LISA RANDALL

CENNETİN KAPISINI ÇALMAK



Sicim Kuramlarından Çoklu Evrenlere Her Şeyin Kuramı

ALFA | BİLİM

CENNETİN KAPISINI ÇALMAK

Higgs Parçacığından Süpersimetriye, Sicim Kuramlarından Çoklu Evrenlere Her Şeyin Kuramı

LISA RANDALL

Harvard Üniversitesinde, Frank J. Baird Jr., Bilim Profesörü unvanıyla kuramsal parçacık fiziği ve kozmoloji konularında çalışıyor. Çalışmaları onun günümüzde en çok referans verilen ve en etkili kuramsal fizikçiler arasına girmesini sağlamış olup, *Discover*, *the Economist*, *Newsweek*, *Scientific American* ve öne çıkan başka bilimsel dergilerde yazıları yayımlanmıştır. *Time* dergisinin "En Etkili 100 Kişi" ve *Rolling Stone*'un "RS100: Değişim Elçileri" listelerine girmiştir. *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions* adlı ilk kitabı 2005 yılında *New York Times*'ta Dikkate Değer Kitap seçildi. Ulusal Bilimler Akademisi, Amerikan Felsefe Topluluğu ve Amerikan Sanat ve Bilim Akademisi üyesidir. Üniversitede çalışmadığı zamanlarda Randall'ı kaya tırmanışları yaparken, kayakta ya da bilim-sanat bağlantılarına katkı yaparken görebilirsiniz. *Hypermusic Prologue* eserine yazdığı librettonun ilk gösterimi 2009 yılında Paris'teki Pompidou Center'da yapılmıştır.

MURAT ALEV

Fizik bölümündeki lisans eğitimini ODTÜ'de tamamladı, deneysel astrofizik alanındaki yüksek lisans ve doktora derecelerini de ODTÜ'den aldı. Fizik bölümünde öğretim görevlisi olarak çalıştı. Fizik, astronomi, kozmoloji ve denizcilik konularında çok sayıda popüler kitap çevirileri yaptı. Şimdilerde çeviri yapmanın yanı sıra, hayatının bütün dönemlerinde iