız bir has-

talık olan Lou Gehrig hastalığı (amiyotrofik lateral skleroz) teşhisi konmuştu.

Bugün Hawking, kendisine matematik denklemlerini okuma olanağı sağlayan özel bir mekanik sayfa çeviriciye sahiptir. Yardımcılarından birkaç tanesi, onun yavaş, eziyetli mırıltılarını anlamak üzere bir zamanlar özel olarak eğitilmişlerdi, çünkü ağız kaslarının kontrolünü büyük ölçüde kaybetmişti. Her bir kelimeyi söylemek, genellikle onun birkaç saniyesini almaktaydı. Buna karşın, yüzlerce saygın bilim insanının önünde önemli bilimsel konuşmalar yapmıştır. Tamamen engelli olsa da, Cambridge Üniversitesi'nde elektrikli tekerlekli sandalyesinde dolaşmaktadır.

Hawking'in çalışma masası, dünyanın her yanından meslektaşları tarafından gönderilmiş matematik makaleleri ve iyileşmesini dileyenlerden kuş beyinlilere özgü en yeni fikirlerini satmak isteyen çatlaklara kadar herkesten gelen mektuplarla dolup taşmaktadır. Bir gün, bir gazeteciye "Tanınmış olmak, aslında çok can sıkıcı bir şey,"[3] diye ifade etmişti.

Hawking, filozofça bir ifadeyle anlatıyor: "Galiba şu anda başladığımdan daha mutluyum. Hastalanmadan önce yaşamdan çok sıkılıyordum. Galiba epeyce içiyordum; hiç bir iş yapmıyordum. İnsanın beklentileri sıfıra indiği zaman, sahip olduğu her şeyin kıymetini gerçekten anlıyor."[4]

Genel görelilik, bilim insanlarının düzenli olarak yüzlerce sayfayı cebir denklemleriyle doldurduğu bir bilim dalıdır. Bununla beraber Hawking fizikçiler arasında benzersizdir, çünkü bu hesaplamaları akıldan yapmak zorundadır. Her ne kadar belli hesapları yaparken öğrencilerinden biraz yardım alsa da, Hawking (Einstein, Feynman ve diğer büyük bilim insanları gibi) temel fiziksel kavramı ifade eden resimler şeklinde düşünmektedir. Matematik, onun ardından gelir.

Düzlemsellik Bulmacası

Einstein'ın denklemlerinin eski çerçevesi içerisinde doyurucu bir çözüme kavuşturulamayan iki önemli sorun bulunmaktaydı.

Şanslıyız ki, kuantum mekaniğinin uygulanması, bu sorunların ikisine de bir çözüm üretilmesini sağlamaktadır.

Bizi çevreleyen gökyüzüne baktığımız zaman evrenimizin en şaşırtıcı özelliklerinde birisi, bu kadar düz görünmesidir. Bu olağan dışıdır, çünkü Einstein'ın denklemlerine bakarak evrenin artı veya eksi yönde, ölçülebilir bir kavise sahip olmasını bekleriz.

İkincisi, nereye bakarsak bakalım evren, aynı tekdüze galaksi yoğunluğuna sahiptir. Aslında, bir yönde bir milyar ışık yılı uzaklıkta veya başka bir yönde bir milyar ışık yılı uzaklıkta bir galaksiye bakacak olursak, evren bize epeyce aynıymış gibi görünür. Bu garip bir durumdur, çünkü hiç bir şey ışıktan daha hızlı gidemez. Bu iki galaksinin yoğunluğuna ilişkin bilgiler, nasıl olmuştur da bu kadar kısa bir sürede bu kadar uzağa gidebilmiştir? Bize ne kadar yüksek gelirse gelsin ışığın hızı, evrenin bu kadar büyük uzaklıklarda tekdüze bir yoğunluk elde edilmesini açıklayamayacak kadar düşüktür.

Bu iki bulmacanın yanıtı MIT'den Alan Guth tarafından verilmiş ve Pennsylvania Üniversitesinden Paul Steinhardt ile Moskova'dan Rus fizikçi A. Linde tarafından geliştirilmiştir. Onların hesaplarına göre, evren 10^{-35} ila 10^{-33} saniye yaşında iken üstel bir genişleme geçirmiş, çapı inanılmaz bir şekilde 10^{50} kat büyümüştür. Bu "şişme" aşaması, standart Büyük Patlama aşamasından hemen önce ve hatta daha da hızlı bir şekilde meydana gelmiştir.

Evrenimizin bu denli büyük bir genişlemeye maruz kalmış olması, bu iki bulmacayı açıklamaktadır. Her şeyden önce evrenimizin dümdüz görünmesi, yalnızca bir zamanlar tahmin ettiğimizden 10^{50} kat büyük olmasından ileri gelmektedir. Balon şişirme benzetmesini hatırlayın. Eğer balon daha önce olduğundan birkaç trilyon kez daha büyükse, yüzeyi elbette düz görünecektir.

Şişme senaryosu, evrenin tekdüzeliğini de açıklamaktadır. Şişme döneminin başlarından itibaren evrenin görülebilen kısmı evren yüzeyi üzerinde sadece küçücük bir nokta olduğu için, bu küçücük noktamızın tekdüze bir karışıma sahip olması müm-

kündü. Şişme, bu tekdüze noktayı bizim şimdiki görülebilir evrenimizin boyutlarına şişirmiştir. O minik nokta, şimdi Dünya'mızın ve galaksimizin yanı sıra teleskoplarımızla görülebilen en uzak galaksileri de kapsamaktadır.

Evrenimiz Dengesiz mi?

Bilinen evrenden 10^{50} kat büyük bir evren olasılığı akıllara durgunluk verse de, evrenimizin bir felaket sonucunda yok olması konusunda GUT ve süper sicim kuramlarından kaynaklanan rahatsız edici başka bir olasılık daha bulunmaktadır.

Eski insanlar, Dünya'nın sonunun ateşle mi, yoksa buz ile mi geleceği konusunda sık sık yorumlar yapmışlardır. Modern astronominin sağladığı en akla yatkın yanıta göre Dünya, ateşler içinde yok olacaktır, çünkü Güneş'imiz içindeki hidrojen yakıtını tükettikten sonra o zamana kadar kullanılmayan helyum yakıtını yakmaya başlayacak ve sonra muazzam miktarda büyüyerek Merih'in yörüngesi büyüklüğünde bir kırmızı dev yıldıza dönüşecektir. Bu, Dünya'mızın buharlaşacağı, bizim de Güneş'in atmosferinde pişeceğimiz anlamına gelmektedir (Bu felaket, birkaç milyar yıl sonra gerçekleşecektir.)

Ayrıca GUT ve süper sicim kuramları, Dünya'nın buharlaşmasından daha büyük bir felakete daha işaret etmektedir. Fizikçiler, maddenin daima en düşük enerji durumunu ("boşluk durumu" olarak adlandırılır) aramaya çalıştığını öngörürler. Örneğin, daha önce anlatıldığı gibi, su daima yokuş aşağı akmaya çalışır. Bununla beraber, eğer bir nehrin üzerine bir baraj kurarsak, bunu değiştirmek mümkündür. Barajın arkasında biriktirilen su, en düşük enerji durumu olmayan bir "yalancı boşluk durumu" içerisindedir. Bu, suyun barajı patlatarak barajdan daha aşağıdaki gerçek boşluk durumuna akmak istediği, fakat bunu başaramadığı anlamına gelir.

Normal olarak bir baraj, suyu bu yalancı boşluk durumunda tutmak için yeterlidir. Buna karşın, kuantum mekaniğinde da-

ima suyun bir "kuantum sıçraması" yapması ve barajın içinden geçmesi olasılığı mevcuttur. Belirsizlik İlkesi uyarınca, suyun nerede olduğunu bilmediğiniz için onu olabileceğini en az beklediğiniz yerde (yani barajın öbür yanında) bulmanız konusunda belli bir olasılık vardır. Fizikçiler, suyun engel içinden kendisine bir "tünel" açacağı kanaatini taşımaktadırlar.

Bu durum, insanda epeyce rahatsız edici bir düşünce uyandırmaktadır. Belki de bütün evrenimiz, geçici olarak bir "sahte boşluk" içinde durmaktadır. Ya evrenimiz, olabilecek en düşük enerjili evren değilse? Ya daha düşük enerjiye sahip başka bir evren daha varsa ve birdenbire bir kuantum geçişi meydana gelirse?

Bu, bir afet olurdu. Yeni boşluğun içinde fizik ve kimya yasaları tanınmayacak kadar değişebilirdi. Bildiğimiz şekliyle madde mevcut olmayabilirdi dahi, ve tamamen yeni fizik ve kimya yasaları ortaya çıkabilirdi. Sık sık fizik yasalarının değişmez olduğu söylenir. Bununla beraber, eğer evren aniden daha düşük bir enerji durumuna doğru bir kuantum sıçraması yaparsa, böyle bir durumda bildiğimiz fizik yasaları da tanınmayacak kadar değişikliğe uğrayabilir.

Böyle bir felaket nasıl meydana gelebilir?

Kuantum geçişinin basitçe görsel olarak ifadesi, suyun kaynamasıdır. Dikkat edecek olursanız, kaynama bir anda değil, nokta nokta gerçekleşir, hızla genleşen baloncuklar ortaya çıkar. Baloncuklar sonunda birleşir, buharı yaratırlar. Benzer şekilde, eğer daha düşük enerjili başka bir boşluğa doğru bir geçiş meydana gelirse, evrenimizde "baloncuklar" meydana gelebilir ve sonra bunlar ışık hızında veya ona yakın bir hızda genleşebilirler (yani bize neyin çarptığını asla anlayamayız). Baloncuğun içinde bize yabancı olan fizik ve kimya yasaları geçerli olabilir. Gökbilimciler, sahip olduğu muazzam hız nedeniyle bu baloncuğu asla göremezler. Bu baloncuk ani bir şekilde Dünya'ya çarptığı sırada çamaşır yıkıyor olabiliriz. Vücudumuzdaki kuarklar aniden dağılabilir, atom altı parçacıklardan oluşan karmakarışık bir plazma haline gelebiliriz.

Bununla beraber, böyle bir afetten endişe etmemiz gereksizdir. Başka evrenlerin var olma olasılığını tümüyle reddetme olanağı asla bulunmasa da, evrenimizin son 10 ila 20 milyar yıldır dengede olduğuna bakarak en düşük enerji durumuna ulaşmış olduğu sonucuna varabiliriz.

Büyük Patlamadan Önce

Evrenimizin tümüyle dengesiz olması fikri ne kadar rahatsız edici olursa olsun, bu fikrin önemli bir özelliği vardır: Büyük patlamadan önce ne olduğu sorusunu yanıtlamaktadır.

Daha önce anlattığımız gibi, süper sicim kuramı uyarınca evren, on boyutlu olarak meydana gelmiştir. Bununla beraber, belki de bu on boyutlu evren sahte bir boşluk içerisindeydi ve dolayısıyla dengesizdi. Eğer on boyutlu evren en düşük enerjiye sahip değil idiyse, daha düşük bir enerji durumuna doğru "kuantum sıçrayışını" yapması bir an meselesi olurdu.

Artık evrenin başlangıçtaki genişlemesinin kaynağında çok daha büyük, çok daha patlayıcı bir süreç bulunduğuna inanmaktayız: Uzay-zamanın on boyutlu dokusunun parçalanması. Uzay-zamanın on boyutlu dokusu, tıpkı patlayan bir baraj gibi, şiddetli bir şekilde yırtılmış ve derhal daha düşük enerjili iki ayrı evren halinde şekillenmiştir: Dört boyutlu bir evren (bizimki) ve altı boyutlu bir evren.

Bu patlamanın şiddeti, şişme sürecini ileriye taşıyacak enerjiyi kolaylıkla üretmiş olabilir. Standart Büyük Patlama enerjisi daha sonra, şişme süreci yavaşlayıp geleneksel genişleyen evrene geçiş yaptıktan sonra ortaya çıkmış olmalıdır.

Dört boyutlu evren, Planck uzunluğuna çöken altı boyutlu evrenin zararına olarak genişlemiştir. Evrenimizin dört boyutlu görünüyor olmasının nedeni belki de budur - diğer altı boyut, çevremizi sarmalıyor olmalarına karşın, gözlemlenemeyecek kadar küçüktürler.

Henüz bu resmi deneysel olarak doğrulamaktan çok uzakta olmamıza karşın, hızla gelişen evrenbilim bize maddenin yapı-

sına ilişkin cazip ipuçları vermiş bulunmaktadır. Bazı fizikçiler, evrene ilişkin sorularımızdan çoğuna ait yanıtların belki de evrendeki en gizemli madde türü olan ve "karanlık madde" olarak adlandırılan bir maddede yattığını düşünmektedirler.

10
Karanlık Maddenin Gizemi

SSC'NİN İPTAL EDİLMESİ üzerine bazı yorumcular kamuoyu önünde fiziğin "sonunun geldiği" yolunda yorumlar yaptı. Ne kadar enteresan ve şık olursa olsun, süper sicim kuramı gibi gelecek vaat eden fikirler asla smanamayacak ve dolayısıyla asla doğrulanamayacaktı. Buna karşın fizikçiler iyimserliklerini korudular. Eğer süper sicim kuramı için gereken kanıtlar Dünya üzerinde bulunamıyorsa, çözümlerden birisi Dünya'dan ayrılarak dış uzaya gitmekti. Önümüzdeki yıllarda fizikçiler, madde ve enerjinin içinde saklanan gizemleri keşfetmek için evrenbilime giderek artan bir şekilde güveneceklerdir. Laboratuarları evren ve Büyük Patlamanın kendisi olacaktır.

Evrenbilim, daha şimdiden bize maddenin nitelikleri hakkında pekâlâ birtakım ipuçları sağlayabilecek birkaç gizem vermiş bulunmaktadır. Bunların ilki, evrenin yüzde 90 kadarını meydana getiren karanlık maddedir. İkincisi ise, bir sonraki bölümde tartışacak olduğumuz evrensel sicimlerdir.

Dünya Hangi Maddeden Yapılmıştır?

Yirminci yüzyıl biliminin elde ettiği en önemli sonuçlardan birisi, evrendeki kimyasal elementlerin belirlenmesi olmuştur. Bilim insanları, yalnızca yüzden biraz daha fazla sayıda elementten yola çıkarak DNA'dan hayvanlara ve patlayan yıldızlara kadar maddenin trilyonlarca kere trilyonlarca olası şeklini açıklama olanağı bulmuştur. Dünya'yı meydana getiren -karbon, oksijen ve demir gibi- tanıdık elementler , uzak galaksileri meydana getiren elementlerle aynıdır. Galaksimizden milyarlarca ışık yılı uzaklıkta yanan yıldızlardan gelen ışığı çözümleyen bilim insanları, arka bahçemizde bulunan elementlerin tamamen aynılarını bulmuşlardır, ne daha fazla, ne daha az.

Gerçekten de, evrenin hiç bir yerinde hiç bir gizemli element bulunmamıştı. Evren, atomlardan ve onların atom altı bileşenlerinden meydana gelmişti. Bu, fiziğin son sözüydü.

Fakat yirminci yüzyılın sonlarında çığ gibi yağan yeni veriler, evrenin yüzde 90'dan fazla kısmının bilinmeyen maddenin görünmeyen bir şekli ile veya karanlık maddeyle yapıldığını doğrulamıştır. Artık bilinmektedir ki, gökyüzünde seyrettiğimiz yıldızlar aslında evrenin gerçek kütlesinin küçücük bir kısmını meydana getirmektedir.

Karanlık madde, daha önce karşılaşılan hiç bir şeye benzemeyen, garip bir maddedir. Bir ağırlığı vardır, fakat gözle görülemez. Kuramsal olarak, eğer insan elinde bir karanlık madde topağı tutacak olsa, bu topak tamamen görünmez olacaktır. Karanlık maddenin varlığı akademik bir konu değildir, çünkü evrenin nihai kaderi, bir Büyük Çatırtı ile mi öleceği, yoksa bir Kozmik Fısıltı veya Büyük Donuş ile mi ortadan kalkacağı, bu maddenin yapısına bağlıdır.

Süpersicim kuramının öngördüğü yüksek kütleli atom altı titreşimler, karanlık madde için en önde gelen adaydır. Bu açıdan, karanlık madde bize süper sicimin niteliklerini araştırmak için deneysel bir ipucu verebilir. Bilim, SSC olmadan da yeni fiziği Standart Modelin ötesinde keşfetme olanağı bulabilir.

Bir Galaksinin Ağırlığı Ne Kadardır?

Evrene ilişkin görüşlerimizde bir yanlışlık var olduğundan ilk kez şüphelenen kişi, California Teknoloji Enstitüsünden İsviçreli-Amerikalı bir gökbilimci, Fritz Zwicky olmuştur. 1930'lu yıllarda yaklaşık 300 milyon ışık yılı uzaklıktaki Coma galaksi kümesini incelemekte olan Zwicky, bunların birbirleri etrafında dengesiz olmalarını gerektirecek kadar büyük bir hızla döndüklerini görerek şaşırdı. Şüphelerini doğrulamak için galaksinin kütlesini hesaplaması gerekiyordu. Galaksiler yüz milyarlarca yıldız içeriyor olabilecekleri için, ağırlıklarını hesaplamak kolay bir iş değildir.

Bu işi yapmak için iki basit yol vardır. Bu iki yöntemin şaşılacak kadar farklı sonuçlar vermesi, gökbilimde şu anda mevcut olan krizi yaratmıştır.

İlk olarak, yıldızları sayabiliriz. Bu olanaksız bir şey gibi görünse de, aslında çok kolaydır. Galaksinin kabaca ortalama yoğunluğunu öğreniriz, sonra da galaksinin toplam hacmi ile çarparız (Örneğin insan kafasındaki saçların sayısını hesaplamak ve sarışınlarda kumrallardan da az saç olduğuna karar vermek için de bu yöntemi kullanırız).

Ayrıca, yıldızların ortalama ağırlığını da biliriz. Şüphesiz hiç kimse bir yıldızı gerçekten teraziye koyup tartmaz. Bunun yerine gök bilimciler, iki yıldızın birbiri etrafında döndüğü ikili yıldız sistemlerini ararlar. Tam bir tur atmak için gereken süreyi öğrendiğimiz zaman, her yıldızın kütlesini hesaplamak için Newton yasaları yeterlidir. Bir galaksideki yıldız sayısını ortalama yıldız ağırlığı ile çarparak, galaksinin ağırlığını kabaca veren bir sayı elde ederiz.

Kullanılabilecek ikinci yöntem, Newton yasalarını doğruca galaksiye uygulamaktır. Örneğin, galaksinin sarmal kollarından birindeki uzak yıldızlar, galaksinin merkezi etrafında değişik hızlarda yörüngelere sahiptirler. Ayrıca galaksiler ve yıldız kümeleri de birbirlerinin etrafında döner. Bu çeşitli dönüşlerin süresini bildiğimiz takdirde, Newton'un hareket yasalarını kullanarak galaksinin toplam kütlesini belirleyebiliriz.

Zwicky, bu galaksi kümelerinin birbirleri etrafında dönüş sürelerini inceleyerek, bunları birbirine bağlamak için gerekli olan kütleyi hesapladı. Bu kütlenin ışıklı yıldızların gerçek kütlesinden yirmi kat fazla olduğunu buldu. İsviçre'de yayımlanan bir dergiye yazan Zwicky, bu iki sonuç arasında temel bir farklılık bulunduğunu bildirdi. Kütleçekimsel çekme kuvvetinin bu galaksiler kümesini bir arada tuttuğu gizemli bir tür "dunkle materie" veya karanlık madde bulunması gerektiğini ileri sürdü. Bu karanlık madde olmaksızın Coma galaksileri darmadağın olurdu.

Zwicky, Newton yasalarının galaktik uzaklıklarda da geçerli olduğu yolundaki sarsılmaz inancı yüzünden, karanlık maddenin varlığını önermek zorunda kalmıştı. (Bu, bilim insanlarının Newton yasalarına olan inançları nedeniyle görünmeyen nesnelerin varlığını ilk kez öne sürüşü değildir. Aslına bakılacak olursa, Neptün ve Plüton gezegenleri, yakınlarındaki Satürn gibi gezegenlerin yörüngesinin dalgalanması ve Newton'un öngörülerinden sapma sergilemesi nedeniyle keşfedilmişti. Bilim insanları, Newton yasalarından vazgeçmektense yeni dış gezegenlerin varlığını öngörmeyi seçmişlerdi.)

Bununla beraber, Zwicky'nin elde ettiği sonuçlar, astronomi toplumu tarafından ilgisiz, hatta düşmanca bir tarzda karşılandı. Ne de olsa bizim Samanyolu galaksimizin ötesindeki galaksilerin varlığı Edwin Hubble tarafından daha yalnızca dokuz yıl önce bulunmuştu, bu nedenle gökbilimcilerin çoğu onun sonuçlarının zamansız olduğuna, daha iyi ve daha doğru gözlemler yapıldıkça bu sonuçların önemini yitireceğine inanmaktaydı.

Böylece Zwicky'nin sonuçları büyük ölçüde göz ardı edildi. Gökbilimciler, yıllar boyunca bunları tekrar tekrar keşfettilerse de, görüntü sapması olarak yorumlayarak bir kenara attılar. Örneğin, 1970'lerde radyo teleskop kullanan gökbilimciler, bir galaksiyi çevreleyen hidrojen gazını incelediler ve onun olması gerekenden çok daha hızlı döndüğünü gördülerse de, sonucu dikkate almadılar.

1973 yılında Princeton Üniversitesi'nden Jeremiah Ostriker ve James Peebles, bir galaksinin dengesine ilişkin özenli hesap-

lar yaparak bu kuramı yeniden canlandırdı. Gökbilimcilerin çoğu, o zamana kadar bir galaksinin güneş sistemimize çok benzediğini, iç gezegenlerin dış gezegenlerden çok daha hızlı yol aldığını düşünmekteydiler. Örneğin Merkür, adını eski Yunanın hız tanrısından almaktaydı, çünkü gökyüzünde büyük bir hızla (saatte 175.000 kilometre) hareket etmekteydi. Diğer taraftan Plüton, güneş sisteminin içinde saatte 17.000 kilometre hızla gezinmektedir. Eğer Plüton Güneş'in etrafında Merkür kadar hızlı dönseydi, bir daha geri gelmemek üzere derhal dış uzaya savrulurdu. Güneş'in kütleçekimi, Plüton'u tutmak için yetersiz kalırdı.

Bununla beraber Ostriker ve Peebles, güneş sistemimizi temel alan standard bir galaksi resminin dengesiz olduğunu gösterdiler; işin doğrusu, galaksinin parçalanıp dağılması gerekirdi. Yıldızların çekim gücü, galaksiyi bir arada tutmak için yeterli değildi. Sonra, eğer bir galaksinin etrafı muazzam bir görünmez hale ile sarılmışsa ve kütlesinin yüzde 90'ı aslında karanlık madde şeklinde bu halenin içindeyse, bir galaksinin dengeli hale gelebileceğini gösterdiler. Onların makalesi de ilgisizlikle karşılandı.

Fakat, on yıllar boyu süren kuşkuculuk ve küçümsemenin ardından, karanlık madde konusunda olayların akışını nihayet tersine çeviren şey, Washington D.C'deki Carnegie Enstitüsü'nden gökbilimci Vera Rubin ve çalışma arkadaşlarının dikkatli, ısrarcı sonuçları oldu. Yüzlerce galaksiyi inceleyen bu bilim insanlarının sonuçları, güneş sistemimizdeki gezegenlerin aksine, bir galaksideki dış yıldızların hızının iç yıldızlara göre çok fazla değişmediğini kesin olarak doğruladı. Bu, görünmeyen karanlık maddenin kütleçekimi olmadığı takdirde dış yıldızların uzaya dağılarak galaksinin milyarlarca bağımsız yıldız halinde parçalanması gerektiği anlamına gelmekteydi.

Karanlık maddenin tarihinde olduğu gibi, Vera Rubin'in yaşamı boyunca elde ettiği sonuçların şüpheci (ve erkek ağırlıklı) gökbilimciler topluluğu tarafından kabul edilmesi için de on yıllar geçmesi gerekecekti.

Bir Kadının Mücadelesi

Bir bilim kadınının erkek meslektaşları tarafından kabullenilmesi hiç bir zaman kolay olmamıştır. İşin aslı, Dr. Rubin'in meslek yaşamı yolun her adımında erkeklerin düşmanlığı nedeniyle raydan çıkmaya tehlikeli bir şekilde yaklaşmıştır. Dr. Rubin, Washington DC'nin göklerini geceleri bazen saatlerce seyretmeye ve hatta gökyüzünde meteorların yollarını gösteren ayrıntılı haritalar çizmeye 1930'lu yıllarda, henüz on yaşında bir çocuk iken başlamıştı.

Elektrik mühendisi olan babası yıldızlara duyduğu ilginin peşinden gitmesi için onu desteklemiş, hatta on dört yaşındayken ilk teleskopunu yapması için ona yardım etmiş, Washington'daki amatör gökbilimcilerin konferanslarına götürmüştür. Bununla beraber, ailesinden gördüğü cesaret verici desteğin sıcaklığı, dış dünyadan gelen buz gibi karşılama ile keskin bir tezat oluşturmaktadır.

Swarthmore Koleji'ne başvurduğu sırada kayıt bürosu görevlisi onu astronomiden vazgeçirmeye, astronomik nesnelerin resmini yapmak gibi daha "hanımlara yakışır" bir meslek yaşamına yönlendirmeye çalışmıştı. Bu, ailesinde standart bir espriye dönüştü. Şöyle hatırlıyor: "İşyerimde ne zaman bir şeyler ters gitse, ailemden birisi 'Hiç meslek olarak ressamlığı seçmeyi düşündün mü?...' diye sorardı."[1]

Vassar'a kabul edildiğini koridorda karşılaştığı lise fizik öğretmenine gururla anlatmış, ondan şu açık yanıtı almıştı: "Bilimden uzak durduğun takdirde başarılı olursun." (Yıllar sonra şöyle hatırlıyor: "Bu tür sözleri dinleyip yıkılmamak için insanın muazzam bir özsaygıya sahip olması gerekiyor."[2]

Vassar'dan mezun olduktan sonra, lisansüstü eğitim için gökbilim dalında dünya çapında bir ün sahibi olan Princeton'a başvurdu. Bununla beraber, kendisine okuldan bir katalog dahi gönderilmedi, çünkü Princeton 1971 yılına kadar astronomi bölümüne kız öğrencileri kabul etmiyordu.

Harvard'a kabul edildi, fakat teklifi geri çevirdi, çünkü bir fiziksel kimyacı olan Robert Rubin ile evlenmiş ve onun ardından

gökbilim bölümü yalnızca iki öğretim üyesinden oluşan Cornell Üniversitesi'ne gitmişti (Teklifi geri çevirmesinden sonra Harvard'dan gelen resmi bir mektubun üzerinde el yazısı ile "Lanet olsun sana, kadın! Ne zaman iyi bir tane bulsam, gidip evlenir zaten"[3] yazıyordu).

Cornell'e gitmek aslında büyük bir nimetti, çünkü Rubin orada fizik dalında Nobel ödülü sahibi iki kişiden, yıldızlara enerji sağlayan karmaşık füzyon tepkimelerinin şifresini çözen Hans Bethe ve kuantum elektrodinamiğini renormalize eden Richard Feynman'dan lisans üstü fizik dersleri aldı. Master tezi, erkek-egemen bir dünyanın düşmanlığı ile kafa kafaya çarpıştı. Uzaktaki galaksilerin sadeleştirilmiş bir Büyük Patlama modelindeki tekdüze genişlemeden sapma gösterdiğini açıklayan makalesi reddedildi, çünkü o zaman için çok inanılmaz bulunmuştu. (Aradan on yıllar geçtikten sonra, aynı makale kehanet niteliğinde kabul edildi.)

Ancak, Cornell'den master derecesini aldıktan sonra, Rubin kendisini mutsuz bir ev kadını olarak bulmuştu. "*Astrophysical Journal* dergisinin eve her gelişinde resmen ağladım . . . eğitimim sırasında hiç bir şey bana Cornell'den bir yıl sonra kocamın dışarıda kendi bilimiyle ilgileneceğini ve benim de evde çocuk bezi değiştireceğimi öğretmemişti."[4]

Rubin, her şeye karşın çocukluk rüyasının peşinden gitmek için mücadele etti, özellikle kocası Washington'da bir iş bulduktan sonra. Akşam derslerine giderek Georgetown Üniversitesi'nden Ph.D. derecesini aldı. Göklerdeki galaksilerin daha önce düşünüldüğü gibi düzgün ve tekdüze değil, aslında kümelerden meydana geldiğini gösteren çığır açıcı bir araştırma olan Ph.D. tezini 1954 yılında yayımladı.

Ne yazık ki, zamanının çok ilerisindeydi. Yıllar geçtikçe gökbilimsel düşüncenin egemen olan önyargılarına karşı çıkan bir tür kaçık olarak ün kazandı. Görüşlerinin hak ettikleri tanınmışlığa erişmesi, yıllar sürecekti.

Çalışmalarının yarattığı çekişmelerden bıkan Rubin, biraz soluklanmayı ve gökbilimin en sıradan, en sönük alanlarından birinde, galaksilerin dönüşü konusunda araştırma yapmaya karar

verdi. Tamamen masum niyetlerle, uzaydaki en yakın komşumuzu, Andromeda galaksisini incelemeye başladı. O ve çalışma arkadaşları, Andromeda galaksisinin dış taraflarında dönen gazın merkeze yakın gaza kıyasla çok daha yavaş hareket ettiğini bulmayı beklemekteydiler. Tıpkı güneş sistemimizde olduğu gibi, galaksinin çekirdeğinden uzaklaştıkça gazın hızının azalması gerekirdi.

İster merkezde olsun, ister kenarlarda, gazın hızının sabit olduğunu bulunca çok şaşırdılar. Başlangıçta bu ilginç sonucun Andromeda galaksisine özgü olduğunu düşündüler. Sonra yüzlerce galaksiyi (1987 yılından itibaren iki yüz galaksi) sistemli bir şekilde incelemeye başladılar ve aynı ilginç sonuca ulaştılar. Zwicky başından beri haklıydı.

Gözlemlerinin taşıdığı büyük ağırlığı yadsımak olanaksızdı. Birbiri ardı sıra galaksiler, aynı, yassı eğriyi gösteriyordu. Gökbilim Zwicky'nin zamanına kıyasla teknik açıdan çok daha gelişmiş bir hale gelmiş olduğu için, Rubin'in sayılarının diğer laboratuarlar tarafından hızla doğrulanması mümkündü. Dönen bir galaksinin hızının sabitliği, artık galaktik fiziğin evrensel bir gerçeği olmuştu. Karanlık madde, kalıcıydı.

Vera Rubin, öncü çalışmaları nedeniyle 1981 yılında saygın Ulusal Bilimler Akademisi'ne seçildi. (1863 yılında kuruluşundan itibaren akademiye seçilen 3.508 bilim insanı arasında sadece 75 kadın vardı.)

Günümüzde Rubin, bilim kadınlarının ne kadar az ilerleme sağladığını hâlâ üzüntüyle görmektedir. Kendi kızı, kozmik ışın fiziğinde Ph.D. sahibidir. Uluslar arası bir konferans için Japonya'ya gittiği zaman, oradaki tek kadındı. "Uzun zaman bu hikâyeyi gözlerim yaşarmadan anlatamadım," diye anımsıyor Rubin, "çünkü bir kuşak boyunca, benim kuşağımla onunki arasında çok fazla bir şey değişmemişti."[5]

Rubin'in genç kızları bilimsel incelemeler peşinde koşmaya teşvik etmekle ilgilenmesi, şaşılacak bir şey değildir. *Büyükannem bir Gökbilimcidir* adlı bir çocuk kitabı dahi yazmıştır.

Yıldız Işığı Sapması

Rubin'in orijinal makalesinden sonra evren üzerine yapılan daha da gelişmiş çözümlemeler, karanlık madde halesinin var olduğunu ve galaksinin kendi büyüklüğünün altı katına kadar çıkabildiğini göstermiştir. 1986 yılında Princeton Üniversitesinden Bodhan Paczynski, uzaktaki yıldızlardan gelen ışık bir karanlık madde yığınının yanından geçtiği takdirde karanlık maddenin yıldız ışığını saptırabileceğini ve bir büyüteç görevi görerek yıldızı olduğundan parlak gösterebileceğini fark etti. Bu şekilde, aniden daha parlak görünmeye başlayan sönük yıldızlar arayarak karanlık maddenin varlığını belirlemek mümkündü. Birbirinden bağımsız iki grup, 1994 yılında böyle bir yıldız parlaklaşmasını fotoğrafladıklarını bildirdi. O zamandan beri başka gökbilimci grupları da yıldız parlaması için daha fazla örnek bulmak ümidiyle onlara katılmıştır.

Ayrıca, yıldız ışığının uzaktaki bir galaksi tarafından saptırılması, galaksinin ağırlığı hesaplamak için bize başka bir yol sağlamaktadır. AT&T Bell Laboratuarları'ndan Anthony Tyson ve çalışma arkadaşları, görülebilen evrenin kenarlarında bulunan sönük mavi galaksilerden gelen ışık demetlerini çözümlemişlerdir. Bu galaksiler kümesi bir yerçekimsel mercek görevi görür ve diğer galaksilerden gelen ışığı saptırır. Uzaktaki galaksilerin fotoğrafları, sapmanın beklenenden çok daha fazla olduğunu doğrulamaktadır. Bu da, ağırlıklarının kendi bireysel yıldızların toplamından çok daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu galaksilerin kütlelerinin yüzde doksanı, beklendiği gibi karanlık maddeden kaynaklanmaktadır.

Sıcak ve Soğuk Karanlık Madde

Karanlık maddenin varlığı artık tartışılan bir konu olmasa da, yapısı üzerine hararetli tartışmalar sürmektedir. Ortaya hiç biri çok tatmin edici olmayan birkaç düşünce ekolü çıkmıştır.

İlk olarak, karanlık maddenin algılanması son derece zor olduğu bilinen nötrinolar gibi bize yabancı olmayan hafif alt par-

çacıklardan meydana geldiğini öne süren "sıcak karanlık madde" ekolü gelmektedir. Evreni dolduran nötrinoların toplam akısı pek iyi bilinmediği için, evren, karanlık maddeyi meydana getiren bir nötrino seli içinde yüzüyor olabilir.

Örneğin, eğer elektron nötrinosunun minik bir kütleye sahip olduğu bulunacak olursa, o zaman kayıp kütle sorununu çözmek için yeterli kütleye sahip olma olasılığı var olabilir. (1995 Şubatında New Mexico'daki Los Alamos Ulusal Laboratuarı'ndaki fizikçiler, elektron nötrinosunun minik bir kütleye sahip olduğu yolunda kanıtlar bulduklarını duyurdular: Bir elektronun ağırlığının milyonda biri kadar. (Bununla beraber, diğer fizikçiler tarafından kabul edilmeden önce bu sonucun başka laboratuarlar tarafından doğrulanması gerekmektedir.)

Sonra, karanlık maddenin daha ağır, yavaş hareket eden ve çok daha ilginç alt parçacıklardan meydana geldiğini ileri süren "soğuk karanlık madde" ekolü gelir. Son on yılda fizikçiler soğuk karanlık maddeyi yapabilecek egzotik adaylar arayıp durdular. Bu parçacıklara ev tipi bir deterjana atfen "aksiyonlar" gibi garip, saçma isimler verildi. Hepsi birden WIMP* (Weakly Interacting Massive Particle – zayıf etkileşimli büyük kütleli parçacık) olarak adlandırılırlar. Kuşkucular, karanlık maddenin büyük bir bölümünün kırmızı cüce yıldızlar, nötron yıldızları, kara delikler ve Jüpiter büyüklüğündeki gezegenler gibi tanıdık, fakat sönük alelade maddelerden meydana gelebileceğini söyleyerek karşılık verdiler. Altta kalmamak için de bu nesnelere MACHO** (Massive Astrophysical Compact Halo Objects – büyük kütleli astrofiziksel sıkı haleli nesneler) adını verdiler. Bununla beraber, MACHO taraftarları dahi, en iyi şartlarda karanlık madde sorununun yüzde 20'sini açıklayabildiklerini kabul etmektedirler. Buna karşın, 1994 yılının sonuna doğru kırmızı cüce yıldızlar bulmak amacıyla Samanyolunu tarayan Hubble Uzay Teleskopunun bu sönük yıldızlara ilişkin bulgularının beklenenden çok daha az olması, MACHO kuramına büyük bir darbe indirmiştir.

---

* İngilizcede pısırık anlamına gelir. (Ç.N.)
** İngilizcede maço anlamına gelir. (Ç.N.)

Fakat, WIMP'lar için en fazla gelecek vaat eden adaylar, belki de süper parçacıklar, veya kısaca "sparçacıklar"dır. Hatırlayacak olursak süper simetri, önceleri süper sicim kuramında parçacık fiziğinin bir simetrisi olarak görülmüştü. Gerçekten de, süper sicim muhtemelen süper parçacıkların tamamen tutarlı olan tek kuramıdır.

Süper simetri uyarınca her parçacığın farklı bir dönüşe sahip bir süper partneri olmak zorundadır. Örneğin leptonlar (elektronlar ve nötrinolar) ½ dönüşe sahiptir. Onların süper partnerlerine "sleptonlar" denir ve 0 dönüşe sahiptirler. Aynı şekilde, kuarkların süper partnerlerine "skuarklar" adı verilir ve onlar da 0 dönüş sahibidir.

Ayrıca, 1 dönüşlü fotonun (ışığı tanımlar) süper partnerine "fotino" denir. Gluonların (kuarkları bir arada tutarlar) süper partneri de "gluino" olarak adlandırılır.

Sparçacıklara yönelik en önemli eleştiri, onları laboratuarda hiç görmemiş olmamızdır. Şu anda bu parçacıkların var olduklarını gösteren hiç bir kanıt yoktur. Bununla beraber, kanıt yokluğunun nedeni olarak yalnızca atom parçalayıcılarımızın süper parçacıklar yaratmak için çok güçsüz olması gösterilmektedir. Başka bir deyişle, bunların kütlesi atom parçalayıcılarımızın yaratamayacağı kadar büyüktür.

Bununla beraber, elde kesin kanıtların bulunmaması fizikçileri karanlık maddenin ve evrenbilimin gizemlerini açıklamak için parçacık fiziğini kullanmaya çalışmaktan alıkoymamıştır. Örneğin, WIMP için önde gelen adaylardan birisi, fotinodur.

Dolayısıyla, SSC'nin iptal edilmesinin süper sicimin doğruluğunu sınamak için yapacağımız girişimleri ölüme mahkûm etmiş olması gerekmez. Yeni nesil teleskoplar ve uydular sayesinde gökbilimsel gözlemlerimizin daha ileri bir doğrulukta yapılmasının önümüzdeki on yıl içerisinde karanlık madde adaylarını azaltacağı ümit edilmektedir. Eğer karanlık maddenin hiç olmazsa kısmen sparçacıklardan meydana geldiği ortaya çıkacak olursa, süper sicim kuramının muazzam bir yükseliş sağlayacağına inanılmaktadır.

Evren Nasıl Ölecek?

Son olarak, karanlık madde, evrenin kaderini anlamamızı sağlayabilir. Genişleyen bir evrenin kaderi, bitmek tükenmek bilmeyen bir tartışma konusu olmuştur. Bazıları, evrenin genişlemesini tersine çevirmek için yeterli madde ve kütleçekimi var olduğuna inanmaktadır. Bazıları ise evrenin yoğunluğunun çok düşük olduğunu, bu nedenle galaksilerin evrendeki sıcaklık mutlak sıfıra ulaşıncaya kadar genişlemeyi sürdüreceğini düşünmektedir.

Şimdiki durumda, evrenin ortalama yoğunluğunu hesaplamak için yapılan girişimler, ikinci gruptakilerin haklı olduğunu göstermektedir: Evren, sürekli genişleyecek ve bir Kozmik Fısıltı veya Büyük Donuş ile ölecektir. Bununla beraber, bu kuram deneysel sorgulamalara açıktır. Özellikle, evrenin ortalama yoğunluğunu arttıracak miktarda kayıp madde var olabilir.

Kozmologlar, evrenin kaderini belirlemek için evrendeki madde yoğunluğunu ölçen "omega" parametresini kullanırlar. Eğer omega birden büyükse, evrende kozmik genişlemeyi tersine çevirmeye yeterli miktarda madde var ve evren Büyük Çatırtıya ulaşıncaya kadar çökecek demektir.

Ancak, eğer omega birden küçükse, evrendeki yerçekimi kozmik genişlemeyi değiştirmek için çok zayıftır ve evren, Kozmik Fısıltının mutlak sıfır civarındaki sıcaklıklarına ulaşıncaya kadar genişlemeye devam edecektir. Eğer omega bire eşitse, o zaman evren bu iki senaryo arasında dengededir ve hiç bir kavis olmadan mükemmel düzlemsellikte görünecektir. (Omeganın bire eşit olması için, evreninin yoğunluğunun metreküp başına yaklaşık olarak üç atom olması gerekir.) Elimizdeki gökbilimsel veriler, kozmik genişleme için çok küçük bir değer olan 0,1 değerine işaret etmektedir. Büyük Patlama kuramının önde gelen değişikliği, tam anlamıyla 1 değerinde bir omega öngörmekte olan genişleyen evrendir. Bununla beraber, gökyüzündeki görülebilen yıldızlar bize kritik yoğunluğun yalnızca yüzde 1'ini vermektedir. Bu, bazen "kayıp kütle" sorunu olarak adlandırılır. (Bu, tamamen galaktik değerlendirmelerden kaynaklanan ka-

ranlık madde sorunundan farklıdır.) Toz, kahverengi cüceler ve ışımayan yıldızlar bu sayıyı biraz yükseltebilir, fakat çok fazla değil. Örneğin, nükleosentezden elde edilen sonuçlar, bu şekildeki ışımayan maddenin azami yoğunluğunun kritik yoğunluğun yüzde 15'ini aşamayacağını göstermektedir.

Galaksileri çevreleyen karanlık madde halelerini eklesek dahi, bu bizi kritik değerin ancak yüzde 10'una getirebilir. Dolayısıyla, halelerdeki karanlık madde kendi başına kayıp kütle sorununu çözemez.

Henüz çözülememiş olan karanlık madde sorununa ek olarak, galaksilerin beklenmedik şekilde devasa kümeler halinde toplanmalarından kaynaklanan, aynı derecede kafa karıştırıcı bir bulmaca daha mevcuttur. Bu sorunun çözümü, "kozmik sicimler" adı verilen başka bir tür sicim kuramı ile mümkün olabilir.

11
Kozmik Sicimler

SÜPER SİCİMLER, akıl almaz derecede, bizim çelimsiz cihazlarımız tarafından algılanamayacak kadar küçük, titreşen nesneler olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber bazı fizikçiler, Büyük Patlamanın hemen ardından galaksilerden dahi daha büyük, devasa kozmik sicimlerin uzayda yüzmekte olduğunu tahmin etmektedirler. (Bu kozmik sicimlerin ilhamı süper sicimlerden gelmektedir ve fiziksel açıdan farklı nesneler olsalar dahi, çoğu aynı denklemleri kullanır.)

Bu kurama göre, kıpırdayıp duran bu çok eski kozmik sicimlerin arkada bıraktığı titreşimler, kendimizinki dahil olmak üzere bizim gökyüzünde görmekte olduğumuz galaksi kümeleridir. Uzayda milyarlarca ışık yılı mesafelere uzanan inanılmaz kozmik sicimlere ilişkin kurgular, normal olarak tamamen hayal gücü gibi görünebilir. Hâlbuki kozmik sicimler epeyce pratiktir; günün birinde evrenbilimin en zorlu bulmacalarından birini, evrendeki "topaklanmayı" açıklayabilirler. Doğrulandığı takdirde, bizim kendi güneş sistemimiz de varlığını bu kozmik sicimlere borçlu olabilir.

(Kozmik sicimler, *Uzay Yolu: Kuşaklar* adlı filmde yoğun şekilde kullanılmıştı. Film, galaksi içinde gezindiği görülen devasa bir kozmik sicim etrafına kuruludur; sicimin muazzam enerji alanı Federasyonun yıldız gemilerini parçalamakta, yıldızlar arası yıkıma yol açmaktadır ve hatta Kaptanlar James Kirk ile Jean-Luc Picard'ı bir zaman sapmasına hapsetmiştir. Ve kozmik sicimin yüzeyine inen herkes, derhal bütün arzuların gerçekleştiği cennet gibi bir rüya dünyasına nakledilmektedir.

Evren Neden Bu Kadar Topak Topak?

1970'lerde astrofizikçiler, evrendeki pek çok nicel ve nitel özelliğin Büyük Patlama kuramı tarafından açıklanabileceğinden emindiler. Sonra, galaksilerin büyük ölçekli dağılımı incelenirken, rahatsız edici bazı sonuçlar keşfedildi. Bu yeni sonuçlar Büyük Patlama kuramını alaşağı etmedi, fakat evrenbilimcileri bilgilerini gözden geçirmek zorunda bıraktı

Birbiri ile çelişen iki sonuç vardı. Evreni istila eden kozmik mikrodalga ışınımından ("Büyük Patlamanın yankıları") elde edilen veriler, Büyük Patlamanın her yönde tekdüze olduğuna işaret etmekteydi. Bilim insanları cihazlarını nereye yöneltirlerse yöneltsinler, kozmik mikrodalga ışınımının düzgün ve tekdüze olduğunu, evrenimizi düzenli bir arka plan ışınımı ile doldurduğunu görüyorlardı. Balonlar ve küçük roketlerle fırlatılan ve yerdeki cihazlara takılan algılayıcılar, arka plan ışınımında herhangi bir oynama bulamıyordu.

Kozmik mikrodalga ışınımı evrenin yalnızca 300.000 yaşında olduğu günlerden kalma olduğu için, bu sonuçlar o günlerde Büyük Patlamanın yankılarının çok düzgün olduğunu ortaya koymaktaydı. (Büyük Patlamadan üç yüz bin yıl sonra, evren dengeli atomların sıcaklık nedeniyle parçalanma tehlikesi olmadan şekillenebileceği bir noktaya kadar soğumuştu. O sırada Büyük Patlamadan geride kalan ışınım, atomlar tarafından soğurulmadan uzayda seyahat edebilmekteydi. Kalan bu ışınım, günümüzde karşılaştığımız mikrodalga arka planını meydana getirmektedir.)

Fakat, gökbilimciler binlerce galaksinin yerlerini belirledikleri zaman, bunların hiç de alışılmamış oluşumlar halinde topak topak kümelendiklerini gördüler. Aslında galaksiler arasında milyonlarca ışık yılı büyüklükte muazzam boşluklar vardı. Birkaç yüz milyon ışık yılı ölçeğindeki mesafeleri kaplayan bu boşluklar ve kümeler, görülen evrenin yüzde 5'e kadar bir kısmını meydana getiriyor olabilir. Bu kümelenme, Büyük Patlamadan yaklaşık 100 milyon yıl sonra başlamıştır.

Galaksilerin dağılımında görülen bu kümelenme, ilk olarak 1933 yılında Harvard'dan Harlow Shapely ve 1938 yılında Fritz Zwicky tarafından gözlemlenmiştir. Ancak, onların verileri kaba ve bunun evrensel bir olay olup olmadığına karar vermek için yetersizdi. Birkaç on yıl sonra, gökbilimciler gelişmiş bilgisayarlar, sayısal çözümleme ve otomatik yöntemlerin kullanılması sayesinde bir anda binlerce galaksiyi sistematik olarak inceleme olanağı buldular. Bu otomatik yöntemler, her biri on binden fazla galaksiyi kapsayan ve galaksilerin gökyüzünde düzgün bir şekilde dağılmadığını, aralarında muazzam boşluklar olan topaklar halinde kümelendiklerini açıkça gösteren muhteşem galaktik haritalar üretti.

1987 yılında Carnegie Enstitüsü'nden Adam Dressler ve altı çalışma arkadaşı, Dünya'dan yaklaşık 200 milyon ışık yılı uzaklıkta sanki görünmeyen devasa bir kütle tarafından çekiliyormuş gibi hep birlikte hareket eden büyük bir galaksi grubu buldular ve bu kütleye Great Attractor (Büyük Çekici) adını verdiler. Evrenin genişlemesinin yanı sıra, Samanyolu galaksisinin ve civardaki diğer galaksilerin Büyük Çekici'ye doğru, Aslan takımyıldızı yönünde hareket etmekte olduğunu buldular.

1989 yılında Harvard Üniversitesi'nden Margaret Geller ve John Huchra, yaklaşık 500 milyon ışık yılı eninde dev bir galaksiler "duvarının" keşfini duyurdular. Buna Büyük Duvar adını verdiler. Gökbilimciler, daha sonra dikkatlerini Güney Yarımküresine çevirerek kümelenme kanıtları aradılar. 3600 kadar galaksinin haritası çıkartıldı ve bir Güney Duvarı'nın varlığı belirlendi. Daha sonra, Tucson'daki Ulusal Optik Astronomi Gözlem Evleri'nden Tod Lauer ve Baltimore'daki Uzay Teleskopu Bilim

Enstitüsü'nden Marc Postman, Dressler'in grubu tarafından incelenenden otuz kat büyük hacimli bir uzay parçasını inceleterek bu garip sonuçları kontrol etmek istediler. 500 milyon ışık yılı uzaklığa kadar 119 galaktik kümeyi incelediler ve Büyük Çekici'nin daha da büyük bir hareketin küçük bir parçası olduğunu görerek şaşırdılar. Bu daha büyük galaksiler grubu, Başak takımyıldızına doğru kabaca saniyede 700 kilometre hızla hareket etmekteydi.

Evrendeki kümelenme, Büyük Patlama için bir bulmaca oluşturuyordu. Eğer evren Büyük Patlamadan 300.000 yıl sonra mükemmel derecede düzenli idiyse, galaksilerin 100 milyon yıl sonra bir araya kümelenmeleri için yeterli zaman yoktu. Gökbilimcilerin çoğu, şaşılacak kadar düzenli bir patlamanın galaksiler arasında büyük bir kümelenme meydana getirmesi için bunun çok kısa bir süre olduğu görüşüne katılmaktaydı.

"Tanrının Yüzü"

Bu muamma, kozmik mikrodalga arka planının ilk kapsamlı resmini vermek üzere 1989 yılında COBE uydusu uzaya gönderilinceye kadar evrenbilimin büyük bulmacalarından birisi olarak kaldı. Evrenbilimciler, arka plan ışımasının özellikleri konusunda değerli bilgilere en sonunda kavuşmuşlardı

COBE uydusunun amacı, başka şekillerde çok düzenli olan mikrodalga arka plan ışımasının içindeki minik sıcaklık değişimlerini bulmaktı. Bu minik değişiklikler ve sıcak noktalar, eninde sonunda büyüyerek bugün gördüğümüz galaksi kümelerini oluşturacak "tohumlar" olacaklardı. Eğer COBE uydusu hiç bir minik anormallik bulamazsa, evrenin evrimine ilişkin düşüncelerimizin ciddi şekilde gözden geçirilmesi gerekecekti.

Berkeley'deki fizikçilerin COBE verilerini incelemesi aylar boyunca devam etti. En önemlisi, Samanyolu galaksisinden ve hatta Güneş'in ve Dünya'nın kozmik mikrodalga arka planına göre hareketinden kaynaklanan parazitler gibi bütün dış etkenlerin devreden çıkartılmasıydı.

Sonuçlar, 1992 yılının Nisan ayında Dünya'nın her yanındaki önemli gazetelerin ilk sayfalarında yayımlandı. Dikkatle yapılan çözümlemeler, kozmik mikrodalga ışımasının o kadar da tekdüze olmadığını ve daha önceki deneyler sırasında algılanmayacak kadar küçük anormalliklerin ortaya çıkmış olduğunu göstermekteydi. Bu düzensizliklerin fotoğrafları basına verilirken, şaka yollu olarak Tanrının yüzüne bakmakta oldukları söylenmişti.

Gözden geçirilen kurama göre mikrodalga ışımasındaki bu küçük anormallikler Büyük Patlamadan 300.000 yıl sonra mevcuttu ve daha sonraki bir milyar yıl boyunca büyüklüğü artmış ve galaksilerin uzayda rastgele şekilde kümelenmesine yol açmıştı. Yapılan hesaplar, başka açılardan düzenli olan ışımadaki bu küçük çarpıklıkların kümelenmeye yol açmaya yeterli olduğunu gösteriyordu. Evren genişledikçe ışımadaki bu küçük garipliklerin boyutları da büyümüş, sonunda bugün gördüğümüz galaksi kümeleri ortaya çıkmıştı.

Karanlık Madde ve Evrendeki Kümelenme

Evrendeki kümelenmenin en basit açıklaması, belki de karanlık madde kuramından gelmektedir. Kozmik mikrodalga ışınımının Büyük Patlamadan 300.000 yıl sonrasına tarihlenen ışınımın kalıntılarını temsil ettiğini hatırlıyoruz. Daha önce olağan madde, herhangi bir kümelenme oluşturmak için fazla sıcaktı. Bir araya gelmeye çalışan atomlar, yoğun sıcaklık nedeniyle birbirinden kopup ayrılmaktaydı. Gökbilimci Donald Goldsmith, bunu bir kasırganın ortasında sufle hazırlamaya çalışmaya benzetiyor. Siz fırında birini pişirir pişirmez, sert rüzgârlarla parçalanıp dağılır. Ancak, rüzgâr sakinleşinceye kadar beklediğiniz takdirde hiç bir sorun kalmaz.

Karanlık madde, bu resmin istisnasıdır. Eğer bol miktarda karanlık madde var idiyse, topaklanma Büyük Patlamanın 300.000 yıl sonrasından çok daha önce gerçekleşmiş olabilir. Karanlık madde bildiğimiz elektromanyetik ışıma ile etkileşime

girmediği için, Büyük Patlamanın ardından 300.000 yıl geçmeden önce var olan yoğun ışıma alanlarından etkilenmeyecekti. Fakat karanlık madde kütleçekimine sahiptir, dolayısıyla karanlık madde kümeleri Büyük Patlamanın hemen ardından şekillenmeye başlamış olabilir. Derken, 300.000 yıl sonra, sıradan maddeler bu büyük karanlık madde kümeleri tarafından çekilerek günümüzde teleskoplarımızla gördüğümüz galaksileri ve galaksi kümelerini şekillendirmişti.

Bununla beraber kozmik sicimler, evrendeki kümelenmeyi açıklamak için bir başka yol daha sunmaktadır.

Topolojik Kusurlar

Kozmik sicimlere ilişkin bilgilerimiz, kristal oluşumundan demirin mıknatıslanmasına varıncaya kadar her yerde görülen alelade evre geçişleri hakkındaki bilgilerimizden ileri gelir. Örneğin, katı hal fizikçileri evre geçişlerinin (erime, donma ve kaynama gibi) düzgün, tekdüze geçişler değil, hızla büyüyen maddenin atomik yapısında mikroskobik "kusurlar" ortaya çıkması ile başlayan ani olaylar olduğunun farkındadırlar.

Bir evre geçişi meydana gelmek üzereyken, bu küçük hatalar kristal kafes yapısında görülen çatlak çizgileri gibi ortaya çıkarlar ve çizgiler veya duvarlar gibi belirgin fiziksel şekillere sahiptirler. Buzun donmaya başlarken çekilen fotoğrafları, etrafında buz kristallerinin şekillenebileceği "tohumlar" olarak görev yapan çizgi veya duvar benzeri minik hataların ortaya çıkmasıyla beraber donma işleminin meydana geldiğini göstermektedir.

Benzer şekilde, bir manyetik alan içine yerleştirilen demirin mikroskobik fotoğrafları, atomlar arasında minik "duvarların" meydana gelmeye başladığını göstermektedir. Bu duvarlar tarafından birbirinden ayrılan her "bölge" içinde demir atomları belli bir yöne dönük durumdadır. Manyetik alan arttıkça bu duvarlar birleşir ve en sonunda bütün atomlar aynı manyetik yolu göstermeye başlar.

Parçacık fizikçileri, benzer hataların evrenin ilk zamanlarında, Büyük Patlama soğumaya başladığı zaman da ortaya çıktığı-

nı düşünmektedirler. İlk atom altı parçacıklar soğumaya başlayınca yoğunlaşarak sicimleri, duvarları ve "dokular" diye adlandırılan daha karmaşık yapıları kapsayan bu hataları meydana getirmiş olabilirler.

Bu eski kozmik sicimlerin alelade manyetizmada bir karşılığı vardır. Normal koşullar altında manyetik alanlar süper iletken (elektriksel dirençleri sıfır olan ve mutlak sıfır civarına kadar soğutulmuş bulunan) malzemenin içine nüfuz edemezler. Bununla beraber, manyetik alanlar belli bazı tür süper iletkenlerin içine nüfuz edebilir ve yoğun manyetik alan sicimleri oluşturabilirler. Böylece manyetik alanlar, yayılmacı olmak yerine bu süper iletkenin içine nüfuz eden ince sicimler oluşturacak şekilde yoğunlaşırlar.

Aynı şekilde, kozmik sicimler evrenin ilk zamanlarındaki yoğun atom altı alanlara benzetilebilir. Bunların uçları yoktur; ya kapalıdırlar, ya da sonsuz uzunluktadırlar. Bu senaryo uyarınca, tek boyutlu bu fay hatları Büyük Patlamanın soğumasından kısa bir süre sonra ortaya çıkmış ve evrenin tümünü dolduran arapsaçına dönmüş bir sicim yumağı halinde yoğunlaşmıştır.

Bu sicimlerin içinde muazzam bir gerilim mevcut olduğu için, şiddetli bir şekilde titreşir ve kıpırdaşırlar, sık sık başka sicimlerle kesişirler. Başlangıçta kozmik sicimlerin birkaç yüz bin ışık yılı genişlikte olduğu ve bu yüzden kendisinden galaksilerin büyüdüğü tohumları oluşturduğu düşünülürdü. Bununla beraber, kozmik sicimlerin büyümesini benzeştiren bilgisayar programları, bu olasılığı bertaraf etmiştir.

1980'li yıllarda kozmik sicimlerin şiddetli hareketleri nedeniyle tıpkı motorlu teknelerin bir gölde yarattığı dalga tepeleri gibi "çekim dalgaları" yarattığı öne sürülmüştü. Çekim dalgalarının oluşturduğu bu duvar, daha sonra günümüzdeki galaksi duvarlarına benzeyen tabaka halinde madde oluşumları şeklinde yoğunlaşacaktı. Eğer en eski çağlardaki evrende bir manyetik alan var idiyse, o takdirde bu kozmik sicimlerin muazzam elektrik alanları üretmiş olabilecekleri, kendi başlarına süper iletkene dönüşmüş olabileceklerini göstermek mümkün olurdu. Bu süper iletken kozmik sicimler evrenin ilk zamanlarında etrafla-

rını kamçılarken maddeyi çekmek yerine sağa sola itmiş olabilirler. Her iki şekilde de maddenin dağılımında düzensizlikler ortaya çıkardı.

Bu bulmacalar, bir sonraki nesil deneyler ve gözlemlerle çözümlenebilir. Evrenin bundan önceki haritaları, on binlerce galaksinin aynı anda konumunu ve hızını hassas bir şekilde kaydetmiştir. Chicago Üniversitesinden Donald G. York, 1995 yılından itibaren bir milyon taneye kadar galaksiyi kapsayacak belki de en büyük galaksi kayıt defterini tutmak için birkaç üniversitenin grup halinde yürüttüğü bir çalışmayı yönetmektedir. Otomatik ve sayısallaştırılmış optik cihazlardaki gelişmeler, daha önce hayal edilmesi dahi olanaksız olan bu işe olanak sağlamaktadır. Böyle bir galaksi atlası, bu anormalliklerin kalıcı olup olmadığının belirlenmesinde büyük bir rol oynayacaktır.

COBE uydusundan gelen verilerin iyileştirilmesi, belki de en önemli olan deneyler arasında yer alacaktır. COBE uydusunun kısıtlamalarından birisi, yalnızca 7 derecelik bir yay içindeki (Bu yay, kol uzaklığında tutulan bir greyfurtun gökyüzünde örttüğü alan kadar bir yer demektir) sıcaklık değişimlerini çözümleyebiliyor olmasıydı. Bu kadar büyük uzay parçalarındaki oynamalar, bugün görülen en büyük galaksi süper kümelerinin büyüklüğünün on katına karşılık gelir. Bunun anlamı, COBE uydusunun son zamanlarda gözlemlenen galaksi topluluklarının kapladığı alanlara yayılan küçük sıcaklık değişimlerini algılayamadığıdır.

Ne yazık ki, balon deneyleri güvenilir ölçümler yapmaya yetecek kadar uzun bir süre dayanmamakta, toprağa yerleştirilen algılayıcılar atmosferdeki oynamalar tarafından kısıtlanmaktadır. Hiç şüphesiz, gelecekteki evrenbilim deneyleri 0,5 derecelik bir yay içerisindeki sıcaklık değişimlerini algılama yeteneğine sahip COBE benzeri başka bir uyduyu beklemektedir.

Karanlık madde, kozmik sicimler ve evrendeki kümelenme, evrenbilimcileri gelecek yıllarda meraklandırmaya ve şaşırtmaya devam edecek konulardan bazılarıdır. Bu kavramların ölçülmesi ve sınanması mümkün olduğu için, bu deneysel soruların çoğunu önümüzdeki on yıl içerisinde yanıtlamayı ummaktayız.

SSC'nin iptal edilmesiyle birlikte, Standard Model'in sınırlarını ve daha ötesini araştırmak için evren hakkında giderek genişleyen bu bilgi kütlesine daha da sıkı bir şekilde bağlı olacağız. Süper sicim kuramının belki de en hayranlık uyandıran yönüne, daha fazla boyutlu uzay-zamana dair bazı verileri de görmeye başlayacağımız da ümit edilmektedir. Şimdi, evrenin nasıl doğduğunu daha iyi anlayabilmek için, on boyutlu uzay ve zamanı inceleyeceğiz.

12
Başka Bir Boyuta Yolculuk

EINSTEIN, hâlâ genel görelilik kuramının sonuçlarını hesaplamakta olduğu 1919 yılında, tanınmamış bir matematikçiden, Konigsberg Üniversitesinden (şimdi Rusya federasyonunun Kaliningrad şehrindedir) Theodor Franz Kaluza'dan bir mektup aldı.

Kaluza, mektubunda Einstein'ın yeni kütleçekimi kuramı ile Maxwell tarafından yazılan eski ışık kuramını birleştiren bir birleşik alan kuramı yazmak için yeni bir yol önermekteydi. Üç uzay boyutu ve bir zaman boyutu olan bir kuram yaratmak yerine, Kaluza beş boyutlu bir kütleçekimi kuramı önermekteydi. Bu beşinci boyut, elektromanyetik kuvveti Einstein'm kütleçekimi kuramının içine yerleştirmek için Kaluza'ya yeterli bir alan sağlamaktaydı. Kaluza, bir anda Einstein'ın üzerinde çalıştığı sorun için temel bir ipucu sağlamış gibi görünmüştü. Dünya'nın beş boyutlu olması konusunda Kaluza'nın en küçük bir deneysel kanıtı dahi mevcut değildi, fakat kuramı o denli şıktı ki, bir gerçeklik payı varmış gibi gelmişti.

Beş boyut fikri Einstein için o denli yabancıydı ki, makaleyi bekletti, yayımlanmasını iki yıl erteledi. Bununla beraber, içgüdüleri Einstein'a kuramında uyguladığı matematiğin son derece güzel olduğunu, bu nedenle doğru olma olasılığının bulunduğunu söylemekteydi. Einstein, nihayet 1921 yılında Prusya Akademisine Kaluza'nın makalesini yayımlaması için onay verdi.

1919 Nisan ayında Einstein, Kaluza'ya "[bir birleşik alan kuramına] beş boyutlu bir silindir vasıtasıyla ulaşma fikri kesinlikle aklıma gelmezdi... Fikrinizi daha ilk bakışta çok beğendim,"[1] diye yazmıştı. Einstein, birkaç hafta sonra tekrar yazdı, "Kuramınızın şaşırtıcı bir biçimsel bütünlüğü var."[2]

Bununla beraber, fizikçilerin çoğunluğu Kaluza'nın kuramını şüpheyle karşılamıştı. Einstein'ın dört boyutunu anlamak için dahi zorlanmışlardı, nerede kaldı Kaluza'nın beş boyutu. Üstelik Kaluza'nın kuramı, yanıtladığından daha fazla soru doğurmaktaydı. Eğer ışığın kütleçekimiyle birleştirilmesi beş boyut gerektiriyor fakat laboratuarlarımızda yalnızca dört tanesi ölçülebiliyorsa, beşinci boyuta ne oluyordu?

Yeni kuram, bazı fizikçilere fiziksel içerikten yoksun bir salon oyunu gibi görünüyordu. Bununla beraber, Einstein gibi fizikçiler bu keşfin ön saflarda yer almayı hak edebilecek kadar öyle basit ve öyle şık olduğunu birinci sınıf olabileceğini anlamışlardı. Ortadaki tek sorun, şuydu: Bu ne anlama geliyordu?

Gerçekten de, Dünya'nın beş boyutlu olduğunu öne sürmek, aklın almayacağı bir şeydi. Örneğin bir gaz şişesi açılıp kapalı bir odaya yerleştirilirse, gaz molekülleri rastgele çarpışmalar vasıtasıyla er geç uzayın bütün yönlerini arayıp bulur ve dağılırlar. Bununla beraber, bu gaz moleküllerinin yalnızca üç boyutu dolduracağı açıkça bellidir.

Peki, beşinci boyut nereye gitti? Einstein, Kaluza'nın yaptığı işin yalnızca bilinen evrenimize ilişkin sezgilerle çeliştiği gerekçesiyle göz ardı edilemeyecek kadar iyi olduğuna inanıyordu. Bu kuramı ciddiye almak için yalnızca güzelliği dahi deneysel bir doğrulama olmaksızın yeterliydi. Nihayet, İsveçli matematikçi Oskar Klein, soruna olası bir çözüm keşfetti.

Kaluza daha önce beşinci boyutun diğer dört boyuttan farklı olduğunu, çünkü onun tıpkı bir çember gibi "kıvrık" olduğunu söylemişti. Evrenin neden belirgin bir şekilde dört boyutlu göründüğünü açıklamak için Klein, bu çemberin direkt olarak görülemeyecek kadar küçük olduğunu öne sürmüştü.

Başka bir deyişle bir odada serbest bırakılan gaz molekülleri gerçekten bütün olası yönlere gitmeye çalışacaktı, fakat gaz molekülleri beşinci boyutun içine sığmayacak kadar büyüktüler. Bunun sonucu olarak gaz molekülleri yalnızca dört boyutu dolduruyorlardı.

Klein, beşinci boyutun olası büyüklüğünü dahi hesapladı: (10^{-33} cm) olan Planck uzunluğu veya bir atom çekirdeğinin yaklaşık yüz milyar kere milyarda biri kadar.

Beşinci boyutun nereye gittiği konusuna Klein'in getirdiği parlak çözüm de çözdüğünden daha fazla soruya neden oldu. Örneğin neden beşinci boyut küçük bir çember oluşturacak şekilde kıvrılırken, diğer boyutlar sonsuza doğru uzuyordu?

Sonraki otuz yıl boyunca Einstein yeni adıyla Kaluza-Klein kuramından birleşik alan kuramı adaylarından biri olarak bir anlam çıkartmak için çalıştıysa da, bu kafa karıştırıcı soruyu çözümleyemedi.

Einstein, yaşamının son yarısı boyunca iki yolda yürüdü: Bunlardan ilki, zayıf kuvveti uzay-zaman dokusunun basitçe bozulması olarak tanımlayan, elektromanyetizmanın kendisine ait geometrik sürümüydü. Bu yol daha karmaşık matematiksel hesaplamalar gerektirmekteydi ve sonunda bir çıkmaz sokağa ulaşmıştı. İkinci yol ise, resimsel olarak güzel olan, fakat evrenimizin bir modeli olarak işe yaramayan Kaluza-Klein kuramıydı. Bu kuram çok büyük umutlar vermekteydi, fakat birisinin beşinci boyutun neden kıvrıldığını anlaması gerekliydi. Einstein Kaluza-Klein kuramı üzerinde periyodik olarak çalışıyordu, fakat hiç bir ilerleme elde edemedi.

Çözüm: Kuantum Sicimleri

Sonraki elli yıl boyunca fizikçilerin çoğu Kaluza'nın ve Klein'ın fikirlerini soyut matematiğin garip doğasının merak uyandırıcı bir dip notu olarak rafta bekletti. Kuram, 1970'li yıllara kadar neredeyse unutulmuştu, ta ki Scherk, Kaluza-Klein'ın istenmeyen boyutları kıvırıp atma hilesinin kendi problemini çözüp çözemeyeceğini merak edinceye kadar. Meslektaşı E. Cremmer ile birlikte yirmi altı veya on boyuttan dört boyuta inme problemine çözüm olarak bunu önerdiler.

Bununla beraber, süper sicim fizikçileri Kaluza ve Klein'a kıyasla önemli bir avantaja sahiptiler: Üst boyutların neden kıvrıldığı problemini çözmek için on yıllardır gelişmekte olan kuantum mekaniğinin bütün gücünü kullanabilirlerdi.

Kuantum mekaniğinin simetri bozma olayına olanak sağladığını daha önce öğrenmiştik. Doğa, daima en düşük enerji durumunu tercih eder. Evrenimiz, başlangıçta simetrik olmakla beraber, daha yüksek bir enerji durumunda da olabilir ve dolayısıyla daha düşük bir enerji durumuna doğru bir "kuantum sıçrayışı" yapmış olabilir. Benzer şekilde, başlangıçtaki on boyutlu sicimin dengesiz olduğuna inanılmaktadır; bu, en düşük enerjiye sahip olan durum değildi.

Günümüzde kuramsal fizikçiler, süper sicim modeli tarafından öngörülen en düşük enerji durumunun altı boyutun kıvrılıp ortadan kalktığı ve dört boyutun el değmemiş olarak kaldığı bir evren olduğunu kanıtlamak için var güçleriyle çalışmaktadırlar. Geçerli olan inanışa göre başlangıçtaki on boyutlu evren aslında sahte bir boşluktu - yani en düşük enerji durumu değildi.[3]

On boyutlu evrenin dengesiz olduğunu ve dört boyuta doğru kuantum sıçrayışı yaptığını hiç kimse kanıtlamayı başarmış olmasa da, fizikçiler kuramın bu olasılığa yer verecek kadar zengin olduğu konusunda iyimserlik taşımaktadırlar. Dolayısıyla, fiziğin önemli çağdaş problemlerini çözmek için çalışan genç fizikçiler için süper sicim kuramının en önde gelen problemlerinden birisi, on boyutlu evrenin dört boyutlu evrenimize doğru

kuantum sıçrayışı gerçekleştirdiğini kesin bir biçimde göstermektir.

Bay Kare

Bilimkurgu romanlarında daha üst boyutlara yapılan bir yolculuk, yabancı olsa da Dünya'mıza benzeyen bir dünyaya yapılan bir geziye benzer. Bu yaygın yanlış anlama, aslında bilimkurgu yazarlarının hayal güçlerinin daha üst boyutların bize yoğun matematik işlemler tarafından verilen gerçek özelliklerini kavrayamayacak kadar kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır. Doğrusu bilim, bilimkurgudan daha gariptir.

Daha fazla boyutlu evrenleri anlamanın en basit yolu, daha az boyutlu evrenleri incelemektir. Bu işi halka yönelik bir roman şeklinde üstlenen ilk yazar, 1884 yılında iki boyutlu evrenlerde yaşayan insanların garip adetlerini anlatan Viktorya devrine ait bir hiciv olan *Flatland*'ı (Yassıülke)* yazan Shakespeare dönemi bilim adamlarından Edwin A. Abbott'dur.

Örneğin bir masanın yüzeyinde yaşamakta olan Flatland halkını gözünüzün önüne getirin. Bu hikâye, bize geometrik nesneler olan kişilerin yaşadığı bir dünyayı anlatan gösterişli Bay A. Kare tarafından anlatılmaktadır. Bu çok katmanlı dünyada kadınlar Düz Çizgilerdir, işçiler ve askerler Üçgenler, profesyoneller ve (kendisi gibi) centilmenler Kareler, asiller ise Beşgenler, Altıgenler ve Çokgenlerdir. Bir kişinin ne kadar kenarı varsa, sosyal düzeyi o kadar yüksektir. Bazı asillerin kenarları o kadar fazladır ki, sonunda Dairelere dönüşürler, bu da en üst düzeydir.

Hatırı sayılır ölçüde bir sosyal düzeye sahip olan Bay Kare, bu düzenli toplumun şımartılmış huzuru içerisinde yaşamaktan mutludur, ta ki günün birinde Spaceland'dan (Uzayistan)** (üç boyutlu bir dünya) gelen garip yaratıklarla karşılaşıncaya ve başka bir boyutun harikalarını onlardan öğreninceye kadar.

---

* Bu kelimenin karşılığı olan Yassı Ülke (Yassıülke) ile devam edeceğiz. (Ç.N.)
** Bu kelimenin karşılığı olarak Uzayistan ile devam edeceğiz. (Ç.N.)

Uzayistanlılar Yassıülke halkına bakınca onların vücutlarının içini görebilmekte ve iç organlarını seyredebilmektedirler. Bu, ilke olarak Uzayistanlıların Yassıülke halkını derilerini kesmeden ameliyat edebilecekleri anlamına gelmektedir.

Daha fazla boyutlu yaratıklar daha az boyutlu bir evrene girdikleri zaman ne olur? Uzayistan'dan gelen gizemli Lord Küre Yassıülkeye girdiği zaman, Bay Kare yalnızca giderek artan büyüklükte dairelerin kendi evrenine girdiğini görmektedir. Bay Kare Lord Küre'yi gözünde bir bütün olarak değil, sadece kesitleri halinde canlandırabilmektedir.

Lord Küre, Bay Kare'yi Uzayistan'a da davet eder. Bu, Bay Kare'nin Yassıülke'den sıyrılarak kaldırıldığı ve yasaklanmış üçüncü boyuta aktarıldığı rahatsızlık veren bir yolculuktur. Bununla beraber Bay Kare üçüncü boyutta hareket ederken, gözleri üç boyutlu Uzayistan'ın yalnızca iki boyutlu kesitlerini görebilmektedir. Bay Kare bir Küp ile karşılaşınca, onu baktıkça şekil değiştiren bir kare içindeki bir kare gibi görünen harika bir nesne olarak görür.

Bay kare Uzayistanlılarla karşılaşmaktan öylesine etkilenmiştir ki, olağanüstü yolculuğunu Yassıülke'deki arkadaşlarına anlatmaya karar verir. Yassıülke'nin düzenli toplumunu altüst edebilecek hikâyesi yetkililer tarafından kışkırtıcı olarak algılanır, Bay Kare tutuklanır ve Konsey'in önüne getirilir. Duruşmada üçüncü boyutu açıklamak için boş yere uğraşır. Poligonlara ve Dairelere üç boyutlu Küreyi, Küpü ve Uzayistan dünyasını anlatmaya çalışır.

Bay Kare, ömür boyu hapis cezasına çarptırılır (hapishane, etrafına çizilen bir çizgidir) ve yaşamının sonuna kadar bir şehit olarak yaşar (Bay Kare'nin yapması gereken tek şey hapishaneden üçüncü boyuta "sıçramak" olmasına karşın, bunu anlayamaması komiktir).

Bir teolog ve Londra Şehir Okulu'nun Başöğretmeni olan Abbott, *Flatland*'ı etrafında gözlemlediği Viktorya riyakârlığına karşı politik bir hiciv olarak yazmıştır. Bununla beraber, onun *Flatland*'ı yazışından yüz yıl sonra süper sicim kuramı, fizikçile-

rin daha çok boyutlu bir evrenin neye benzeyeceği üzerinde düşünmelerini gerektirmiştir.

İlk olarak, evrenimize bakan on boyutlu bir varlık, bizim bütün iç organlarımızı görebilir ve hatta derimizi kesmeden bizi ameliyat edebilirdi. Katı bir cismin dış yüzeyine zarar vermeden içine erişmek fikrinin bize anlamsız görünmesinin nedeni, tıpkı Konsey'deki Poligonların zihni gibi bizim zihinlerimizin de daha fazla boyutu dikkate alırken sınırlı kalıyor olmasıdır.

İkincisi, eğer bu on boyutlu varlıklar bizim evrenimize ulaşıp evimize bir parmak sokarlarsa, göreceğimiz tek şey havada yüzen etten bir küre olurdu.

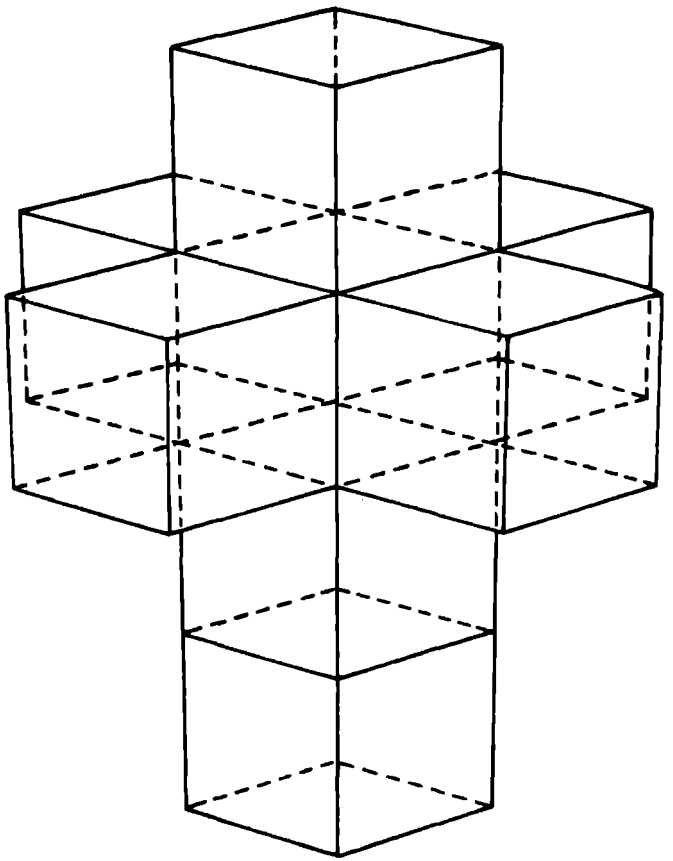
Üçüncüsü, eğer bu on boyutlu varlıklar hapiste olan birini tutup başka bir yere bırakırlarsa, biz bu kişinin hapisten gizemli bir şekilde kaybolduğunu ve başka bir yerde sanki "sihir" olmuş gibi aniden ortaya çıktığını görürdük. Pek çok bilimkurgu romanında karşılaşılan cihazlardan birisi, insanların göz açıp kapayıncaya kadar muazzam mesafelere gönderilmesine olanak sağlayan "ışınlayıcı"dır. Kişinin daha üst bir boyuta atlamasına ve başka bir yerde ortaya çıkmasına olanak sağlayan bir cihaz, daha gelişmiş bir ışınlayıcı olurdu.

Çok Boyutlu Düşünmek

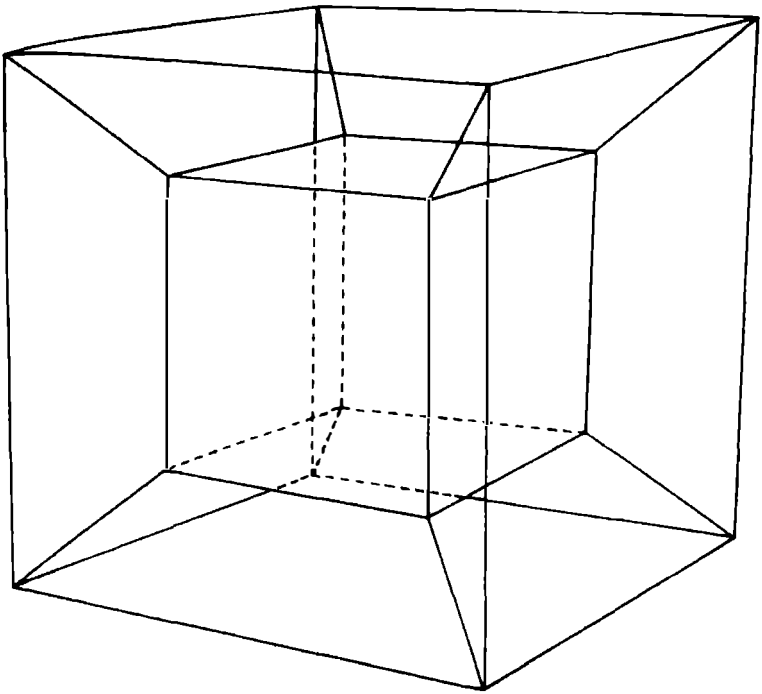
Nesneleri üç uzamsal boyutta canlandıran zihnimiz, daha çok boyutlu nesneleri tam olarak kavrayamaz. Araştırmaları sırasında daha fazla boyutlu nesnelerle düzenli olarak uğraşan fizikçiler ve matematikçiler dahi bu nesneleri gözlerinde canlandırmaya çalışmak yerine onlara soyut matematikle yaklaşırlar. Bununla beraber, hiperküpler gibi daha fazla boyutlu geometrik nesneleri gözümüzde canlandırmak için Yassıülkeliler örneğinden yararlanarak kullanabileceğimiz bazı hileler vardır.

Üç boyutlu bir küp kavramı Yassıülkelilere çok yabancı gelirdi. Bununla beraber, onlara küp kavramını en az iki yoldan aktarabilirdik. Bunlardan ilki, eğer boş bir küpü açacak olursak, doğal olarak ortaya mesela haç şeklinde sıralanabilecek altı tane

kareden oluşan bir dizi çıkardı. Bu karelerin tekrar bir küp şekli oluşturacak şekilde katlanabileceği, bizim için çok açıktır. Yassı-ülkeliler için ise bu olanaksızdır. Aynı şekilde, daha çok boyutlu varlıklar, bir hiperküpü tesseract olarak adlandırılan bir dizi üç boyutlu küp haline gelinceye kadar açarak hiperküp kavramını bize aktarabilirler.



Üç boyutlu bir küpü açtığımız zaman haç şeklinde düzenlenmiş bir dizi kare elde ederiz. Dört boyutlu bir hiperküpü açtığımız zaman ise, tesseract olarak adlandırılan, haça benzer bir şekilde düzenlenmiş bir dizi üç boyutlu küp elde ederiz (yukarıda).



Dört boyutlu bir hiperküpün üç boyutlu evrenimize düşen gölgesi, küp içinde küp gibi görünecektir.

(Bir tesseract'ın belki de en meşhur resmi, Salvador Dali'nin New York Metropolitan Müzesi'nde sergilenmekte olan İsa'nın çarmıha gerilmesi tablosunda bulunmaktadır. Tabloda Mary Magdalena, haç şeklinde düzenlenmiş bir dizi küpün önünde havada duran İsa'ya bakmaktadır. Yakından incelendiği zaman haçın aslında bir haç değil, açılmış bir hiperküp olduğu görülmektedir.)

Küp kavramının bir Yassıülkeliye anlatılabileceği başka bir yol daha bulunmaktadır. Eğer küpün kenarları çubuklardan yapılırsa ve küpün içi boş olursa, küpün üzerine bir ışık tutabilir ve gölgesinin iki boyutlu bir düzlem üzerine düşmesini sağlayabiliriz. Yassıülkeli, küpün gölgesini derhal bir kare içindeki kare olarak tanımlayacaktır. Eğer küpü döndürürsek, küpün gölgesi

Yassıülkelilerin kavrayışını aşan geometrik değişiklikler geçirecektir. Benzer şekilde, kenarları çubuklardan meydana gelen bir hiperküpün gölgesi de bize bir küp içindeki küp olarak görünür. Eğer hiperküp döndürülecek olursa, küp içindeki küpün kavrayışımızı aşan geometrik dönüşler yaptığını görürüz.

Özet olarak, daha çok boyutlu varlıklar daha az boyutlu nesneleri gözlerinde kolaylıkla canlandırabilirler, fakat daha az boyutlu varlıklar, gözlerinde daha çok boyutlu nesnelerin yalnızca kesitlerini veya gölgelerini canlandırabilirler.

Daha Çok Boyutlu Bir Uzaya Yolculuk

Onuncu boyuta yolculuk nasıl bir şey olurdu acaba?

Bir an için, parmaklarımızdan üçünü iki boyutlu bir evrene sokmaya karar verdiğimizi, Bay Kare gibi bir Yassıülkeliyi yüzeyden sıyırdığımızı ve üç boyutlu kendi evrenimize getirdiğimizi varsayın. Yassıülkeli, vücudunun etrafında havada uçan, sonra hızla yaklaşan ve kendisini yakalayan üç daire görür. Kendisini Yassıülkeden çıkartırken, incelemek amacıyla gözlerimize yaklaştırırız. Ne var ki, Yassıülkeli evrenimizin yalnızca iki boyutlu kesitlerini gözünde canlandırabilmektedir. Yassıülkeli üç boyutta hareket ederken kesitleri tarayan gözleri, Yassıülkenin fizik yasalarına aykırı şekilde ortaya çıkan, büyüyen ve küçülen, renk değiştiren ve sonra ortadan kaybolan şekiller görmektedir.

Örnek olarak bir havuç düşünün. Biz bir havucu bütünüyle gözümüzün önüne getirebiliriz, fakat bir Yassıülkeli getiremez. Bir havuç bir sürü dairesel parça şeklinde dilimlenirse bir Yassıülkeli her dilimi hayalinde canlandırabilir, fakat bütün havucu asla canlandıramaz.

Şimdi Yassıülkeliyi iki boyutlu evreninden sıyırıp üç boyutlu evrenimizde tıpkı kâğıttan bir bebek gibi serbest bırakalım. Evrenimizde süzülerek dolaşan Yassıülkeli, bir havucu hâlâ gözünde canlandıramaz veya nereye gittiğini göremez. Gözleri kafasının iki yanında olduğu için yalnızca iki boyutlu bir düzlemde, yanlamasına görebilir.

Havucun ucu görüş alanına girdiği zaman, Yassıülkeli yoktan var olan küçük turuncu bir daire görecektir. Yassıülkeli süzülmeye devam ettikçe turuncu dairenin yavaş yavaş büyüdüğünü görür. Elbette Yassıülkeli, yalnızca dairelere karşılık gelen havuç dilimlerini görmektedir.

Sonra, Yassıülkeli turuncu dairenin yeşil bir daireye (havucun yeşil tepesi) dönüştüğünü görür. Yeşil daire, gizemli bir şekilde ortaya çıktığı gibi, birdenbire ortadan kaybolur.

Benzer bir şekilde eğer biz daha fazla boyutlu bir varlıkla karşılaşsaydık, önce etrafımızda endişe verici bir şekilde dolaşan, giderek yaklaşan, etten yapılmış üç küre görebilirdik. Etten küreler bizi yakalayıp daha çok boyutlu uzaya fırlattığı zaman, daha üst evrenin yalnızca üç boyutlu kesitlerini görürdük. Nesnelerin ortaya çıktığını, renk değiştirdiğini, ölçülerinin büyüyüp küçüldüğünü ve sonra birdenbire ortadan kaybolduğunu görürdük. Bu nesnelerin aslında daha fazla boyutlu bir nesnenin parçası olduklarını anlayabiliyor olmamıza karşın, bu nesnenin tümünü veya daha fazla boyutlu bir uzayda yaşamın nasıl olacağını gözümüzde canlandırma olanağı bulamazdık.

Uzay–Zamanın Eğriliği

Uzay sapması nedir?

Bir uzay sapması, uzay-zaman dokusunda madde ve enerjinin varlığı nedeniyle ortaya çıkan bozulmadır. Bölüm 2'de gördüğümüz gibi, Einstein uzay-zamandaki bu bozulmayı kütleçekimi kuvvetinin kökeni olarak yorumlamıştır. Bir uzay sapmasının etkisini gözünüzde canlandırmak için, Kolomb'un zamanına, insanların çoğu tarafından Dünya'nın düz zannedildiği günleri düşünün. Etrafına bakan insanlara Dünya elbette düz görünüyordu, fakat bunun nedeni yalnızca onların Dünya'nın çapına kıyasla çok küçük olmalarıydı.

Aynı şekilde bugün biz çevremizdeki evrenin düz olduğunu varsayıyoruz, fakat bunun nedeni yalnızca evrenin bu kadar büyük olmasıdır.

Eğer bir böcek bir kürenin üzerinde yürüyor olsaydı, Kolomb'un çağdaşlarına çok benzer bir şekilde kürenin düz olduğunu varsayardı. Ancak, bu böcek Dünya'nın yüzeyi boyunca ilerleyerek başladığı noktaya ulaşabilirdi. Bu şekilde, bir kürenin iki boyutta sonsuz ve sınırsız olmasına karşın üç boyutta sonlu olduğunu görmekteyiz.

Evrenimiz, Büyük Patlamadan bu yana genişlemekte olan bu hiperkürenin yüzeyinde yaşamaktadır. Galaksiler, şişirilen bir balonun üzerindeki noktalar gibi sürekli olarak birbirinden uzaklaşmaktadır. (Bununla birlikte, Büyük Patlamanın nerede meydana geldiğini sormanın faydası yoktur. Balonun başlangıçtaki genişlemesi, belli ki balon yüzeyinin herhangi bir yerinde meydana gelmemiştir. Aynı şekilde, Büyük Patlama dört boyutlu uzay-zamanın yüzeyinde meydana gelmemiştir. Büyük Patlamanın nerede meydana geldiğini açıklamak için beş boyuta ihtiyacımız bulunmaktadır.)

Geometride örneğin bir üçgenin iç açıları toplamının 180 derece olduğunu öğreniriz. Ancak, bu yalnızca düz bir yüzey üzerindeki bir üçgen için geçerlidir. Eğer üçgen, bir küre yüzeyinde ise, açıların toplamı 180 dereceden fazla olurdu. (Küreyi pozitif eğriliğe sahip olarak tanımlarız.) Eğer üçgen mesela bir trompet veya eyerin iç yüzeyinde olsaydı, açıların toplamı 180 dereceden az olurdu. (Bu yüzeyler, negatif eğriliğe sahiptir.)

Öklitçi Olmayan Geometri

Eski matematikçiler evrenimizin kavisli olup olmadığını anlamaya çalışmışlardır. Örneğin on dokuzuncu yüzyılda Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss, asistanlarını bir üçgenin köşelerini oluşturan üç tepenin üzerine çıkartmıştı. Gauss, bu muazzam üçgen tarafından yaratılan açıları ölçmek suretiyle, evrenimizin yassı mı, yoksa kavisli mi olduğunu belirlemeye çalışıyordu. Ne yazık ki bulabildiği tek şey açıların toplamının 180 derece olduğuydu, yani ya evren düzdü, ya da kavis görülemeyecek kadar küçüktü.

Eğri uzayı konu alan matematiğin merak uyandırıcı bir hikayesi vardır. M.Ö. 300 sıralarında Yunanlı büyük geometrici İskenderiyeli Öklit, bir dizi temel postulattan başlayarak geometrinin kurallarını sistematik olarak yazan ilk kişidir. Aradan geçen yüzyıllar boyunca bunlardan üzerinde en çok tartışılan, onun elimizde bir nokta ve bir doğru varsa o doğruya o noktadan geçen tek bir paralel doğru çizebileceğimiz şeklinde ifade edilebilecek "beşinci postulatıdır".

Masum görünüşlü bu mantıklı ifade, sonraki iki bin yıl boyunca beşinci postulatın daha önceki dört postulattan türetilebileceğine inanan matematikçilerin ilgisini uyandırmıştır. Yüzyıllar boyunca girişken genç matematikçiler düzenli aralıklarla "beşinci postulatı kanıtladıkları" yolunda duyurular yapmışlarsa da, kanıtlarında daima hatalar bulunmuştur. Matematikçiler, ne kadar uğraşırlarsa uğraşsınlar, beşinci postulatı türetmeyi başaramamışlardır; aslına bakılacak olursa, hiç bir kanıtın mümkün olmadığından kuşkulanmaya da başlıyorlardı.

Bulmaca, 1829 yılında Rus matematikçi Nicolai Ivanovitch Lobachevsky tarafından çözüldü. Lobachevsky, Öklit'in beşinci postulatının kanıtlanmasının olanaksız olduğunu varsayarak içinde beşinci postulatın gerçekten yanlış olduğu yeni bir geometri inşa etmişti. Öklitçi olmayan geometrinin doğuşu, böylece gerçekleşti.

Ne yazık ki, son derece fakir olan Lobachevsky için çalışmalarının daha yaygın şekilde duyulmasını sağlamak zordu. Diğer bazı matematikçilerin aksine, aristokrasinin bir üyesi veya sarayın gözdelerinden biri değildi. Aslına bakılacak olursa asla sosyal bir konumdan yararlanmadı ve çarların hüküm sürdüğü bir ortamda beğenilmeyen liberal görüşleri sık sık destekliyordu. İçinde bulunduğu yalnızlık, Öklit'in hatalı veya eksik olabileceği düşüncesine çok sayıda matematikçinin düşmanca bir tavır sergilemesi yüzünden abartılı bir hal almıştı. Aslında Gauss da birkaç yıl önce aynı sonuçlara bağımsız şekilde ulaşmış, fakat yaratabileceği politik tepkiler nedeniyle bu sonuçları hiç bir zaman yayımlamamıştı.

1854 yılında Alman matematikçi Bernhard Riemann, bu kuramların daha fazla boyuta nasıl taşınacağını göstermek suretiyle yeni geometriyi tam olarak açıkladı. Riemann, bütün bu Öklitçi olmayan geometrilerin rastgele bir eğriliğe sahip yüzeylere ait geometriler olarak ifade edilebileceğini gösterdi.

Lobachevsky gibi Riemann da sarayın gözdeleri arasında değildi. Yüzyılın en güçlü matematik çalışmalarını yaparken, yoksulluk içinde yaşamaktaydı. Bu yetmiyormuş gibi, ailesinin birkaç üyesini desteklemek de ona düşmüştü. 1859 yılında şansı nihayet döndü ve Göttingen'de bir profesörlük işi kaptı. Bununla beraber, yıllardır ihmal ettiği sağlığı ona oyun oynadı ve 1866 yılında, otuz dokuz yaşında tüberkülozdan öldü.

Günümüzde Riemann geometrisi genel göreliliğin matematiksel temelidir. Aslına bakılacak olursa Einstein, kuramının büyük bir kısmını olduğu gibi matematikçilerden ödünç almıştı. Ne yazık ki Riemann, kuramlarının günün birinde evreni anlamayı sağlayacak çerçeveyi sağladığını görecek kadar yaşayamadı.

En Uzak Yıldız Nerede?

Varsayalım ki biz görece küçük bir gezegen üzerinde yaşıyoruz. Evrenin en uzak noktası neresidir diye sorabiliriz. Eski filozoflar bu soruyu sormuşlar ve en uzaktaki nesneden sonra neyin var olduğunu merak etmişlerdi. Eğer evren yeterince küçük bir hiperküre ise, teleskoplarımız onun çevresinde tam bir tur atan ışığı alma olanağına sahip olurlardı ve biz de evrendeki en uzak nesnelerin kendi kafamızın arkası olduğunu keşfedip epeyce şaşırırdık.

Bir balonun yüzeyinde yaşayan bir böceği gözünüzün önüne getirin. Bir an için balonun yüzeyinde ışığın yalnızca dairesel bir yolda gidebildiğini varsayın. Eğer böcek bir teleskopa bakıyor olsaydı, böcekten gelen ışık balonun etrafında tam bir tur atabilir ve böceğin teleskopuna geri gelebilirdi. Eğer böcek evrendeki en uzak nesneyi arıyor olsaydı, en sonunda bir teleskopa bakan kendi görüntüsünü görürdü.

Benzer şekilde, eğer küçük bir hiperkürede yaşıyor olsaydık, ışık evrenimizin çevresinde tam olarak dolaşabilirdi. O zaman, en güçlü teleskoplarımızla evrende göreceğimiz en uzak nesne, teleskopa bakan birinin (bizim) görüntümüz olurdu. En uzak yıldız bizim kendi Güneş'imiz olurdu.

Işık, elbette bu küçük hiperkürenin etrafında pek çok kez dolaşabilirdi. Bunun anlamı, teleskopumuza hafifçe farklı bir açıdan tekrar bakacak olursak, bizim kopyamız olan birine bakan kendi görüntümüzü görürdük. Bakış açımızı biraz değiştirirsek, her biri teleskopla önündeki kişiye bakan sonsuz sayıda kişi görürüz. Gözlerimiz elbette sonsuz sayıda dizilmiş insan görmektedir, çünkü gözlerimiz yalnızca üç boyutlu nesneleri algılayabilir. Gerçekte gözlerimiz, yalnızca evreni pek çok kez dolaşan ışığı almaktadır.[4]

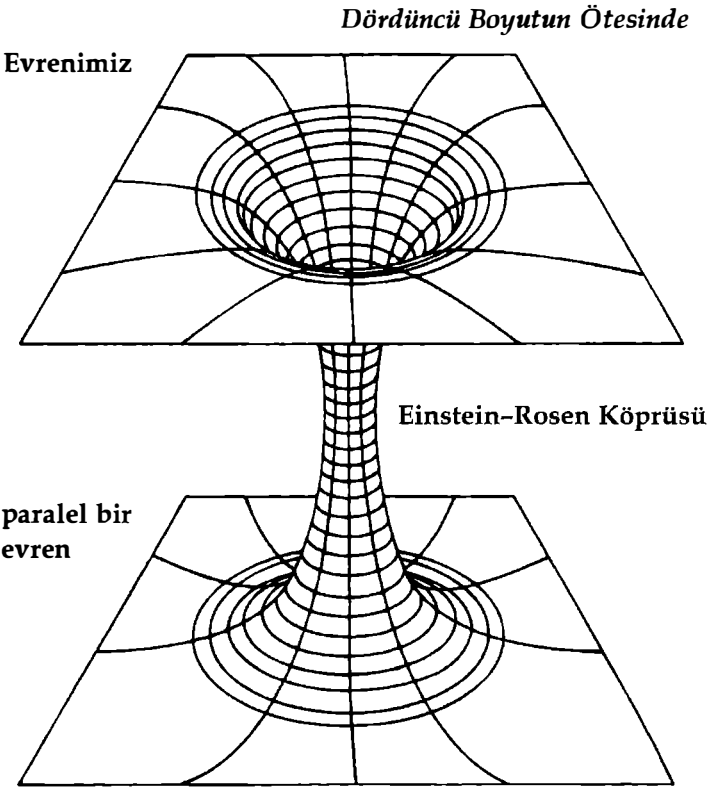
Kara Delikler

Bunların hepsi epeyce spekülatif gibi görünse de, Hubble Uzay Teleskopunu kullanan bilim insanları 1994 yılında M87 galaksisinde bir kara delik bulunduğunu onayladılar. Önümüzdeki birkaç yıl içerisinde uzay araştırması yapan araçlarımız dış uzaya bakmayı ve kütleçekimsel çöküşle karşılaşmış muazzam yıldızların kalıntıları olan daha fazla kara deliği tanımlamayı başaracaklardır.

Bize Einstein tarafından bırakılan fotoğrafı tekrar inceleyecek olursak, kara deliğin temel olarak uzay-zaman dokusu içerisinde borazana benzeyen, uzun bir çöküntü tarafından temsil edildiğini görürüz. Bununla beraber, Einstein yıllar önce bu resmin tam anlamıyla doğru olmadığına dikkat etmiştir. Görünüşe göre, eğer borazana benzeyen bu çöküntüden yalnızca bir tane olursa, ortaya çelişkili sonuçlar çıkmaktadır. Aslında Einstein, kara deliğin kendi içinde tutarlı bir resmini (bir sonraki sayfaya bakınız) meydana getirmek için bu borazanımsı çöküntülerden iki tanesini kullanmak zorunda kalmıştı.

Kara deliğin tamamen farklı iki evren arasındaki bir "geçit" gibi göründüğüne dikkat edin. Elbette kütleçekimsel kuvvetler o

denli büyük olurdu ki, bu kara deliğe düşen biri ezilerek ölürdü. Dolayısıyla bu garipliklerin başka bir paralel evrene geçiş yolu gibi görünüyor olması, Einstein için matematiksel bir tuhaflıktı. Nereden bakılırsa bakılsın, "köprünün" (bazen Einstein-Rosen köprüsü olarak adlandırılır) ortasında kütleçekimi sonsuz değere ulaşır ve bu iki evren arasında herhangi bir iletişim mümkün değildir. İnsanın atomları ve çekirdekleri, merkezdeki kütleçekimsel kuvvetler tarafından paramparça edilir.



Bir kara delik, paralel bir evrene giden bir geçit olarak görülebilir. İşin "püf noktası", Einstein-Rosen Köprüsünün ortasındaki kütleçekimsel kuvvetlerin bu iki evren arasındaki iletişimi muhtemelen olanaksız hale getirecek olmasıdır.

Bununla beraber, fizikçi Roy P. Kerr, 1963 yılında dönen bir kara deliğin bir nokta şeklinde değil, tıpkı bir krep gibi sonsuz derecede ince bir halka halinde çöktüğünü keşfetti. Açısal momentumun korunması nedeniyle kara deliklerden çoğunun hızla dönüyor olmasını bekleriz, bu nedenle kendisine verilen adla Kerr ölçeği, bir kara delik için daha uygun bir modeldir.

Bununla beraber, Kerr ölçeği biraz gariptir, çünkü eğer bir insan eksene dik olacak şekilde doğruca halkanın içine düşecek olursa, yerçekimsel kuvvetler sonsuz değildir. Bu durum, gelecekte uzay araştırma araçlarının doğruca dönen bir kara deliğe gönderilebileceği ve bir başka, paralel evrenden çıkabileceği gibi pek alışılmamış bir olasılığı gündeme getirmektedir. Aslına bakılacak olursa, böyle bir roketin bir evrenden diğerine hareket ederken çizeceği yolun haritasını hassas bir şekilde çizmek de mümkündür.

Eğer bu halkaya yan taraftan yaklaşacak olursak, o zaman tıpkı normal bir kara delikten geçmeğe çalıştığımız zaman olacağı gibi, eziliriz. Bununla beraber, eğer halkaya üstten yaklaşırsak, kütleçekimsel kuvvetler muazzam olacak, fakat sonsuz olmayacaktır.

Stephen Hawking ve meslektaşı Roger Penrose, bu garip Kerr kara deliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Bulgularına göre, Einstein-Rosen köprüsünün boyun kısmı kendi etrafında bükülerek evrenin başka bir yerinden çıkabilir. Bu durum, evrenin farklı kısımları arasında boyutsal bir köprü olasılığını ortaya çıkartmaktadır.

Böyle bir köprü neye benzerdi? Bir an için, bir Kerr döner kara deliği keşfettiğimizi varsayalım. Kara deliğin içine, halkaya dik yönde olacak şekilde roketler gönderirsek, bunlar kara deliğin öbür tarafından dışarı çıkmayacaktı. Aslında bunlar, evrenin öbür tarafında ortaya çıkarlardı. Bu bağlamda köprü, uzayın öbür tarafına giden çok kullanışlı bir yolcu geçidi olarak kullanılabilirdi.

Bilimkurgu yazarları için bu olasılık hayranlık verici olsa da, bu köprülerin varlığı kesin değildir. Einstein'ın denklemlerinin çözümleri olarak bulunmuş olmaları, yeterli değildir. Bu solu-

can delikleri için gerekli düzeltmeleri hâlâ hesaplamak zorundayız.

Genel görelilikte kuantum düzeltmelerinin hesaplanmasının geleneksel olarak olanaksız olduğu bulunmuştur, bu nedenle kuantum etkilerinin köprüyü kapayıp kapamayacağı daima bir spekülasyon konusu olarak kalmıştır. Bununla beraber, süper sicim kuramının gelişi sayesinde birisinin bir Einstein–Rosen köprüsünde nelerin olduğunu hesaplaması ve kuantum etkilerinin köprüyü kapayıp kapamadığını belirlemesi, yalnızca bir zaman meselesidir.

Pek çok fizikçi, süper sicimlerden kaynaklanan kuantum düzeltmelerinin girişi kapayarak evrenin öbür yanına yapılacak yolculukları olanaksızlaştıracağını düşünmektedir. Bununla beraber, eğer süper sicim düzeltmeleri boyutlar arası köprüyü kapatmazsa, roketleri dönen kara deliğin içine doğrudan göndererek evrenin öbür yanında ortaya çıkmalarını sağlamak gibi ilginç bir olasılık ortaya çıkmaktadır.

Bu köprüler garip olmakla beraber, genel göreliliğin daha da garip etkileri mevcuttur. Süper sicimlerin gelişi ile, zamanda garip bozulmalar meydana gelmesinin mümkün olup olmadığını öğrenme olanağı bulabiliriz.

13
Geleceğe Dönüş

LEWIS CARROLL'UN *Alis Harikalar Diyarında* adlı kitabında Alis aynanın içine yürür ve başka bir evrene girer. Bu alternatif evrende her şey tanıdık görünmektedir, fakat bir farklılığa sahiptir. Harikalar Ülkesinde mantık ve sağduyu, tersine dönmüştür.

Carroll'un gerçek ismi Charles Lutwidge Dodgson idi; Oxford'da ders veren bir matematikçiydi ve matematiksel mantık alanına özgün katkılar yapmıştı. (Kraliçe Viktorya onun çocuk kitaplarını o denli beğenmişti ki, yazacağı bir sonraki kitabı göndermesini ısrarla istemişti. O da bu isteğe hemen uydu ve kraliçeye soyut matematik konusundaki en son kitabını gönderdi.)

Carroll, *Alis Harikalar Diyarında*'yı temel olarak mantık oyunlarıyla çocukları eğlendirmek amacıyla yazmıştı. Gerçekte Carroll, çocuklara kuralları bizimkinden tamamen farklı başka dünyaların var olabileceğini anlatmaktaydı.

Bununla beraber, modern fiziğin bakış açısından bakarak şöyle sorabiliriz: Bilim, bizimkine benzeyen paralel dünyalar ko-

nusunda ne diyor? Anti madde evrenlerden, ters evrenlerden, zamanı geriye akan evrenlerden ne haber? Şaşırtıcı bir şekilde, GUT kuramları ve süper sicimler bu değişik türdeki evrenlerin olma olasılığı üzerinde pek çok şey söylemektedir.

Alternatif dünyalar olasılığına kapıları açan ilk kişi, kuantum mekaniğinin kurucularından biri olan ve anti madde kuramını kazara keşfeden Paul Dirac'dır.

Anti Madde

Dirac, Heisenberg'den bir yıl sonra, 1902 yılında doğdu. İngiltere'deki Bristol Üniversitesi'nden on sekiz yaşında elektrik mühendisi olarak mezun oldu ve bir iş bulamadı. Kendisine Cambridge Üniversitesi'ne girmesi teklif edildiyse de, parasızlık yüzünden bunu geri çevirdi. İşsiz olarak ailesiyle birlikte kaldı ve 1923 yılında uygulamalı matematik dalında bir B.A. derecesi aldı.

1925 yılında, yirmili yaşlarının başlarında bulunan başka bir fizikçinin, madde ve ışınım (kuantum mekaniği) konusunda yeni bir kuram yaratmakta olan Heisenberg'in heyecan verici çalışmalarından haberdar oldu. Dirac, daha önce fizik alanı ile şaşılacak kadar az teması olmasına karşın büyük bir hızla ileri atıldı ve kuantum mekaniği alanına son derece orijinal katkılarda bulundu.

1928 yılında, o sırada yalnızca yirmi altı yaşında olan Dirac, Schrödinger denkleminin göreli olmayışından ve yalnızca ışık hızından çok daha yavaş hızlar için işe yaramasından rahatsızlık duymaktaydı. Dirac ayrıca, Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ denkleminin tam anlamıyla doğru olmadığına da dikkat etmişti. (Einstein doğru denklemin $E = \pm mc^2$ olduğunun farkındaydı, fakat kuramı kuvvetlerle yaratmakta olduğu için eksi işaretine aldırmamıştı.) Dirac, elektron için yeni bir tür denklem (şimdi Dirac denklemi olarak anılır) yaratmakta olduğu için, maddenin negatif enerji yüklü olması olasılığını göz ardı edemezdi. Eksi işareti insanı meraklandırıyordu, çünkü bu, tamamen yeni bir madde türünü öngörüyormuş gibi görünmekteydi.

Dirac, negatif enerjili maddenin tamamen alelade madde gibi görüneceğini, fakat zıt yüke sahip olacağını buldu. Örneğin anti elektron pozitif yüklü olacaktı ve ilke olarak negatif yüklü bir anti protonun etrafında dönebilir, böylece bir anti atom yaratabilirdi. Bu anti atomlar da birleşerek anti moleküller ve hatta anti maddeden yapılmış anti gezegenler ve anti yıldızlar yaratabilirlerdi.

Dirac, ilk makalesinde muhafazakâr davranıyor ve protonun elektronun karşılığı olabileceği yolunda yorumlar yapıyordu. Bununla beraber, denklemi tarafından yeni bir madde türünün öngörülüyor olabileceği olasılığını tamamen açık bırakmıştı.

İlk olarak Dirac tarafından öngörülen anti maddenin varlığı, sonradan California Teknoloji Enstitüsünden Carl Anderson tarafından, bir manyetik alan içerisinde yanlış yöne giden bir elektronun fotoğrafında dikkat çeken kozmik ışın izlerinin incelenmesi sonucunda anti elektron'un (pozitron olarak adlandırılır) keşfedilmesiyle kesin olarak kanıtlandı. Bu, hiç şüphe götürmez bir şekilde pozitif yüklü bir elektrondu.

Dirac, çalışmalarından ötürü 1933 yılında, otuz bir yaşındayken Nobel Ödülü ile ödüllendirildi ve ayrıca kendisine yüzyıllar önce Isaac Newton tarafından işgal edilmiş olan Lucasian profesörlüğü* unvanı verildi. Aradan fazla zaman geçmeden, 1936 yılında, Anderson da Nobel Ödülünü kazandı.

Heisenberg, Dirac'ın elde ettiği sonuçlardan o kadar etkilenmişti ki, şöyle dedi: "Zannediyorum ki, elemanter parçacıkların yapısı veya özellikleriyle bağlantılı en önemli keşif, Dirac tarafından anti maddenin keşfedilmesi olmuştur."[1]

Madde ve anti madde çarpışırlarsa birbirlerini nötralize ederler ve muazzam bir enerji açığa çıkar. Büyük bir anti madde parçasını incelemek, imkânsız olmasa bile çok zor olurdu, çünkü alelade malzeme ile temas etmesi, hidrojen bombasından çok daha büyük bir patlama meydana getirirdi.

---

* **Lucasian Matematik Profesörü**, Cambridge Üniversitesinde bir matematik profesörlüğü. Bu profesörlük unvanı 1639–1640 yıllarında Cambridge Üniversitesi Parlamentosu üyeliği yapan Henry Lucas tarafından 1663 yılında kuruldu. Dünyanın en saygın akademik unvanlarından biri olarak kabul edilir. (Ç.N.)

Maddenin ve anti maddenin enerjiye dönüşümü, bir hidrojen bombasında enerjinin açığa çıkmasından çok daha verimlidir. Bir nükleer patlamada maddenin enerjiye dönüşme verimi yalnızca yüzde 1 civarındadır. Anti madde bombaları, eğer yapılabilirlerse, yüzde 100 düzeyine kadar verimli olabilirlerdi. (Bununla beraber, nükleer bomba yapmak için anti madde kullanılması hiç uygulanabilir değildir. Anti madde bombaları kuramsal olarak yapılabilirse de, maliyetleri yarılarına yaklaşılmayacak kadar yüksek olurdu.)

Günümüzde anti madde ile ayrıntılı deneyler yapılmaktadır. Aslına bakılacak olursa, dünyanın çeşitli yerlerinde birkaç atom parçalayıcısında fizikçiler saf anti elektrondan oluşan ışınlar üretmekte ve sonra bunları elektron ışınları ile çarpıştırmaktadır. (Bu ışınlar çok yoğun olmadıkları için, madde ile anti maddenin ani çarpışması enerji açığa çıkmasına neden olur, fakat bir patlamaya yol açmaz.) Gelecekte madde ve anti madde uzay yolculukları için olası bir enerji yakıtı olarak kullanılabilir (yalnızca eğer evrende büyük anti madde parçaları bulabilirsek).

Bilimkurgu romanlarında anti maddeyi okuyanların bazıları, anti madde kuramının altmış yaşında olduğunu öğrenerek şaşırmaktadırlar. Anti maddenin varlığının daha yaygın şekilde biliniyor olmamasının nedeni, belki de Dirac'ın sade bir insan olması, başarılarıyla asla böbürlenmemesidir. Aslında onun suskun hali öylesine meşhurdu ki, Cambridge'deki öğrenciler "Dirac" kelimesini konuşkanlık birimi olarak adlandırmışlardı. Bir Dirac, yılda bir kelimeydi.

Zamanda Geriye Gitmek

Feynman 1940'ların başlarında, hâlâ Princeton Üniversitesinde bir lisansüstü öğrencisiyken, anti maddenin yapısına ilişkin yeni bir yorum ileri sürdü. Feynman, QED (kuantum elektrodinamiği) kuramında zamanda ileriye giden anti maddenin zamanda geriye giden alelade maddeden ayırt edilemez olduğuna dikkat etmişti.

Bu keşif, anti maddenin tamamen yeni (fakat eşdeğer) bir şekilde yorumlanmasına olanak sağlıyordu. Örneğin bir elektronu bir elektrik alanı vasıtasıyla ittiğimiz zaman, diyelim ki sola doğru hareket ediyor olsun. Eğer elektron zaman içerisinde geriye gidiyor olsaydı, sağa doğru hareket edecekti. Bununla beraber, sağa doğru hareket eden bir elektron, bize negatif değil, pozitif yüklü bir elektron olarak görünecekti. Dolayısıyla, zamanda geriye giden bir elektronun zamanda ileriye giden anti maddeden ayırt edilmesi olanaksızdır. Başka bir deyişle, Carl Anderson'un kozmik ışın deneyleri sırasında fotoğrafını çektiği, sanki pozitif bir yüke sahipmiş gibi davranan elektron, aslında zamanda geriye gitmekteydi.

Zamanda geriye giden parçacıklar, Feynman diyagramlarına yeni bir yorum getirdi. Bir elektron ile bir anti elektronun çarpıştığını ve bir enerjinin serbest kaldığını varsayalım. Eğer antielektronun üzerindeki oku tersine çevirerek zamanda geriye gitmesini sağlarsak, bu diyagramı yeniden yorumlayabiliriz. Yeni yorumda bir elektron zamanda ileriye gitmekte ve bir fotonluk enerji açığa çıkartmakta ve aynı elektron, zamanda geriye gitmektedir.

Aslında Feynman, ister zamanda ileriye giden anti maddeyi, isterse zamanda geriye giden alelade maddeyi tanımlıyor olsun, bütün QED denklemlerinin aynı olduğunu göstermişti. Bu acayip durum, Princeton Üniversitesinden John Wheeler'in bütün evrenin bir tek elektrondan yapıldığı yolundaki tuhaf kuramına olanak sağlamaktadır.

Feynman Princeton'da öğrenciyken, danışmanı olan Wheeler bir gün evrendeki bütün elektronların neden birbirine benzediğini bildiğini söyledi. Kimya öğrencilerinin hepsi, bütün elektronların aynı olduğunu öğrenir. Şişman elektron, yeşil elektron veya uzun elektron olmaz.) Wheeler, bütün elektronların aynı göründüğünü, çünkü zaten hepsinin aynı elektron olduğu varsayıldığı takdirde bunun açıklanabileceğini önerdi.

Örneğin, yaratılış olayını gözünüzün önüne getirin. Büyük Patlamanın kargaşa ve ateşinin içinden tek bir elektronun çıktığını varsayalım. Bu elektron, başka bir büyük felaketle -zama-

nın sonuyla veya Kıyamet Günüyle- karşılaşıncaya kadar milyarlarca yıl boyunca zamanda ileriye hareket edecektir. Her şeyi yok eden bu felaket ise, elektronun yönünü tersine çevirir ve onu zamanda geriye gönderir. Aynı elektron Büyük Patlamaya geri döndüğü zaman, yönü tekrar tersine döner. Elektron, bir sürü elektrona bölünmemektedir; Büyük Patlama ile Kıyamet Günü arasında bir masa tenisi topu gibi ileri geri gidip gelen, aynı elektrondur. Büyük Patlama ile Kıyamet Günü arasında, yirminci yüzyılda oturan birisi, çok sayıda elektron ve anti elektron görecektir. Aslında, elektronun evrendeki bütün elektronları meydana getirecek kadar çok kez ileri geri gidip geldiğini varsayabiliriz. (Elbette, *uzayda* ileri geri gidip gelen bir nesne, kendisinin birden fazla kopyasını yaratamaz. Ancak, *zamanda* ileri geri gidip gelen bir nesnenin kopyaları olabilir. Örneğin *Geleceğe Dönüş* filminin sonunu hatırlayın. Kahramanımız, tam da kendisini zaman makinesinden çıkarken göreceği bir anda şimdiki zamana geri dönmüştür. O sahnede kahramanımızın iki görüntüsü vardır. İlke olarak bu ileri geri gidiş gelişler istendiği kadar tekrarlanarak şimdiki zamanda sonsuz sayıda kopya yaratılabilir.)

Eğer bu kuram doğruysa, vücutlarımızdaki elektronlar aynı elektronlar demektir. Aradaki tek fark, benim elektronlarımın sizinkilerden mesela milyarlarca yıl yaşlı olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer bu kuram doğruysa, bu, kimyanın temel ilkelerinden birini açıklamaya da yarar: Bütün elektronlar benzerdir. (Bu kuramın günümüzdeki ifadesi, tek sicimli bir evren olurdu.)

Wheeler'in tek elektronlu evreni, evrendeki maddenin tümünün varlığını açıklayabilir mi? Madde zamanda geriye giderek anti madde olabilir mi? Bu soruların resmi yanıtı, evettir. Fakat, QED uyarınca zamanda geriye giden madde ile zamanda ileriye giden anti maddeyi ayırt etmeye yaracak hiç bir deney yapılamaz. Dolayısıyla, işe yarar hiç bir bilgi zamanda geriye gönderilemez, bu da zaman yolculuğu olasılığını ortadan kaldırır. Eğer dış uzayda gezinen anti madde görürsek, bunlar bize gelecekten gelmiş olabilirler, fakat biz onları geçmişe sinyal göndermek için kullanamayız.

Ayna Evrenler

Alis aynaya baktığı zaman aynada ters dönmüş bir evren görmüştü. O dünyada yaşayanların çoğu solaktı, insanların kalpleri vücutlarının sağ tarafında bulunuyordu ve saatler, saat yönünün tersine dönmekteydi.

O dünya ne kadar garip görünürse görünsün, fizikçiler böyle bir ayna görüntüsü evrenin varlığının fiziksel olarak mümkün olabileceğini uzun zamandır düşünmektedirler. Örneğin Newton, Maxwell, Einstein ve Schrödinger'in denklemleri, biz onları ters çevirsek dahi, aynı kalmaktadır. Eğer denklemlerimizin sağ ve sol tarafları arasında bir ayrım yoksa, her iki evrenin de fiziksel açıdan olası olması gerekir. "Eşitliğin korunması" olarak adlandırılan bu ilke, Feynman tarafından verilen basit bir örnekle gösterilebilir.

Başka bir gezegenin halkıyla az önce radyo bağlantıları kurmuş olduğumuzu varsayalım. Onları görememekte olsak da, dillerini çözmüş ve onlarla radyo aracılığıyla konuşabilmekte olalım. Bu Dünya dışı temas dolayısıyla heyecan içerisinde, Dünya'mızı onlara anlatmaya başlarız. Sorarız, "Nasıl bir görüntünüz var? Bizim bir başımız, iki kolumuz ve iki bacağımız var." Onlar cevap verir, "Bizim iki dokunacımız ve iki başımız var." Bizim söylediğimiz her şeyi anlamaktadırlar.

Her şey gayet yolunda gitmektedir, ta ki biz "... ve bizim vücudumuzun sol tarafında bir kalbimiz vardır, ama sağ tarafında yoktur," deyinceye kadar.

Onlar yanıt verir, "Anlayamadık. 'kalp' kelimesinin anlamını biliyoruz, çünkü bizde onlardan üçer tane var, fakat 'sağ' ne anlama geliyor?"

Kendi kendimize bunun kolay olduğunu söyleriz. Yanıt veririz, "Bildiğiniz gibi, 'sağ el'de olduğu gibi 'sağ'."

Onlar, biraz şaşırarak yanıt verir, "El kavramını anlıyoruz, çünkü bizde de iki dokunaç var, fakat hangisi bizim sağ dokunacımızdır?"

Biz biraz düşündükten sonra tekrar yanıt veririz, "Eğer vücudunuzu saat yönünde döndürürseniz, o zaman vücudunuz sağa döner."

Uzaylılar yanıt verir, "Döndürmenin ne demek olduğunu anlıyoruz, fakat 'saat yönünde' ne demektir?"

Biz, biraz sinirli bir şekilde sorarız, "Yukarı ve aşağının anlamını biliyor musunuz?"

Onlar yanıt verir, "Evet. Yukarı, gezegenimizin merkezinden uzağa doğru, aşağı ise merkeze doğrudur."

O zaman biz ilave ederiz, "Bir saatin kolları yukarıya bakarken, saat yönünde, sağa doğru hareket ederler."

Onlar şaşkınlıkla yanıt verirler, "Yukarıyı anlıyoruz, saati anlıyoruz, fakat 'sağa' veya 'saat yönü' ifadelerini hâlâ anlayamıyoruz."

Bezgin bir ifadeyle son bir kez daha deneriz: "Eğer kuzey kutbunun üzerinde oturuyorsanız ve gezegeniniz ayaklarınızın altında sağa doğru dönüyorsa, o zaman gezegeniniz sağa doğru dönüyordur."

Onlar yanıt verir, "Kutup kavramını anlıyoruz, fakat Kuzey Kutbu ile Güney Kutbu birbirinden nasıl ayırt edilir?"

Pes ederiz.

Bu hikâyenin amacı, fizikçilerin bir zamanlar 'sağ' ile 'sol' arasındaki farkın yalnızca radyo vasıtası ile anlatılmasının olanaksız olduğunu düşündüklerini göstermektir.

Fizikte çok sevilen bir kavram olan denkliğin korunması kuralına göre sola veya sağa dönen bir dünya mantıklı bir evrendir, bilinen hiç bir ilkeyi ihlal etmez.

Fizikteki bu görüş, Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü'ndeki iki genç fizikçinin çalışmaları sonucunda yerle bir oldu. Şu anda SUNY Stony Brook'ta bulunan "Frank" Yang ve bir başka Çin göçmeni, şu anda Columbia'da bulunan Tsung Dao Lee, zayıf etkileşimlerde denkliğin bozulduğunu gösterdiler. Columbia'dan Profesör Chien Shiung Wu, Kobalt-60 atomlarının genellikle tercih edilen yönde elektron yaymak suretiyle bozunduğunu kanıtlayarak bunu deneysel olarak doğruladı.

Deneyin sonuçları duyurulduğu zaman, fizikçiler şok geçirdiler. Haberleri duyan Pauli, duygularını "Tanrı bir hata yapmış olmalı!" diyerek açıklamıştı.

Fizik dünyası, sağ ve sol evrenler arasında ayrım yapılabileceğini gösteren Yang ve Lee'nin kuramı ile fena halde sarsılmış-

tı. Kuramları ne kadar garip olursa olsun, deneysel sonuçlar kesindi ve onlara 1957 yılında Nobel Ödülünü kazandırdı.

Şimdi Yang ve Lee'nin tarihe geçen sonuçlarıyla silahlanmış olarak tekrar radyonun başına geçebilir ve uzaylılara şöyle diyebiliriz, "Buldum. Bir parça Cobalt60 alın, bir manyetik alan içerisine yerleştirin, yaydığı elektronlar Kuzey Kutbuna yönelecektir. Kuzey kelimesinin anlamını öğrendiğiniz zaman saat yönü ve sağ kelimelerinin anlamını da bulabilirsiniz."

Uzaylılar yanıt verir, "Kobalt-60'ın ne olduğunu anlıyoruz, Hangi elementin çekirdeğinde 60 elektron bulunduğunu biliyoruz. Bu deneyi yapabiliriz."

Böylece, Lee ve Yang'ın öncü çalışmaları sayesinde sağ ve sol kavramlarını anlatmak nihayet mümkün olur.

Diyelim ki sonunda bizi o gezegene götürebilecek kadar büyük roketler yapmayı başardık. Bu tarihi olay sırasında karşılaştığımız zaman karşılıklı olarak "sağ" elimiz veya dokunacımızla el sıkışmak konusunda önceden anlaşırız.

Gün geldiğinde, karşılaşırız ve sağ elimizi uzatırız. Aniden fark ederiz ki, uzaylılar sol dokunaçlarını uzatmaktadırlar.

Bir anda, ortada bir hata olduğunu anlarız. Uzaylılar, anti maddeden yapılmışlardır. Meğerse bütün bu zaman boyunca anti maddeden yapılmış olan, anti Kobalt-60 ile deney yapan ve kuzeye değil, güneye giden elektronların dönüşlerini ölçen uzaylılarla konuşmuşuzdur. Sonra, aklımıza birdenbire korkunç bir düşünce takılır. Eğer uzaylıların sol dokunaçlarıyla el sıkışacak olursak hepimiz birden bir madde-anti madde çarpışması ile havaya uçacağız!

CP İhlali

Denklik tahtından indirilmiş olsa da, 1960'lı yıllara kadar hâlâ bir ümit olduğuna inanılmaktaydı. Anti maddeden yapılmış, sağ eli ile sol eli tersine dönmüş bir evren, hâlâ mümkündü. Evrenin denklemlerinin CP dönüşümü (C harfi maddeyi anti maddeye dönüştüren "yük eşleniği", P ise sol ile sağı yer değiştirten

"eşlik" dönüşümü anlamına gelir) altında aynı kaldığına inanılmaktaydı.

Böylece, uzaylının maddeden mi, yoksa anti maddeden mi yapıldığını önceden bilmediğimiz takdirde sol ve sağ kavramlarını bir uzaylıya radyo aracılığı ile anlatmak olanaksızdı. Görünüşe göre simetri, evrene geri dönmüştü.

Ne var ki, 1964 yılında Brookhaven Ulusal Laboratuarı'ndan Val L. Fitch ve James W. Cronin, belli bazı mezonların bozunması incelenirken CP'nin dahi ihlal edildiğini kanıtladılar. Bu, madde ile anti maddeyi ve sağ ile solu yer değiştirdiğimiz zaman, evrenin yasalarının aynı kalmadığı anlamına gelmekteydi.

CP ihlali haberleri, başlangıçta hayal kırıklığı ile karşılandı. Bu, evrenin başlangıçta ümit edilenden daha az simetrik olduğu anlamına geliyordu. Her ne kadar bu durum önemli herhangi bir kuramın yanlış olduğunu göstermiyorsa da, doğanın yarattığı evrenin fizikçilerin tahmininden çok daha fazla şaşırtıcı olduğunu gösteriyordu. Bununla beraber, günümüzde GUT kuramı, CP ihlalinin neden aslında kıyafet değiştirmiş bir avantaj olabileceğini açıklamaktadır.

Evrenin kökenine ilişkin kuramlar, evrende neden aynı miktarda madde ve anti madde göremediğimizi daima sorgulamıştır. Gökyüzünde madde ile anti maddeyi ayırt etmek kolay olmasa da, gökbilimciler görülebilir evrende bulunan anti madde miktarının ihmal edilebilir düzeyde olduğuna inanmaktadırlar.

Madde ile anti madde arasındaki dengesizliğin sorumlusu nedir? Evrenimiz, neden madde tarafından istila edilmiştir?

On yıllar boyunca, belki de madde ile anti maddenin görülemeyen bir kuvvet tarafından birbirinden uzakta tutulduğu yolunda varsayımlar geliştiren çok spekülatif bazı mekanizmalar önerilmiştir.

Bununla beraber, en basit kuram, birleşik alan kuramından gelmektedir. GUT ve süper sicim kuramlarında CP ihlal edilmektedir. Zamanın başlangıcında, CP ihlalinin bir sonucu olarak, madde ile anti madde arasında küçük (milyarda bir kadar) bir dengesizlik vardı. Bu nedenle, evrendeki madde ile anti

madde, birbirlerini yok ettiler, radyasyona yol açtılar, fakat başlangıçta var olan malzemenin milyarda biri ortalıkta kaldı. Öyleyse bu fazlalık, bizim fiziksel evrenimizi oluşturmaktadır.

Diğer bir deyişle, vücutlarımızdaki malzeme Büyük Patlama sırasında madde ile anti maddenin ilk defa birbirlerini yok ettiği çağdan kalan bir fosile benzemektedir. Maddenin var olmasının nedeni ise, birleşik alan kuramlarının CP ihlalini içeriyor olmasıdır. CP ihlali olmasaydı, evren olmazdı.

Zamanda Yolculuk

Şimdiye kadar yalnızca deneysel verilerle uyum içerisinde bulunan, uslu görünümlü evrenlerden bahsettik. P ve CP ihlalleri laboratuarda tekrar tekrar ölçülmüştür ve evrenin ilk zamanlarındaki bazı özellikleri açıklamak için çok işe yaramaktadırlar.

Bununla beraber, genel görelilik yorumlanması epeyce zor olan bazı evrenlerin varlığına da olanak sağlamaktadır. Görünüşe göre bu evrenlerden bazılarında zaman yolculuğu olasılığı da bulunmaktadır.

Einstein hayattayken, denklemlerine getirilen çözümlerin her biri evrenbilimin çeşitli yönlerini açıklamakta veya öngörmekte büyük bir başarı kazanıyordu. Örneğin Schwarzschild çözümü, bize kara deliğin günümüzdeki tanımını verdi. Nordstrøm-Reissner çözümü, bize yüklü kara deliğin tanımını verdi. Robertson-Walker çözümü, bize Büyük Patlamanın tanımını verdi.

Bununla beraber, bu kuramın çözümlerinden birisi, zamanın kendisinin anlamına ilişkin esasa yönelik sorular doğmasına yol açtı. Örneğin 1949 yılında Princeton'dan matematikçi Kurt Gödel, Einstein'ın denklemlerinde "nedensiz" olan garip bir çözüm keşfetti (Bir fizikçi için nedensiz (acausal) bir evren, zamanın döngüsel olduğu, tıpkı art arda gösterilen bir sinema filmi gibi kendini sonsuz kez tekrarladığı bir evrendir).

Gödel'in kuramının rahatsız edici çıkarımlarını Einstein da kabul etti. 1949 Şubatında Einstein, Gödel'in çalışmasının şaşır-

tıcı olduğunu ve tam olarak yanıtlayamayacağı sorular doğurduğunu yazmıştı. Onun yazdığına göre Gödel'in çözümü, "benim fikrime göre genel görelilik kuramına, özellikle zaman kavramının incelenmesine önemli bir katkı sağlamaktadır. Buradaki sorun genel görelilik kuramını inşa ettiğim sırada beni de rahatsız etmişti, fakat açıklamayı başaramamıştım."[2]

Einstein Gödel'in çözümünü çürütemese de, eleştirilerini "bunların fizik zemininde dikkate alınamayacak olup olmadığını görmek ilginç olurdu"[3] cümlesi ile ifade etmiş, yani birtakım ilkeleri ihlal ettikleri için göz ardı edilip edilemeyeceklerini sorgulamıştı.

1960'ların ortalarında Pittsburgh Üniversitesi fizikçileri E.T. Newman, T.W.J. Unti ve L.A. Tamborini, Einstein'ın denklemleri için başka bir garip çözümler dizisi keşfetti. Onların çözümleri öylesine garipti ki, sahiplerinin adlarına atfen hemen NUT* çözümleri olarak anılmaya başladı.

NUT çözümleri yalnızca bu garip zaman yolculuğuna olanak sağlamakla kalmaz, ayrıca uzay–zamanda başka garip çarpıklıklar olmasına da izin verir. Örneğin, bir masanın etrafında 360 derece yürüdüğümüzü düşünün. Doğal olarak, başladığımız noktaya döneriz. Fakat bir de, sarmal bir merdivende 360 derecelik bir yürüyüş yaptığınızı düşünün. İlk başladığımız noktaya değil, bir üst kata çıkardık.

Bu NUT çözümleri, daha üst boyutlarda merdiven tipi çözümlere olanak sağlamaktadır. Yani eğer mesela bir yıldızın çevresinde 360 derecelik bir yolculuk yapacak olsaydık, başladığımız yere geri dönmezdik, uzay–zamanın farklı bir sayfasına ulaşırdık.

Her ne kadar Einstein'ın denklemleri zamanda garip çarpılmalara izin verse de, Dünya'nın günün birinde bir NUT çözümünün içine düşeceği ve evrenin öbür tarafından çıkacağı yolunda endişe etmemize gerek yoktur. *Geleceğe Dönüş* filminde iddia edildiği şekilde zaman içinde geriye gitmeniz ve daha siz

---

* Nut, İngilizce argosunda 'çatlak' anlamına gelir. (Ç.N.)

doğmadan önce annenizin size âşık olması, muhtemelen mümkün değildir. Bu NUT evrenleri, eğer varsalar bile, görülebilir evrenimizin çok dışındadırlar. Onlarla iletişim kurmak mümkün olamaz, çünkü ışık ışınlarının etki alanının dışında kalırlar. Dolayısıyla, Einstein'ın denklemleri için bulunan bu çözümleri fazla ciddiye almamamız gerekir.

Zaman Çarpıklıklarına Kuantum Düzeltmeleri

1960'larda Gödel ve NUT evrenleri bir kenara atılabilirdi. Einstein'ın kuramlarının böylesine garip çözümlere olanak sağlaması, bir tesadüf olarak kabul edilmekteydi.

Bununla beraber, kuantum kuramının ortaya çıkmasıyla birlikte, her şey birbirine girdi. Heisenberg Belirsizlik İlkesi uyarınca, olasılığı ne kadar küçük olursa olsun bunların içine bir kuantum sıçrayışı yapma şansı daima vardı. Böylece kuantum mekaniği, bu garip çözümlerin çoğunu tekrar gündeme getirdi. Ancak, Einstein'ın kuramları için yapılacak kuantum düzeltmeleri güvenilir bir şekilde hesaplanamadığı için, konu bir bütün olarak daima az da olsa bir utanç vesilesi olmaktaydı. Öyle ya da böyle, hiç bir kesin yorum yapılamıyordu.

Yine de, süper sicim kuramının geliştirilmesi sonucunda tahminler ortadan kalkmıştır. Artık ilke olarak bütün kuantum etkileri tümüyle hesaplanabilmektedir. Kuantum mekaniğinin Einstein'ın denklemlerine getirilen bu çılgın çözümleri -köprülere, başka evrenlerin içine düşmeye ve zamanda yolculuk yapılabilen evrenlere olanak sağlayan çözümleri- nasıl bertaraf ettiğini veya etmediğini yanıtlamak, ilk ve son olarak mümkün olacaktır.

Her şeye karşın, süper sicimlerin yol açtığı heyecan hâlâ yenidir ve henüz hiç kimse bu kuantum düzeltmelerini hesaplamamıştır. Yıllar geçtikçe bu kuantum düzeltmelerinin ne kadar büyüklükte olacağını görmek, ilginç olacaktır.

Her Şey Hiçlikten mi Doğdu?

Evrenin hiçlikten (madde veya enerjinin olmadığı katıksız uzay-zamandan) doğmuş olması olasılığı, fizikçileri yıllar boyu merakta bırakmıştır.

Bir şeyin katıksız uzay-zamandan yaratılması, II. Dünya Savaşı'na kadar uzanan eski bir düşüncedir. Fizikçi George Gamow, *My World Line* adlı otobiyografisinde bu kuramı Einstein'a ilk kez açıklayışını anlatır. Bir gün, Einstein ile birlikte Princeton sokaklarında gezerlerken, Gamow kuantum fizikçisi Pascual Jordan tarafından ortaya atılan bir fikirden bahseder. Bir yıldız, kütleye sahip olması nedeniyle, açıkça bir enerjiye sahiptir. Ancak, eğer onun kütleçekimsel alanının içerisinde kapanıp kalmış enerjiyi hesaplayacak olursak, bunun negatif olduğunu buluruz. Sistemin toplam enerjisi, aslında sıfıra eşit olabilir.

Jordan, boşluktan tam anlamıyla gelişmiş bir yıldıza doğru meydana gelebilecek bir kuantum geçişini neyin engelleyebileceğini sorgulamaktadır. Yıldızın enerjisi sıfır olduğu için, hiçlikten yaratılması, enerjinin sakınımını hiç bir şekilde ihlal etmemektedir. Gamow, bu olasılıktan Einstein'a bahsettiği zaman olanları şöyle aktarıyor, "Einstein olduğu yerde durdu ve karşıdan karşıya geçmekte olduğumuz için birkaç araba bizi ezmemek amacıyla durmak zorunda kalmıştı."[4]

1973 yılında New York Hunter College'den Ed Tyron, yıldızlara ilişkin bu ilk kuramlardan bağımsız olarak, belki de evrenin tümüyle katıksız uzay-zamandan yapılmış olabileceğini önerdi. Öyle görünüyordu ki, evrenin toplam enerjisi deneysel olarak sıfıra yakındı. Ya, diyordu Tyron, tüm evren bir "boşluk dalgalanması" olarak, boşluktan dört başı mamur bir evrene doğru meydana gelen rastgele bir kuantum sıçrayışı ile yaratıldıysa?

Genişleme kuramının öncülüğünü yapan fizikçiler, evrenin hiçlikten yaratıldığını öne süren bu görüşü ne kadar spekülatif olursa olsun ciddi bir kavram olarak karşıladılar. Bu "her şey hiçlikten doğdu" kuramının süper sicimlerle ne alakası var?

Daha önce gördüğümüz gibi süper sicim kuramı, evrenimizin on boyutlu bir evren olarak başladığını, sonradan dengesiz-

leşerek şiddetli bir şekilde dört boyuta çöktüğünü öngörmektedir. Bu afetsel olay, orijinal Büyük Patlama'yı yaratmıştır. Bununla beraber, eğer "her şey hiçlikten doğdu" kuramı doğru çıkarsa, bu on boyutlu ilk evrenin belki de sıfır enerjiyle doğmuş olduğu anlamına gelecektir.

Halihazırda süper sicim kuramcıları, on boyutlu bir evrenin dört boyutlu bir evrene doğru parçalanmasına yol açan mekanizmayı matematiksel açıdan tam olarak hesaplama olanağına sahip değildirler. Gereken matematik, çoğu fizikçinin yeteneklerini aşmaktadır çünkü problem, karmaşık bir kuantum mekaniği etkisini kapsamaktadır. Bununla beraber, problem matematiksel olarak iyice tanımlanmıştır ve çözülmesi, yalnızca bir zaman meselesidir. On boyutlu bir evrenin nasıl olup da parçalanarak dört boyutlu bir evrene dönüşebileceğinin dinamikleri anlaşıldığı zaman, orijinal on boyutlu evrende depolanan enerjiyi hesaplama olanağı bulabilmemiz gerekir. Eğer on boyutlu evrenin enerjisi sıfır çıkarsa, bu durum "Her şey hiçlikten doğdu" kuramını destekleyecektir.

Süper Sicimler ve Uzay–Zaman

Zamanda yolculuk . . . NUTlar . . . hiçlikten gelen her şey. Bunlar, genel görelilik kuramının en dış sınırlarıdır. 1940'larda ve '50'lerde yazan Einstein, denklemlerinin nispeten garip çözümlerini onların "fizik zemininde hariç tutulabileceğini" beyan ederek göz ardı edebilirdi. Şüpheci davranan başka fizikçiler, yıllar boyunca bunları nedenselliğin ihlal edildiği bu garip evrenlerle iletişim kurmanın olanaksız olması gibi başka nedenlerden dolayı göz ardı etmişlerdir. Ancak bunların hepsi, bir spekülasyon konusudur.

Nedensel olmayan bir evren, bir kütleçekimi kuantum kuramında yer alabilir mi? Kara delik, başka bir evrene giden bir geçit midir? Süper sicim kuramı, Einstein'ın kuramına ilişkin kuantum düzeltmelerinin çoğunu nihayet hesaplamamıza ve bu

sorulara nihai bir cevap bulmamıza olanak sağladığı için, heyecan vericidir.

Yanıtların hepsini henüz bilmiyoruz ve gelecek yıllarda süper sicim araştırmaları konusunda yapılacak pek çok şey vardır. Belki de bu kitabın bazı genç okurları, evrenin denklemi için süren arayıştan esinlenecek ve yanıtların bazılarını çözen kişi olacaklardır.

14
Einstein'dan Ötesi

EN UZAK YILDIZIN ötesinde ne vardır? Evren nasıl yaratıldı? Zamanın başlangıcından önce ne oldu? İnsanların gökyüzüne bakarak sayısız yıldızın göksel görkemini ilk kez hayranlıkla seyretmesinden bu yana, bu ezeli soruları sormuşuzdur.

Süper sicim kuramının yarattığı heyecanın merkezinde, bu soruların yanıtlarına en sonunda yaklaşıyor olabileceğimizi anlamamız yatmaktadır. Yunanlıların birkaç bin yıl önce sorduğu soruların ayrıntılı, sayısal yanıtlarını verebileceğimiz bir döneme giriyor olabileceğimizi düşünmek, insanın nefesini kesmektedir.

Eğer süper sicim kuramı başarılı olursa, tarihin en büyük zihinlerinin katkıda bulunduğu tarihi bir sürecin zirveye ulaşmasına tanıklık ediyor olabiliriz. Eğer fizikçiler tamamen sonlu bir kuantum kütleçekimi kuramı olduğunu kanıtlayabilirlerse, süper sicim kuramı evrenin birleşik kuramı olmak için tek aday olacaktır. Bu durum, kütleçekimini bilinen diğer kuvvetlerle bir-

leştirmek amacıyla Einstein tarafından 1930'larda başlatılan evrensel arayışı tamamlayacaktır.

Bu, elbette fizikçiler arasında muazzam bir heyecan yaratmıştır. Bir zamanlar güzel, fakat uygulanması olanaksız bir fikir olarak kabul edilen birleştirme, geçen yirmi yıl içerisinde kuramsal fiziğe egemen olan bir konu haline dönüşmüştür. Newton'un çalışmalarıyla başlamış olan son üç yüz yılın fiziğinin sona ermesine tanıklık ediyor olabiliriz. Glashow'un söylediği gibi, fiziğin birbirinden ayrı duran iplikleri artık hep birlikte örülmekte, olağan üstü güzellik ve şıklıkta bir halı olarak dokunmaktadır.

Schwarz'ın işaret ettiği gibi,

> Temel parçacık fiziği, bilimin diğer dallarından şu şekilde ayrılır: Bizim sormaya çalıştığımız soru öylesine özeldir ki, yanıtlamayı tam anlamıyla başardığınız takdirde işiniz sona erer. Bilimin başka hiç bir dalında işinizin sona ermesi soyut bir olasılık olarak dahi söz konusu değildir. Kimya ve biyolojinin ucu açıktır. Hatta yoğun madde fiziği, atom fiziği, plazma fiziği gibi fiziğin diğer dalları dahi açık uçludur. Fakat temel parçacık fiziğinde temel yasaları ararsınız ve tamamen mümkündür ki, eğer bizim aradığımız bu güzellik gerçekten oradaysa, o takdirde hikâyenin tümünü kapsayan, özlü ve güzel tek bir cevap vardır.[1]

Bu ifade, insanı sersemleten içermeler taşımaktadır. Örneğin tarihçiler birkaç yüz yaşında, sararmış, nadir bir el yazmasının keşfini önemli bir buluş olarak kabul ederler. Böyle el yazmaları bize geçmiş için paha biçilemeyecek bir bağlantı sağlar, nesiller önce insanların nasıl yaşadığına ve düşündüğüne bir göz atmamızı sağlar. Arkeologlar birkaç bin yıl öncesine ait şehirlerin harabelerinde ortaya çıkartılan eserlerin paha biçilmez hazineler olduğunu düşünür. Bu eserler, bize yazılı kayıtlar tutulmaya başlamadan önce dahi atalarımızın şehirlerini nasıl kurduklarını ve ticaretleriyle savaşlarını nasıl yaptıklarını anlatır. Jeologlar, Dünya'nın kabuğunun derinliklerinde yüz milyonlarca yıl önce

yaratılan değerli taşların güzelliğine hayranlık duyar. Kayalar, bize Dünya'nın ilk günlerine dair ipuçları verir ve kıtaları şekillendiren volkanik kuvvetleri açıklamaya yardımcı olur. Astronomlar, güçlü teleskoplarıyla gökyüzünü inceledikleri zaman, kendilerine gelen ışığın yıldızlardan milyarlarca yıl önce çıkmış olduğu gerçeği karşısında büyülenirler. Bu eski ışıklar, astronomların yıldızlar **hâlâ** genç iken evrenin nasıl göründüğünü anlamasına yardımcı olur.

Buna karşın, bir fizikçi açısından süper sicim kuramı bizim yazılı kayıtlardan, jeolojik kayıtlardan ve hatta astronomik kayıtlardan çok daha önceki bir dönemi incelememizi sağlar. Süper sicim kuramı, bizi inanılmaz bir şekilde zamanın başlangıcına, Dünya'daki bütün kuvvetlerin mükemmel bir şekilde simetrik olduğu ve tek bir ana süper kuvvet halinde birleşmiş olduğu bir döneme geri götürmektedir. Süper sicim kuramı, var oluşumuzun merkezinde yer alan fakat bütün insan deneyimlerini aşan olaylara ilişkin soruların yanıtlarını verebilecektir.

Simetri ve Güzellik

Şaşılacak bir şey, fakat evrenimizin başlangıçta tahmin ettiğimizden çok daha basit olduğunu anlamaktayız. Bir bakımdan, dönüp dolaşıp aynı yere geri dönmekteyiz. Newton'dan önceki zamanlarda bilim insanları evrenin mükemmel bir düzene ve yapıya sahip olduğuna inanmaktaydı. Bununla beraber, 1800'lü yıllarda göreliliğin ve kuantum mekaniğinin doğuşuna giden kargaşa nedeniyle fizik, düzensiz ve karmakarışık bir görüntü veriyordu. Şimdi başlangıçtaki görüşümüze -düzenli bir evren- geri dönüyormuşuz gibi görünmekte, çok daha yüksek, daha gelişmiş bir düzlemde olsa da.

Süper sicim kuramı, simetrinin fizikte çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bir yandan, fizik yasaları üzerinde çıkarsamalar yapmak için simetrinin tek başına yeterli olmadığını anlamaktayız. Fakat diğer yandan bazı bilim insanları, fiziksel kanıtlara dayandığı takdirde güzelliğin kuramsal fizik için dik-

kat çekecek doğrulukta bir kılavuz olduğunu düşünmektedirler. Schwarz'ın işaret ettiği gibi,

> [Güzellik,] en temel düzeyde araştırma yaptığınız zaman kuramsal fizikte tarihsel olarak çok yararlı olmuştur. Muhtemelen biyoloji dalında bu şekilde çalışılamaz, fakat temel fiziğin en alt düzeydeki yapısının içine girmeye başladığınız zaman, hiç kimsenin anlıyormuş gibi görünmediği nedenler dolayısıyla planınız ne kadar şık ve basit ise, o kadar başarılı oluyormuş gibi görünmektedir. Newton'a varıncaya kadar, fiziğin son iki, üç yüz yıllık tarihi, bunu açıkça göstermektedir.[2]

Doğanın evreni inşa etmek için bizim başlangıçta düşündüğümüzden daha gelişmiş fakat daha basit mekanizmalar kullandığını öğrenmekteyiz. Matematiğin baş döndürücü yüksekliklere çıkmış olmasına karşın, matematiği yönlendiren fiziksel resim atom parçalayıcılarımızdan çıkan karmaşık veri göz önünde bulundurulduğu takdirde herhangi bir insanın tahmin edebileceğinden çok daha basittir.

Ayrıca doğa, eskiden olduğuna kıyasla çok daha tutarlı görünmektedir. Daha önce, modern fizikte o sırada geçerli olan fikirlerin neler olduğunu anlamak için, sıradan bir insanın kara delikler, lazerler, kuarklar, kuantum mekaniği, elektromanyetizma ve benzeri konularda kitaplar okuması gerekirdi. Bu bilgi patlaması, yeni başlayan herkes için çok kafa karıştırıcı olurdu. Daha da kötüsü, bu alandaki geçerli eğilimleri anlayabilmek için bir fizik öğrencisinin en az yirmi cilt okuyup hazmetmesi gerekirdi. Fakat bugün, bu alanın tamamına kapsamlı ve tutarlı bir yaklaşım sergileyen, ciltler dolduran temel görüşleri birkaç görsel, resimli ifadeye sıkıştıran bir kitap yazmak mümkündür. Aslına bakılacak olursa, bu kitabın altında yatan ana fikir de budur.

Fakat belki de fiziğin son birkaç on yılında alınan en büyük ders, doğanın fiziksel yapılar inşa ederken simetriyi yalnızca bir

kolaylık olarak görmediğidir. Doğa, simetriyi mutlak şekilde arar. Kuantum mekaniği ile göreliliği birleştirme işlemi sırasında içine düşülebilecek o kadar çok tuzak vardır ki –anormallikler, ıraksaklıklar, takiyonlar (ışıktan daha hızlı giden parçacıklar), hayaletler (negatif olasılığa sahip parçacıklar) ve diğer hastalıklardan oluşan tam bir mayın tarlası– onları ortadan kaldırmak için muazzam miktarda simetri gerekmektedir.

Basitçe ifade edilirse, süper sicim modeli işe yaramaktadır, çünkü fiziksel bir modelde şimdiye kadar bulunan en büyük miktarda simetriye sahiptir. Noktalar değil de sicimler üzerine kurulu bir kuram yazarken doğal şekilde ortaya çıkan bu büyük simetriler takımı, bu anormallikleri ve ıraksaklıkları ortadan kaldırmak için yeterlidir.

Bir bakıma süper sicim kuramı, Dirac'ın renormalizasyon kuramına yaptığı itirazlara bir yanıt getirmektedir. Dirac, sonsuzları ceketlerinin kolundan içeriye atmak amacıyla Feynman ve başkaları tarafından icat edilen el çabukluğu numaralarını hazmedemiyordu. Renormalizasyon kuramını öylesine yapay ve uyduruk bulmaktaydı ki, doğanın temel bir ilkesi olabileceğine inanmayı reddetmekteydi. Numaracı ve amatör sihirbaz Feynman, bütün bir fizikçi neslinin gözlerini mi boyamaktaydı?

Süper sicim kuramı Dirac'ın itirazlarına bir yanıt getirmektedir, çünkü renormalizasyona gereksinimi yoktur. Fizikçiler, Feynman döngü diyagramlarının hepsinin de sonlu olmasının, kuramın doğasında var olan o muazzam simetri takımı sayesinde mümkün olduğuna inanmaktadır.

Görelilikle uyumlu pek çok olası evren inşa edilebilir. Benzer şekilde, kuantum mekaniğinin yasalarına boyun eğen pek çok evren kurgulanabilir. Bununla beraber, bu ikisinin bir araya getirilmesi o kadar çok ıraksaklığa, anormalliğe, takiyona ve benzerlerine yol açar ki, muhtemelen demir gibi tek bir çözüm olasıdır. Bazı fizikçiler, nihai çözümün süper sicimler olacağı üzerine çok miktarda para yatırmaya hazır bulunmaktadır.

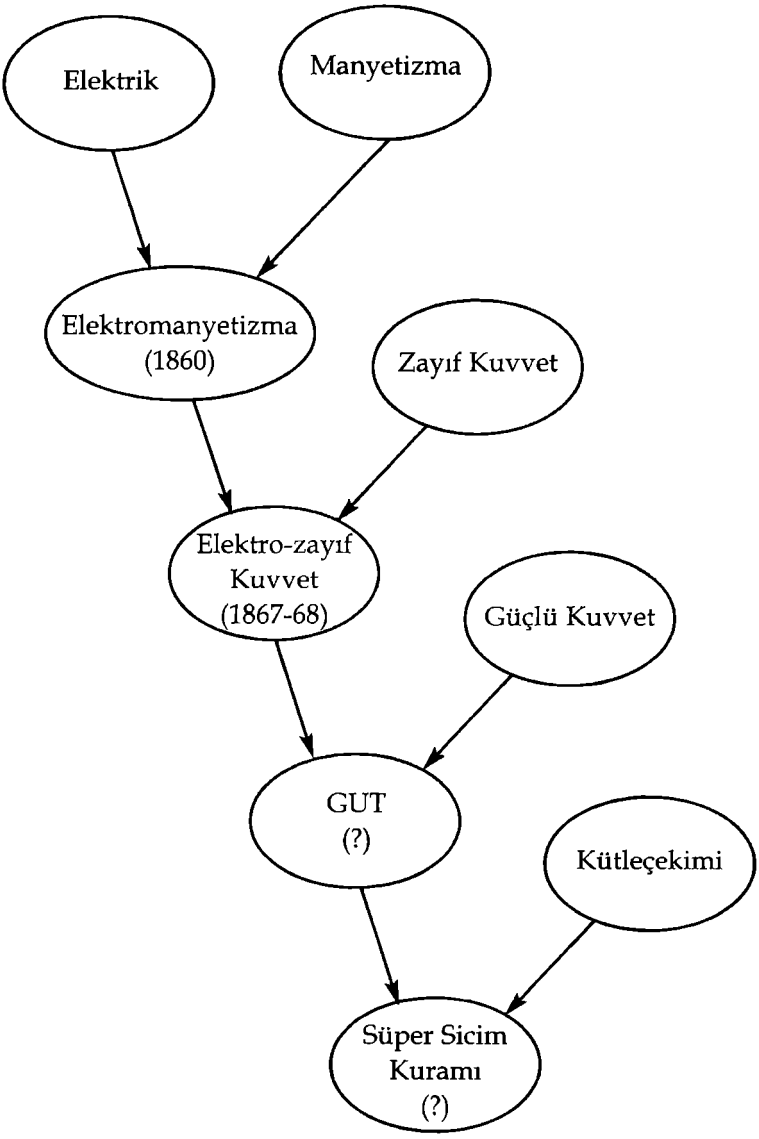
Polisiye Roman Gibi

Birleşik alan kuramının basit bir başlangıçtan günümüzün süper sicim kuramına doğru giden eziyetli gelişmesi, bazı bakımlardan iyi bir polisiye romanda bulunan dolambaç ve dönemeçlere benzemektedir.

Polisiye bir romanda olduğu gibi, hikâyenin gelişmesi sahneler halinde olmuştur. İlk sahnede ana karakterler tanıtılmıştır. Bu da doğanın temel kuvvetlerinin özelliklerinden bazılarının tanımlandığı ve açıklandığı Newton, Maxwell, Planck ve Heisenberg dönemine denk gelir. Oysa fizikte bu dönem, temelde araştırmanın yönü dahi pek açık olmadığı için olağanüstü uzun bir zaman almış, birkaç yüz yıl sürmüştür. Aksine, bir polisiye romanda suçun tarifi açık bir şekilde yapılır. Fizik alanında yalnızca Einstein, 1930'lu yıllarda fiziğin gitmesi gereken yöne ilişkin açık bir görüşe sahipti ve fiilen yalnızlık içerisinde çalışmaktaydı. Üstelik, ana kuvvetlerden birisi üzerinde kritik bilgilerden de yoksundu: Nükleer kuvvet.

İkinci sahnede çeşitli bireylerin suç ile bağlantısını kuran desenler ortaya çıkar ve bize suçlunun kimliğine ilişkin ilk ipuçlarını verir. Fizikte bu, 1950'lerde ve 60'larda fizikçilerin güçlü etkileşimlerde SU(3)'ü, zayıf etkileşimlerde de SU(2)'yi tanımlamalarıyla elde edilen şaşkın fakat sürekli ilerlemelere karşılık gelmektedir. Çeşitli kuvvetleri açıklamak için uygun biçim olarak Lie grupları belirlenmiştir, fakat bilim insanları bunların kökenini veya amacını hâlâ anlamış değildir. Kuark modeli önerilmiştir, fakat bunun nereden geldiği veya kuarkları neyin bir arada tuttuğu konusunda hiç bir fikir bulunmamaktadır.

Üçüncü sahnede bireylerden bazılarını suç ile ilişkilendirme üzere bazı kesin kuramlar öne sürülür, fakat pek çok yanlış başlangıçlar ve geri dönüşler yapılır. Fizikte bu, ölçü simetrisinin güçlü, zayıf ve elektromanyetik etkileşimler için bir iskelet oluşturduğunun açıkça kanıtlandığı 1970'ler dönemine karşılık gelir. Yine de, yanlış başlangıçlar yapılmıştır. Kuantum alan kuramına alternatif olarak S matrisi kuramı önerilmiş ise de, S matrisi kuramı sonunda sicim kuramının doğmasına yardımcı olmuş-



Bu tablo, 1860 yılında Maxwell'in elektrik ile manyetizmanın elektromanyetik kuvvet olarak birleştirilebileceğini keşfetmesinden itibaren birleşik alan kuramının tarihsel evrimini simgelemektedir.

tur. Bununla beraber sicim kuramının anlamı tamamen yanlış yorumlanmış ve bu dönemde göz ardı edilmiştir.

Dördüncü aşamada ipuçları yerlerine oturmakta ve son karar verilmektedir. Fizikte bu sahne, süper sicim kuramının rakipsiz bir kuram olarak ortaya çıktığı son birkaç yıla karşılık gelir. Deneysel durum henüz havada olsa da, bilim insanları süper sicim kuramının uzun zamandır aranan birleşik alan kuramı olduğuna inanmak için yeterli miktarda ikna edici kuramsal sonuca sahiptirler.

Büyük Usta Olmak

Eğer cinayetin gizemi gerçekten çözüldüyse, fizikçiler işsiz mi kalacak?

Glashow'un başka bir gezegenden gelen bir ziyaretçi hakkında anlattığı bir öyküyü düşünün:

> Arthur, uzak bir gezegenden Washington Meydanı'na (New York City) inen bir uzaylıdır. Satranç oynayan iki yaşlı adam görür. Arthur, kendine iki görev üstlenir: Oyunun kurallarını öğrenmek ve bir Büyük Usta olmak. Temel parçacık fiziği, birinci görevi temsil eder. Oyunun kurallarını tam ve mutlak bir kesinlikle öğrenmiş olan yoğun madde fizikçileri, ikinci görevle karşı karşıya gelirler. Kimya, jeoloji ve dirimselciliğin çöküşünden sonraki biyoloji dahil modern bilimin çoğu, ikinci kategoridedir. Yalnızca parçacık fiziğinde ve evrenbilimde kurallar ancak kısmen bilinmektedir. Her iki tür çaba da önemlidir – biri daha "ilişkili", diğeri daha "temel." Her ikisi de, insan zekâsı için zorlu bir meydan okuyuştur.[3]

Örnek olarak, bir hücrenin çekirdeğinin içini incelemek için moleküler biyolojiden yararlanan bir kanser araştırmacısını düşünün. Eğer bir fizikçi haklı olarak ona bir DNA molekülündeki atomların tabi olduğu temel yasaların tamamıyla bilindiğini

söyleyecek olursa, araştırmacı bu bilginin doğru, fakat kansere karşı savaşta işe yaramaz olduğunu düşünecektir. Kanserin tedavisi, trilyonlarca atomu kapsayan hücre biyolojisi yasalarını araştırmaktan geçer, bu da herhangi bir modern bilgisayarın çözümlemesi için çok büyük bir miktardır. Kuantum mekaniği moleküler kimyayı yöneten büyükçe kuralları aydınlatmaya yarar, fakat Schrödinger denklemini çözmek ve DNA molekülleri ile kanser hakkında yararlı bir beyanda bulunmak, bir bilgisayarın çok uzun zamanını alacaktır.

Kuantum mekaniğinin ilkesel olarak kimyanın bütün sorunlarını çözdüğü yolundaki ifade hem her şeyi söylemekte, hem de hiç bir şey söylememektedir. Her şeyi söylemektedir, çünkü kuantum mekaniği gerçekten atom fiziği için doğru lisandır. Buna karşın hiç bir şey söylememektedir, çünkü bu bilgi, kendi başına kanseri tedavi edemez.

Glashow'un söylediği gibi, bir birleşik alan kuramı bize yalnızca oyunun kurallarını açıklar, fakat nasıl bir Büyük Usta olunabileceğini öğretmez.

Dolayısıyla, süper sicimin ilkesel olarak bütün kuvvetleri tek ve tutarlı bir kuram içinde birleştirebileceği yolundaki ifade fiziğin sonu anlamına gelmez, yalnızca uçsuz bucaksız yeni araştırma alanlarının açıldığını gösterir.

Yıldızların Eşiğinde

Günümüz fiziğinde dikkat çekici olan şey, bir canlı türü olarak henüz teknolojik açıdan genç olmamıza ve gezegenimizin yerçekiminin getirdiği esaretten kurtulmaya henüz başlamış olmamıza karşın, zamanın başlangıcına ilişkin güvenilir beyanlarda bulunabiliyor olmamızdır. Güneş'in bir yıldızdan başka bir şey olmadığını söylediği için 1600 yılında kazığa bağlanıp yakılan Giordano Bruno'dan bu yana, entelektüel açıdan uzun bir yol geldik. Fakat, teknolojik bir ölçekte hâlâ bebekliğimizi yaşamakta, güneş sistemindeki en yakın gezegenleri daha yeni keşfetmeye başlamış bulunmaktayız. En büyük roketlerimiz dahi Güneş'in

kütleçekimsel kuvvetinden kurtulmayı zorlukla başarabilmektedir.

Yine de, göreli olarak ilkel teknolojik gelişmemiz göz önüne alınacak olursa, simetrinin muazzam gücünü kullanarak da olsa zamanın kökeni üzerinde fikir yürütmeyi başarabilmiş bulunuyoruz. Evrimsel bir zaman ölçeği üzerinde, ormanlardan çıkışımızdan beri belki yalnızca iki milyon yıl (göz kırpmaktan başka bir şey değil) geçmiştir, fakat milyarlarca yıl önce, zamanın başlangıcında meydana gelen olaylar üzerine daha şimdiden dikkatli, rasyonel beyanlarda bulunabilmekteyiz.

Yalnızca emrinde uçsuz bucaksız kaynaklar bulunan daha gelişmiş bir uygarlığın birleşik alan kuramını keşfedebilmesi beklenebilir. Örneğin gökbilimci Nikolai Kardashev, gelişmiş uygarlıkları üç kategoriye ayırmıştır: Bütün bir gezegenin kaynaklarını denetleyen tip I uygarlık; bir yıldızın kaynaklarını denetleyen tip II uygarlık; ve bütün bir galaksinin kaynaklarını denetleyen tip III uygarlık.

Bu ölçek üzerinde, teknolojik açıdan hâlâ tip I konumuna erişmenin eşiğinde bulunmaktayız. Gerçek bir tip I uygarlık, günümüz teknolojisinin kapsamını aşan işler başarma yeteneğine sahip olurdu. Örneğin tip I uygarlık yalnızca hava durumunu öngörmeyi değil, onu kontrol etmeyi de başarabilirdi. Tip I uygarlık Sahra Çölü'nü çiçeklendirebilir, kasırgaların gücünü dizginleyerek enerji elde etmek için kullanabilir, nehir yataklarını değiştirebilir, okyanuslarda tahıl yetiştirebilir ve kıtaların şekillerini değiştirebilirdi. Tip I uygarlık Dünya'nın içine bakabilir, depremleri öngörebilir veya önleyebilir ve dünyanın içinden nadir mineraller ve petrol çıkartabilirdi.

Buna karşılık, içinde bulunduğumuz gelişim durumunda bütün bir gezegen bir yana, kendi ülkelerimizin kaynaklarını dahi zar zor denetleyebilmekteyiz. Bununla beraber, teknolojik gelişmenin hızlı, geometrik patlamasını dikkate alacak olursak, birkaç yüz yıl içerisinde tip I uygarlığa geçmeyi ve gezegen çapında kuvvetlere hükmetmeyi ümit edebiliriz.

Güneş'in gücünü kullanabilecek ve yönetebilecek tip II uygarlığa geçiş, teknolojinin geometrik büyümesi düşünülürse bir-

kaç bin yıl sürebilir. Bir tip II uygarlık, güneş sistemini ve belki de birkaç komşu sistemi kolonileştirebilir, asteroit kuşaklarında madencilik yapabilir ve güneş sisteminin en büyük enerji kaynağını -Güneş'i- yönetebilecek dev makineler inşa etmeye başlayabilir. (Tip II uygarlığın enerji gereksinimi o denli fazla olurdu ki, insanlar Güneş'ten yararlanmak zorunda kalırlardı.

Bir galaksinin kaynaklarına hükmedebilen tip III uygarlığa geçiş, hayal gücümüzün sınırlarını zorlamaktadır. Bir tip III uygarlık, yıldızlar arası yolculuk gibi, şu anda yalnızca rüyada görülebilecek teknolojilere hükmedebilir. Tip III uygarlığın neye benzeyebileceğine ilişkin belki de en gerçekçi bakış, Isaac Asimov'un bütün galaksiyi sahne olarak kullanan *Foundation* (Vakıf) dizisinde bulunabilir.

Yüz binlerce yıllık teknolojik gelişmeleri kapsayacak bu bakış açısı dikkate alınacak olursa, Newton'un ilk çekim kuramından sonra yalnızca üç yüz yıl içinde doğanın temel yasalarını kavrayarak hızlı bir ilerleme gösterdiğimizi söyleyebiliriz.

Sınırlı kaynaklarıyla uygarlığımızın bir tip I uygarlığa nasıl geçiş yapacağına ve sonra da birleşik alan kuramının bütün gücünden yararlanacağına akıl erdirmek zordur. Fakat Newton ve Maxwell de, uygarlığın günün birinde aya uzay gemileri göndermek veya şehirlere muazzam santrallerle elektrik vermek için gerekecek kaynaklara sahip olacağını muhtemelen yaşamları boyunca hiç düşünmemişlerdir. Onların zamanında sanayi ve ticaret, kendi kuramlarının içinde yaşayan olasılıkları hazmetmek ve hatta anlamak için çok ilkeldi.

Şanslıyız ki, teknolojik ilerleme geometrik olarak devam etmektedir. Bununla beraber, beyinlerimiz ve hayal güçlerimiz geometrik büyümeyi kavrayamaz. Bir bilimkurgu romanının yazıldıktan on yıllar sonra okunduğu zaman daima böylesine tuhaf görünmesinin nedeni, budur. Geri dönüp baktığımız zaman, yazarın hayal gücünün kendi zamanındaki teknoloji ile kısıtlı olduğunu görebiliriz. Bilimkurgu, yalnızca mevcut durumun doğrusal bir tahmini veya uzantısıdır. Bu yüzden bilim, daima bilimkurgudan daha garip olmuştur.

Önümüzdeki bu çerçeveyi dikkate alarak, birleşik alan kuramının bizi nereye götüreceğini öngörmenin ne kadar zor olduğunu anlayabiliriz, çünkü biz, toplumun göreli ilkelliği ile sınırlıyız. Hayal güçlerimiz dahi çok tutucudur.

Birleşik alan kuramının olası uygulamalarından yararlanmak için her ne kadar bir tip I uygarlığın gezegen boyu kaynaklarını kullanıyor olmasak da, birleşik alan kuramının kuramsal yollarını keşfetmek için gereken kararlılığa, zekâya ve enerjiye kesinlikle sahibiz. Bir son olmanın ötesinde, bu yalnızca başlangıçtır.

Notlar

Bölüm 1

1. B.M.S., "Anomaly Cancellation Launches Superstring Bandwagon," *Physics Today* (Temmuz 1985): 20.
2. M. Mitchell Waldrop, "String as a Theory of Everything," *Science* (Eylül 1985): 1251.
3. Telefon görüşmesi, John Schwarz, 25 Şubat 1986.
4. Sheldon Glashow, "Desperately Seeking Superstrings", *Physics Today* (Mayıs 1986)
5. Anomaliler, geometri ve topoloji üzerine sempozyum, Argonne Ulusal Laboratuarı, Argonne, Illinois, Mart 2930, 1985.
6. Freeman Dyson, Disturbing the Universe (New York: Harper & Row, 1979), 62.

Bölüm 2

1. D.W. Singer, *Giordano Bruno, His Life and Thought* (New York: Abelard Schuman, 1950), aktaranlar C. W. Misner, K.S. Thorne ve J.A. Wheeler, *Gravitation* (San Francisco: W. H. Freeman), 755.
2. Abraham Pais, "Subtle Is the Lord..." (Oxford: Oxford University Press, 1982), 45.
3. Yukarıdaki gibi.
4. S. Chandrasekhar, "Einstein and General Relativity: Historical Perspectives," *American Journal of Physics* (Mart 1979): 216.

5. Pais, *"Subtle is the Lord ..."*, 462.
6. Yukarıdaki gibi, 465.
7. Yukarıdaki gibi, 462.
8. E. H. Hutton, aktaran A. P. French, editör, *Einstein: A Centenary Volume* (Cambridge: Harvard University Press, 1979), 254.
9. H. Weyl'e yazdığı mektup, 6 Haziran 1922, aktaran Pais, *"Subtle is the Lord ..."*, 328.

Bölüm 3

1. Pais, *"Subtle is the Lord ..."*, 371
2. Işık hızı c görelilikte nasıl bir rol oynuyorsa, Planck sabiti h de bu bakımdan kuantum kuramında aynı rolü oynar. Kuantum kuramının ve göreliliğin dünyasının bize böylesine yabancı gelmesinin nedeni, ışık hızının böylesine büyük, erişilemez bir hız olması ve Planck sabitinin böylesine küçük olmasıdır. Aslına bakılacak olursa, evren hakkındaki "sağduyulu" sezgimiz, yalnızca c gerçekten sonsuz ve h sıfır olduğu takdirde doğrudur; o zaman hem görelilik, hem de kuantum etkileri tamamen ortadan kalkardı.
3. Pais, *"Subtle is the Lord ..."*, 456
4. Yukarıdaki gibi, 13
5. Max Born ve Albert Einstein, *The Born-Einstein Letters* (New York: Walker & Company, 1971), 91.
6. Albert Einstein, Boris Podolsky ve Nathan Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review* 47 (1935): 777**ff.**
7. Yukarıdaki gibi, 461.
8. Yukarıdaki gibi, 467.
9. Yukarıdaki gibi, 462.
10. Yukarıdaki gibi.
11. Fizikçilerin büyük bir çoğunluğu, Schrödinger'in kedisi ikilemini atomik durumların garip karışımları olarak tanımlanan *mikroskobik* nesnelerle kediler gibi *makroskobik* nesneler arasında bir ayrım yaparak çözümler. İkilemin standart çözümü, mikroskobik olaylarla (iki atomun çarpışması) makroskobik olaylar (sigara dumanının bir odaya yayılması) arasındaki farkın mikroskobik olayların zaman içerisinde geri döndürülebilir, makroskobik olayların ise döndürülemez olması olduğunu varsayar. Örneğin, çarpışan iki atomun filmini izlerken, film zaman içerisinde ileri sarılsa da, geri sarılsa da normal görünür. Dolayısıyla, mikroskobik anlamda zamanın ileri

ya da geri gitmesi sağlanabilir. Buna karşın, yanan bir sigaranın filmi, duman sigaranın içine çekiliyorsa değil, ancak sigaradan dışları yayılıyorsa mantıklı olur. Diğer bir deyişle, mikroskobik olay, yani iki atomun çarpışması zaman içinde geri döndürülebilir, sigara dumanının yayılması döndürülemez. Yani makroskobik olaylar, "zamanın okunu" düzensizliği (dumanın yayılması) arttıracak yönde sabitlemektedir. Fizikçiler, makroskobik olayların *entropisi*nin (düzensizliğin ölçüsünün) zamanın yönünü sabitlediğini ve aynı zamanda geri döndürülebilir mikroskobik olaylarla geri döndürülemez makroskobik olaylar arasındaki farkı ortaya çıkardığını söylemektedirler.

Bir gözlem yapmanın temel özelliği, geri döndürülemez oluşudur. Yani, fotoğraf filmi banyo edilerek fotonların mesajı kayıt altına alınabilir. Filmin "ham duruma getirilmesi" mümkün değildir. Dolayısıyla bilgi aktarımı, entropide bir artışı ima eder. Bilinç, bir gözlem yapmanın temel özelliklerinden değildir; hiç bir bilince sahip olmayan makineler gözlem yapabilir. Gözlemin temel özelliği, zamanın geriye döndürülemez oluşunu ima eden bilgi aktarımıdır. Geri döndürülemeyen bilgi aktarımı beyinlerimizdeki bellek hücreleri olabileceği gibi, fotoğraf filmi de olabilir.

12. Gary Zukav, *The Dancing Wu Li Masters* (New York: Bantam Boks, 1980), 208.

Bölüm 4

1. Richard P. Feynman, *"Surely You're Joking, Mr. Feynman!"* (New York: W. W. Norton, 1985).
2. Dyson, *Disturbing the Universe*, 5556.
3. John Gribbin, *In Search Of Schrödinger's Cat* (New York: Bantam Boks, 1984), 259.
4. Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (New York: Bantam Boks, 1983), 217.
5. Paul Davies, *Superforce* (New York: Simon & Schuster, 1984), 123
6. Robert P. Crease ve Charles C. Mann, "How the Universe Works," *The Atlantic Monthly* (Ağustos 1984): 87.
7. Yukarıdaki gibi, 89.
8. Sheldon Glashow, Nobel Ödülü Kabul Konuşması, Stockholm, 1979.
9. Bir S matrisi elde etmek için, sonsuz sayıda Feynman diyagramının birbirine eklenmesi gerekir. İlk bakışta bu ümitsiz görünse de, uygulamada yalnızca QED'deki ilk diyagram takımını toplamak, doğ-

ru deneysel değere hızla yaklaşılmasını sağlar. Bu dizi yakınsaktır, çünkü Feynman diyagramlarının her takımı, bir önceki takıma göre $1/137$ oranında küçüktür, bu nedenle dizi epeyce hızlı bir şekilde küçülür. Hızla küçülen sonsuz bir diyagram takımını ekleme işlemi, *perturbasyon kuramı* olarak adlandırılır. Perturbasyon kuramı QED ve elektro-zayıf etkileşimler için şaşırtıcı derecede işe yarar, fakat güçlü ve kütleçekimsel etkileşimlere uygulandığı zaman fena halde başarısız olur.

Perturbasyon kuramı güçlü etkileşimlerde başarısız olur, çünkü sonsuz Feynman diyagramı takımı, aslında ıraksaklaşır. Biz döngülerin sayısını arttırdıkça terimler küçülmez, büyür. Bu yüzden, perturbasyon kuramı ümitsiz görünmeye başlar. Güçlü etkileşimler üzerinde hesap yapmak için perturbasyon kuramını bir yana bırakmamız ve genellikle epeyce zor ve sıklıkla çözümsüz olan *nonpertürbatif* yöntemler kullanmamız gerekir. Şimdiye kadar protonun özelliklerini hesaplama konusunda bize bir şans sağlayan tek yöntem, Ken Wilson'un uzay-zamanın yalnızca granüle bir kafes üzerinde tanımlı olduğunu varsayan *lattice gauge (örgü ayar) kuramı*dır. Lattice gauge kuramı, gluon parçacıklarının yoğunlaşarak kuarkları birbirine bağlayan sicim benzeri nesneler oluşturduğunu öngörmektedir. Bu kuram, güvenilir sonuçlar üretmek için şimdiye kadar tasarlanmış en güçlü bilgisayarlara ihtiyaç duyar.

Perturbasyon kuramı, kütleçekimsel etkileşimlerde tamamen farklı bir nedenle başarısız olur. Heisenberg'in onlarca yıl önce belirttiği gibi, kuantum kütleçekimi üzerine hazırlanan Feynman diyagramlarının her takımı farklı bir boyuta sahiptir ve bu yüzden eklenmeleri kolay değildir, dolayısıyla Feynman'ın zekice numaraları kullanılamaz. Bu, her Feynman diyagramı takımının *kendi içinde* sonlu olması gerektiği anlamına gelir. Heisenberg, milyarlarca Feynman diyagramının kendi içinde sonlu olmasının bir mucize olacağına inanmaktaydı. Aslına bakılacak olursa, bir kuantum kütleçekimi kuramının iki döngü düzeyinde ıraksak olduğu artık bilgisayar vasıtasıyla kontrol edilmiş ve bu nedenle kuantum kütleçekiminin sonlu olabileceği konusundaki bütün ümitler sona ermiştir.

Bu "mucize", aslında yalnızca süper sicim kuramında gerçekleşmektedir: her üst düzey diyagram kendi içinde sonludur ve hiç bir renormalizasyona ihtiyacı yoktur. Bu "mucizelerin" kökeni, süper sicim kuramının içinde mevcut olan güçlü simetrilere uzanmaktadır.

10. Nigel Calder, *The Key to the Universe* (New York: Penguin Books, 1981), 69.

Bölüm 5

1. *Scientific American*, Temmuz 1994, 26
2. *Science News*, Nisan 30, 1994, 276.
3. GUT kuramında "hiyerarşi sorunu" adı verilen başka bir sorun daha vardır. GUT kuramının iki enerji ölçeği arasında çok büyük bir uçurum olduğunu varsaymak gibi garip bir özelliği mevcuttur. İlk ölçek, yaklaşık olarak 10^{16} milyar elektron volt düzeyindedir ve bu düzey, sadece zamanın başlangıcı sıralarında bulunmaktadır. Diğer ölçek ise alışılagelmiş parçacık fiziğinin enerji ölçeğidir ve yalnızca milyarlar düzeyinde elektron volt olarak ölçülmektedir. GUT kuramı, bu iki enerji ölçeği arasında katı bir ayrım mevcut olmasını gerektirmektedir. (Günümüzdeki enerjilerle 10^{16} milyar elektron volt arasında, üzerinde hiç bir yeni etkileşimin bulunmadığı büyük bir "çöl" bulunmaktadır.) Bununla beraber, Feynman diyagramları tarafından kurama getirilen düzeltmeleri hesaplamaya başladığımız zaman, kuram için yaşamsal öneme sahip olan bu katı ayrım da çökmeye başlamaktadır. Feynman diyagramlarını eklemeye başladığımız zaman bu hiyerarşiyi sağlam durumda tutmanın tek yolu, GUT kuramının içine dört boyutlu süpersimetriyi yerleştirmektir (buna SUSY GUT kuramı adı verilir).

   Hiyerarşi sorununa bir çözüm getirmekle beraber, SUSY GUT kuramı epeyce beceriksiz bir görünüme sahiptir. Böylesine zorla uydurulmuş bir şeyin temel nitelik taşıyacağına inanmak epeyce zordur. Üstelik, kütleçekimi hakkında da söyleyecek hiç bir sözü bulunmamaktadır.

   Konuya bir süper sicim fizikçisinin bakış açısından yaklaşılırsa, sorunun SUSY GUT kuramının yeterince ileri gitmemesinden kaynakladığı görülmektedir. Eğer SUSY GUT kuramı, süper sicim kuramı haline gelecek kadar genişletilirse, o zaman tekrar görkemli ve basit bir hale gelir. Ödül olarak da kuantum kütleçekimini ilave etme sorununu ortadan kaldırır.

Bölüm 6

1. Ne yazık ki Suzuki, Veneziano'nun Beta fonksiyonunu bağımsız şekilde keşfetmiş olduğunu öğrenince kendi sonuçlarını yayımlama-

dı. Bunun sonucu olarak bilimsel literatürün çoğunda yalnızca "Veneziano modeli"ne atıfta bulunulur.

2. Süper sicim kuramının daha eski, şeritlere dayalı daha kaba bir sürümü, o sıralarda New York'taki Yeshiva Üniversitesinde çalışmakta olan Leonard Susskind, Kopenhag'daki Niels Bohr Enstitüsü'nde çalışmakta olan H. B. Nielsen ve Nambu tarafından önerilmişti. Şerit kuramı, sonunda Nambu tarafından (ve Japonya'nın Kanda kentindeki Nihon Üniversitesi'nden Tetsuo Goto tarafından, bağımsız olarak) genelleştirilerek tam süper sicim kuramına dönüştürülmüştü.
3. Laurie M. Brown, "Yoichiro Nambu: The First Forty Years," *Progress of Theoretical Physics* (Kyoto, 1986).
4. Yukarıdaki gibi.
5. Dyson, *Disturbing the Universe*, 57
6. Natalie Angier, "Hanging the Universe on Strings," *Time* (Ocak 13, 1986): 57.
7. Yukarıdaki gibi, 56.

Bölüm 7

1. Sophus Lie ve Elie Cartan, Lie gruplarının tam ve kesin olarak yedi tane olduğunu gösterdiler ve bunları A, B, C, D, E, F ve G olarak adlandırdılar. İlk dört grup (A, B, C ve D), tamamen keyfi şekilde çok büyük olabilen bir n tamsayısı ile etiketlenir. Dolayısıyla, bu gruplardan sonsuz sayıda bulunabilir. Ancak, E, F ve G adlı Lie grupları, belli bir sayıdaki kuarklara izin verdikleri için on yıllar boyunca fizikçilerin ilgisini uyandırmıştır. Fizikçiler daima maddenin en az sayıdaki bileşenini aramakta oldukları için, E, F ve G grupları bunların simetrilerini tarif etmeye en yakın adaylar gibi görünmektedir. A, B, C ve D grupları tarih boyunca kuarkların ve leptonların modellerini inşa etmekte çok yararlı olmuşlardır. Daha tanıdık bir notasyon kullanarak, bu grupları şu şekilde yazabiliriz:

$$\mathbf{A}(n) = SU(n + 1)$$
$$B(n) = SO(2n + 1)$$
$$C(n) = SP(2n)$$
$$D(n) = SO(2n)$$

Burada "S", *özel* anlamına (matrisin determinantı bire eşittir), "O", *dikey* anlamına, "U", *bölünmez* anlamına ve "SP" ise *simplektik*

anlamına gelmektedir. Elemanter parçacıkları tarif etmek için bu gruplardan yola çıkılarak binlerce makale yazılmış olmakla beraber, bu kuramlardan hiç birinin n için rastgele seçilebilir olan değeri saptayamaması, bir dezavantajdır.

Bununla beraber, E, F ve G grupları, yalnızca aşağıdaki kümede bulunur:

G(2), F(4), E(6), E(7), E(8)

E, F ve G gruplarının sayısı küçük olduğu için, parçacık kuramcıları kuarkların belli bir sayıda olmasının nedenini bu gözlemin açıklayabileceğini düşünmektedirler. Örneğin E(6) grubu, GUT tipi kuramlar oluşturmakta başarıyla kullanılmıştır.

Bununla beraber süper sicim kuramı, bilinen bütün parçacıkları açıklamak ve daha bir milyar tanesinin varlığını öngörmek için yetip de artan E(8) × E(8) simetrisine sahiptir. Süper sicim simetrisi kırıldığı zaman E(6)'ya kadar kırıldığını, onun da daha sonra SU(3) × SU(2) × U(1)'e kadar kırıldığını tahmin etmekteyiz.

Matematikçiler tarafından kataloglanan orijinal yedi gruba ilave olarak, Osp(N/M) Ortosimplektik grup ve SU(N/M) süper üniter grup gibi başlangıçta Lie ve Cartan'ın gözünden kaçan süper simetrik gruplar da mevcuttur. Bu iki grup ise, süper kütleçekiminin ve süper konformal kütleçekiminin altında yatan simetrilerdir.

2. Crease ve Mann, *The Atlantic Monthly*, 73.
3. Yukarıdaki gibi, 75.
4. Yukarıdaki gibi
5. Yang-Mills kuramı, Robert Shaw ve R. Utiyama tarafından da bağımsız olarak önerilmişti.
6. Calder, *The Key to the Universe*, 185.

Bölüm 8

1. Telefon görüşmeleri, John Schwarz.
2. Yukarıdaki gibi
3. Teknik açıdan konuşacak olursak, Neveu-Schwarz-Ramond modeli ilk önerildiğinde tamamen süper simetrik değildi, çünkü içinde çok fazla parçacık barındırmaktaydı. 1971 yılında Gervais ve Sakita, Neveu-Schwarz-Ramond modelinin sicim uzay-zaman içinde hareket ederken taradığı iki boyutlu tabaka üzerinde iki boyutlu bir süper

simetriye sahip olduğunu kanıtladılar. Ancak bu, gerçek on boyutlu bir uzay-zaman süper simetrisi değildi.

1977 yılında F. Gliozzi, J. Scherk ve D. Olive, eğer kuramın bir alt bölgesi ("çift G paritesi sektörü") kullanılacak olursa, modelin gerçek on boyutlu süper simetriye sahip olacağı tahminini öne sürdüler. Bu kısaltma yapıldığı takdirde bozon sektörü ile fermiyon sektörünün tam anlamıyla eşit sayıda parçacıklara sahip olduklarını göstermek için ilk kez 1829 yılında Carl G. J. Jacobi tarafından yazılmış olan güçlü fakat pek az anlaşılan bir matematiksel özdeşliği kullanıyorlardı. Bu varsayım, nihayet 1980 yılında Michael Green ve John Schwarz tarafından kanıtlandı. Sonunda, 1983 yılında Green ve Schwarz, nicelendirilmiş ilk süper sicim denklemini, Nambu kuramının süper simetrik bir sürümünü buldular. Bu da, kuramın on boyutta süper simetrik olduğunu kesin bir şekilde kanıtladı.

4. Telefon görüşmesi, John Schwarz.
5. Michio Kaku ve Joel Scherk, "Divergence of the Two Loop Veneziano Amplitude," *Physical Review* (1971): 430, 2000.
6. Hemen hemen aynı sıralarda Bruno Zumino ve CERN'de çalışmakta olan Stanley Deser tarafından süper kütleçekiminin başka bir sürümü de keşfedilmişti. Northeastern Üniversitesinden Richard Arnowitt ve Pran Nath tarafından çok daha fazla sayıda parçacığı kapsayan daha karmaşık bir süper kütleçekimi kuramının, Stony Brook grubu kendi kuramlarını ileri sürmeden önce önerildiğini belirtmek gerekir.
7. Michael Green ve John Schwarz önce hem açık ve hem de kapalı sicimleri içeren Lie grubu O(32) üzerine kurulu bir süper sicim kuramı önermişlerdi. Bununla beraber, O(32) süper siciminde herhangi bir anomali mevcut olmamasına karşın, kuram bilinen elemanter parçacıkların deneysel özelliklerini açıklamakta zorlanıyordu. Çok geçmeden Princeton grubu tarafından yalnızca kapalı sicimlere sahip olan ve bu deneysel sorunu taşımayan Lie grubu E(8) × E(8) temeline dayalı rakip bir süper sicim önerildi. Dolayısıyla, sıklıkla "heterotik" olarak adlandırılan Princeton süper sicimi, deneysel açıdan O(32) sicimlerine tercih edilmektedir. Teknik olarak söylenecek olursa, artık fizikçiler süper sicimden bahsettikleri zaman aslında heterotik süper sicimi kastetmektedirler.
8. Crease ve Mann, *The Atlantic Monthly*, 91.
9. Yukarıdaki gibi, 9192.
10. Telefon görüşmesi, John Schwarz.

Bölüm 9

1. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry* (New York: Simon & Schuster, 1986), 209.
2. Dennis Overbye, "Wizard of Time and Space," *Omni* (Şubat 1979): 46.
3. Yukarıdaki gibi, 104.
4. Yukarıdaki gibi.

Bölüm 10

1. Marcia Bartusiak, *Discover* (Ekim 1990):89.
2. Alan Lightman ve Roberta Brawer, Origins: *The Lives and Worlds of Modern Cosmologists* (Cambridge: Harvard University Press, 1990), 305.
3. Yukarıdaki gibi, 288.
4. Bartusiak, *Discover*, 90.
5. Lightman, *Origins*, 305.

Bölüm 12

1. Pais, "Subtle is the Lord...", 330.
2. Yukarıdaki gibi.
3. Teknik olarak konuşmak gerekirse, genel fizik kabulleri altında altı boyutlu uzay, bir "Calabi-Yau uzayı" matematiksel yapısına sahiptir. Ne yazık ki, on boyutlu bir evrenin dört ve altı boyutlu evrenlere ayrılması, bu Calabi-Yau uzaylarının karmaşık matematiksel yapısı nedeniyle çok karmaşıktır. Sonunda fizikçiler, on boyutlu bir evrenin neden dört ve altı boyutlu evrenlere ayrıştırılması gerektiğini tam anlamıyla açıklamak için bu Calabi-Yau uzayları üzerinde nonpertürbatif hesaplamalar yapmak zorunda kalabilirler. Amaç, başlangıçtaki on boyutlu uzay-zamanın dengesiz olduğunu ve altı boyutlu Calabi-Yau uzayı ile olağan dört boyutlu Minkowski uzayı tarafından belirlenen daha dengeli bir yapıya doğru kuantum mekaniği tarafından "yönlendirildiğini" göstermektir.

   (Bu Calabi-Yau uzaylarının topolojik yapısının ortada neden en az üç lepton ve kuark ailesi mevcut olduğu problemini eninde sonunda çözeceği de tahmin edilmektedir.)
4. Başlangıçta bu etkinin iki aynayı birbirinin karşısına yerleştirince elde edilen etkiyle aynı olduğu zannedilebilir. Ancak, iki ayna tarafın-

dan yaratılan sonsuz sayıda görüntünün oluşturduğu dizi, kesinlikle sanaldır; elimizi uzatıp bu görüntülerden birini yakalamaya çalışacak olursak, yalnızca aynalara çarparız. Bu görüntüler, yalnızca ışığın iki ayna arasında ileri geri yansımasından doğmaktadır.

Buna karşın, önünüzdeki sonsuz sayıdaki nesne gözünüz açısından gerçek et ve kan gibidir. Elinizi uzatıp önünüzdeki görüntüyü kavramanız mümkündür, bu da tıpkı bir köpeğin kuyruğunu yakalaması gibi elinizin evrende dolaşıp kendi omzunuzu arkadan yakalamasına karşılık gelir. Ancak beyin, bunu kendinizin düz bir hat üzerine dizilmiş sonsuz sayıdaki görüntüsü olarak algılar, çünkü eğri uzayı görselleştiremez; yalnızca göze gelen ışığı yorumlayabilir.

Bölüm 13

1. Calder, *The Key to the Universe*, 25.
2. Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, 687.
3. Yukarıdaki gibi.
4. George Gamow, *My World Line*, aktaran John Gribbin, *In Search of the Big Bang* (New York: Bantam Books, 1986), 374.

Bölüm 14

1. Telefon görüşmesi, John Schwarz.
2. Yukarıdaki gibi.
3. Sheldon Glashow ve Leon Lederman, "The SSC: A Machine for the Nineties," *Physics Today* (Mart 1985): 32.

Bibliyografya

Abbott, Edwin A. *Flatland.* New York: Signet, 1984.

Bernstein, Jeremy. *Science Observed.* New York: Basic Books: 1982

Calder, Nigel. *The Key to the Universe.* New York: Penguin, 1981

Carnap, Rudolf. *Philosophical Foundations of Physics.* New York: Basic Books, 1966

Crease, Robert P. and Charles C. Mann. *The Second Creation.* New York: Macmillan, 1986.

Davies, Paul. *Superforce.* New York: Simon & Schuster, 1984.

Dyson Freeman. *Disturbing the Universe.* New York: Harper & Row, 1979.

Feynman, Richard P. "*Surely You're Joking, Mr. Feynman*!" New York: Bantam Books, 1986.

French A.P. *Einstein: A Centenary Volume.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979.

Gamow, George. *One, Two, Three . . . Infinity.* New York: Bantam Books, 1961.

Gibilisco, Stan. *Black Holes, Quasars and Other Mysteries of the Universe.* Blue Ridge Summit, Pa.: Tab Books, 1984.

Gribbin, John. *In Search of the Big Bang.* New York: Bantam Books, 1986.

———. *In Search of Schrödinger's Cat.* New York: Bantam Books, 1986.

———. *Spacewarps.* New York: Delta/Eleanor Friede, 1984.

Guillemin, Victor. *The Story of Quantum Mechanics*. New York: Charles Scribner's Sons, 1968.

Kaufmann, William. *Black Holes and Warped Spacetime*. San Francisco: W.H. Freeman, 1979.

Lightman, Alan and Brawer, Roberta. *Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmology*. Cambridge: Harvard University Press, 1990.

Misner, Charles W., Thorn, Kip S. and Wheeler, John Archibald. *Gravitation*. San Francisco: W.H. Freeman, 1973.

Pagels, Heinz. *The Cosmic Code*. New York: Bantam Books, 1983.

———. *Perfect Symmetry*. New York: Simon & Schuster, 1986.

Pais, Abraham. *Subtle Is the Lord* . . . "Oxford: Oxford University Press, 1982.

Silk, Joseph. *The Big Bang*. San Francisco: W.H. Freeman, 1980.

Snow, C.P. *The Physicists*. Boston: Little, Brown & Company, 1981.

Weinberg, Steven. *The First Three Minutes*. New York: Bantam Books, 1984.

Wolf, Fred Alan. *Taking the Quantum Leap*. New York: Harper & Row, 1981.

Zukaw, Gary. *The Dancing Wu Li Masters*. New York: Bantam Books, 1980.

Süper sicimler konusundaki teknik dokümanları taramak için bakınız:

Alessandri, V., D. Amati, M. Le Bellac and D. Olive. *Physics Reports 1C* (1971): 269-346.

Frampton, Paul. *Dual Resonance Model*. Reading, Mass. Benjamin, 1974.

Kaku, Michio. *Introduction to Superstrings*. New York: Springer-Verlag, 1988.

———. *Strings, Conformal Fields* and *Topology*. New York: Springer-Verlag, 1991.

Mandelstam, Stanley. *Physics Reports 13C* (1974): 259-353.

Rebbi, Claudio. *Physics Reports 12C* (1974): 1-73.

Scherk, Joel. *Reviews of Modern Physics* 47 (Ocak 1975): 123-164.

Schwarz, John. *Superstrings* cilt 1 ve 2. Singapur: World Scientific, 1985.

———. *Physics Reports 8C* (1973): 269-335.

Dizin

Abbott, Edwin A.; 192-193, 245
Acayip kuarklar; 127
Alessandrini, V.; 102
Alpher, Ralph; 155
Alt kuark; 82-84, 127
Alvarez-Gaume, Luis; 112
Amati, D.; 246
Anderson, Carl; 208, 210
Andromeda galaksisi; 173
Anormallikler; 183, 226
Anti madde; 82, 207-211, 214-216
Asimov, Isaac; 232
Aşağı kuark; 84, 227
Atom bombası; 10, 36, 41, 61, 123
Atom fiziği; 39, 81, 223, 230
Atomlar; 6, 46-47, 57, 62, 78, 153, 167, 180, 183-184, 208
Ayar simetrisi; 65-68, 71-72, 75, 80
Bardeen, John; 47
Berkeley, Bishop; 47, 53, 76, 93, 102-103, 132, 135, 142, 182
Bernstein, Jeremy; 245
Beta Fonksiyonu; 95-96, 101, 133, 239
Bethe, Hans; 97, 156, 172
Birleşik alan kuramı; ix-xi, 18, 20, 25, 27, 35-39, 42, 55, 107, 112, 120, 140, 188-190, 227, 229-233
Birleştirme; çok sayıda
Bohr, Niels; 13, 36, 42, 45, 49, 54, 108, 240
Bozonlar; 86, 132-134
Brawer, Roberta; 243, 246
Bruno; Giordano; 20, 135, 230, 235, 242
Büyük Patlama; çok sayıda
Calder, Nigel; 239, 241, 244-245
California Institute of Technology; 4
Carnap, Rudolf; 245

Carroll, Lewis; 206
CERN; 95, 102, 107, 144, 242
Charles C. Mann; 237, 245
Chew, Geoffrey S.; 93-94, 96, 102, 132
COBE uydusu; 182, 186
CP dönüşümü; 214
CP ihlali; 214-216
Crease, Robert P.; 237, 241-242, 245
Cremmer, E.; 191
Cronin, James W.; 215
Çekim dalgaları; 32, 185
Dalgalar; 26, 39
Davies, Paul; 237, 245
de Broglie, Louis; 45
Denkliğin korunması; 213
Descartes; 53
Dirac denklemi; 207
Dirac, Paul; 57, 207
DNA molekülü; 48
Dodgson, Charles Lutwidge; 206
Dokular; 185
Doppler etkisi; 151
Dört kuvvet; 6-7, 9, 39, 130, 152
Dressler, Adam; 181-182
Duvarlar; 183-184
Dyson, Freeman; 16, 64, 99, 235, 237, 240, 245
E(8) grubu; 120, 126-127, 139, 241-242
E(N) simetrisi; 119
Einstein, Albert; çok sayıda
Elektrik; çok sayıda
Elektro-zayıf kuvvet; 228
Elektro-zayıf kuramı; 74-75, 80
Elektromanyetizma; 7, 190, 225, 228
Elektron mikroskopları; 48
Elektronlar; 7, 45-47, 57-58, 62, 64, 66, 70-71, 126, 156, 176, 211, 214
Engels; 78
Etkileşimler; x, 17, 66, 68, 70-71, 74-75, 80, 85-86, 107, 109, 125-126, 213, 227, 238
Euler, Leonhard; 95-96
Evrenbilim; 164, 166, 180, 182, 186, 229
Evrenin ölümü/Kıyamet; 15, 211
Faz geçişleri; 110
Fermi, Enrico; 69, 76, 81-83, 123, 141, 132-137, 137, 242
Fermiyonlar; 132-134
Ferrera, Sergio; 110
Feynman diyagramları; 64, 67, 93, 102-105, 127, 137, 210, 238-239
Feynman, Richard P.; çok sayıda
Fiziğin felsefesi; 53
Fleming, Alexander; 113
Fotino; 176
Fotoelektrik etki; 34, 44
Foton; 42, 49, 56, 61, 65-66, 70, 72, 75, 87, 107, 109, 119, 132-133, 153, 210, 237
Fourier, Joseph; 117
Frampton, Paul; 246
French A.P.; 245
Friedman, Alexander; 138, 150-151
Galaksiler; 13, 15, 126, 128, 132, 168-169, 173-174, 179, 199, 181-182,
Galilei, Galileo; 20
Gamow-Alpher-Herman öngörüsü; 155

Gamow, George; 154-155, 219, 244-245
Gauss, Carl Friedrich; 199-200
Geiger sayacı; 9, 52
Gell-Mann, Murray; 79, 97, 110, 121
Genel görelilik; 4, 11, 19, 27, 32, 34, 42, 98, 115, 150, 157, 160, 188, 216-217, 205, 220
Genel izafiyet; 11
Gibilisco, Stan; 245
Glashow, Sheldon; 10, 16, 72-74, 87, 121, 132, 144, 154, 223, 229-230, 235, 237, 244
Gluino; 176
Gluon; 80, 85, 87, 110, 125, 176, 238
Gluonlar; xi, 86
Gödel, Kurt; 216-218
Görelilik; çok sayıda
Grassmann sayıları; 140-141
Graviton; 107, 109, 133
Gribbin, John; 237, 244-245
Gross, David; 132, 139
Guillemin, Victor; 246
GUT; çok sayıda
GUT kuramı, 18, 87-89, 119, 126-127, 145, 215, 239
Güçlü kuvvet; 8-9, 75, 77, 85, 88, 142, 152-154, 156, 228
Hadron; 76, 78-79, 100, 121, 153
Halley kuyruklu yıldızı; 50
Handbuch der Physik; 4
Harvey, Jeffrey; 139
Hawking, Stephen; 158-160, 204
Hayaletler; 226
Hegel; 78
Heisenberg, Werner; 19, 36, 40-42, 45, 49-50, 54, 59, 99, 101, 119, 123-124, 159, 207-208, 218, 227, 238
Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi; 49-50, 159, 163, 218
Herman, Robert; 155
Hertz, Heinrich; 25
Hidrojen atomları; 153
Hidrojen bombası; 11
Higgs parçacığı; 86
Higgs, Peter; 86, 125
Hiper uzay; xi
Hiperküp; 194-197
Hitler; 41
Hooft, Gerard; 16, 72-73, 125
Hubble Uzay Teleskopu; 158, 175, 202
Hubble, Edwin; 150-151, 158, 169, 175, 202
Işık; 28, 44, 56, 153, 202, 236
İkinci Dünya Savaşı; 56
Jordan, Pascual; 219
Kaku, Michio; xi, 242, 246
Kaluza, Theodor Franz; 111, 188-191
Kara cisim ışınımı; 43
Kara delikler; 144, 155-157, 159, 175, 202, 204, 225
Karanlık madde; çok sayıda
Kardashev, Nikolai; 231
Kaufmann, William; 246
Kayıp kütle; 15, 175, 177-178
Kikkawa, Keiji; 102-103
Klein şişesi; 106
Klein, Oskar; 106, 111, 189-191
Kozmik ışın deneyleri; 75, 142, 210
Kozmik sicimler; viii, 178-181, 183, 185-187
Kuantum alan kuramı; 60, 62, 66,

94-96, 101, 104, 111-112, 136, 139, 227
Kuantum elektrodinamiği; 61, 172, 209
Kuantum mekaniği; çok sayıda
Kuantum sıçraması; 163
Kuantum sicimleri; 191
Kuarklar; xi, 84, 86-87, 110, 126-127, 153, 163, 225
Kuvvetler; 6-10, 23, 67-68, 87, 125, 152-153, 202-204, 207, 222
Lambda; 79
Laplace, Pierre Simon; 50
Lawrence, Ernest; 142
Lazerler; 46, 48, 57, 225
Le Bellac, M.; 246
Leptonlar; xi, 68, 86, 126, 153, 176
Lie grupları; 118-120, 227, 240
Lie, Sophus; 118, 141, 240
Lightman, Alan; 243, 246
Likhtman, E.P.; 134
Lovelace, Claude; 102, 107
MACHO; 175
Mandelstam, Stanley; 103, 246
Manyetizma; 6-7, 10, 22-23, 30, 107, 185, 190, 225, 228
Martinec, Emil; 139
Maxwell, James Clerk; 22-26, 28-30, 34-35, 66-68, 71-72, 86, 119, 123, 125, 188, 212, 227-228, 232
Mendelev, Dmitri; 77, 79, 87
Mikrodalgalar; 26
Misner, Charles W.; 235, 246
Muon; 70, 85, 88, 127
Nambu; 96-101, 107, 133-134, 240, 242
Nambu-Goldstone kuramı; 97
Neeman, Yuval; 79
Neveu-Schwarz-Ramond modeli; 108, 241
Neveu-Schwarz-Ramond kuramı; 133
Newton, Isaac; çok sayıda
Nobel ödülü; 10, 34, 41, 44, 47, 55, 61, 67, 70, 73-74, 76, 79, 82, 110, 112, 121, 155-156, 172, 208, 214, 237
Nokta parçacıklar; 5, 58-59, 65, 127
Nötrino; çok sayıda
Nötron; 5, 8, 11, 75-78, 83-84, 87, 123-124, 133, 153, 156-157, 175
Nötron yıldızı; 156-157
Nötronlar; 157
Nuclear Power: Both Sides; x
NUT; 217-218, 220
NUT çözümleri; 217
O(3) simetrisi; 118-119, 129
O(N) simetrisi; 118
Olive, D.; 242, 246
Omega; 62, 100, 177
Oppenheimer, J. Robert; 35, 41, 63, 76, 100, 120, 122-123, 157
Öklit; 199-201
Özel görelilik; 27, 30-31, 57, 61, 63
Pagels, Heinz; v, 70, 237, 243, 246
Pais, Abraham; 235-236, 243
Parçacık fiziği; 82, 142, 176, 223, 229, 239
Parçacık hızlandırıcı; 17, 82, 87
Pauli, Wolfgang; 13, 69, 213
Penrose, Roger; 204
Penzias, Arno; 155
Pi mezon; 75, 133

Planck katsayısı; 133
Planck sabiti; 44, 133, 236
Planck, Max; 43-45, 53, 133, 145, 164, 190, 236
Postman, Marc; 182
Pound, Robert; 34
Powell, Cecil; 75-76
Pozitron; 208
Princeton süper sicimi; 139, 242
Proton; 5, 8, 11, 82, 67, 75-78, 84-85, 87-88, 119, 123-124, 132-133, 143-144, 153, 159
Protonlar; 8, 67, 82, 123
QED (Quantum Electrodynamics); 61, 64, 66-68, 70, 73, 75, 127, 209-211, 237-238
Radar; 8, 26
Radyo; 8-9, 26, 46-47, 69, 99, 155, 158, 212-215
Radyoaktivite; 9
Rebbi, Claudio; 246
Renormalizasyon; 67-68, 73, 87, 93, 102, 104, 226
Roosevelt, Franklin; 41
Rosen Köprüsü; 203-204
S matrisi; 62-63, 65, 73, 94-96, 101-103, 111, 127-128, 132-133, 227, 237
Sakata, Shoichi; 78-79, 119, 121
Sakita, Bunji; 102, 134-135, 241
Salam, Abdus; 10, 72-73, 80, 119, 121
Saltpeter denklemi; 97
Samanyolu; 150, 158, 169, 175, 181-182
Scherk, Joel; x, 109, 132, 135, 191, 242
Schrödinger denklemi; 45-46, 49, 118-119, 207, 230
Schrödinger, Erwin; 19, 45-46, 49, 51-53, 56, 59, 118-119, 123, 207, 212, 236-237, 245
Schrödinger'in kedisi; 52, 56, 236
Schwarz, John; çok sayıda
Schwinger, Julian; 64, 67, 99-100, 120-122, 145
Shapely, Harlow; 181
Sicimler; çok sayıda
Silk, Joseph; 246
Snow, C.P.; 246
Sonsuzlar bulmacası; vii, 60-61, 63, 65, 67, 69, 71, 73, 75, 77, 79
Sparçacıklar; 176
Spinoza, Benedic de; 54
SSC (Süperconducting Super Collider); 17-18, 141-145, 166-167, 176, 187, 244
Standart Model; 85-86
SU(N) simetrisi; 136
Suzuki, Mahiko; 95-96, 101, 132-133, 239
Süper sicim kuramı; çok sayıda
Süper sicimler; çok sayıda
Süper simetri; çok sayıda
Süpernova; 156
Takiyonlar; 226
Tau parçacığı; 86
Tesseract; 195-196
Tevatron; 82
Thompson, Jennifer; x-xi
Thorn, Kip S.; 107, 246
Tılsımlı kuark; 127
Tinker Toy; 65, 68, 71, 102, 127
TOE; 4
Tohumlar; 182, 184
Townes; Charles; 47

Transistörler; 11, 47, 57
Uranyum; 8-10, 31, 51-52
Uydular; 176
Uzay sapması; 198
Üst kuark; vii, 81-84, 127
Veneziano, Gabriele; 95-96, 101, 132-133, 239-240, 242
Virasoro, Miguel; 102
Von Neumann, John; 57
W parçacığı; 71-73, 75, 77, 87, 120, 124-125, 133, 136,
Weinberg, Steven; 10, 72-73, 80, 82, 112, 119, 121, 125, 132, 144, 154, 246
Wheeler, John Archibald; 210-211, 235, 246
WIMP; 175-176
Wigner, Eugene; 55
Wolf, Fred Alan; 12, 69, 246
Yang-Mills kuramı; 72-73, 77, 80, 93, 124-125, 241
Yang-Mills parçacığı; 80, 124
Yang-Mills parçacıkları; x, 124
Kütle çekimi kuramı; 32, 138, 188
Yukarı kuark; 84, 127
Zayıf etkileşim; 68, 70-72, 74, 85-87, 124-125, 175, 213, 227, 238
Zayıf etkileşimler; 68, 70-71, 74, 125, 213, 227, 238
Zayıf kuvvet; 9-10, 17, 68, 85, 87, 152-154, 228
Zukaw, Gary; 246
Zweig, George; 79

MICHIO KAKU,

New York City
University'de
teorik fizik profesörüdür
ve sicim kuramını
bulanlardandır.
Einstein'dan Ötesi,
Olanaksızın Fiziği ve
Einstein'ın Evreni gibi
önemli kitapların
yazarı olan Kaku,
birçok bilimsel TV ve
radyo programının da
yapımcısıdır.



EINSTEIN'DAN ÖTESİ

MICHIO KAKU

ve

JENNIFER THOMPSON

Süpersicim kuramı nedir ve neden böylesine önemlidir?.. *Einstein'dan Ötesi*, okurları, bilim insanlarını fizik dünyasında günümüzün en parlak ve yeni yaklaşımlardan biri olan süpersicim kuramına yönlendiren keşifler arasında heyecan dolu bir yolculuğa çıkarıyor. Fizik için devrim niteliğinde olan bu kuram, Albert Einstein'ın fizik yasalarının evrendeki bilinen bütün kuvvetleri açıklayacak tek bir tanım içerisinde birleştirilmesine yönelik bir ömür süren çalışması olan Her Şeyin Kuramı rüyasının gerçekleşmesini sağlayabilir. Süpersicim kuramının öncülerinden biri olan Michio Kaku ile birlikte yazılan ve en yeni araştırmaları kapsayacak şekilde güncellenen bu kitap, bilimsel soruları bir polisiye öykü heyecanı içinde ele alıyor ve olanaksızı mümkün kılabilecek bu yeni bilimsel yaklaşımı hayranlık uyandırıcı bir bakış açısıyla sunuyor.



Ödünç-

1 004001 32568

ODTÜ YAYINCILIK

odtuyayincilik.com.tr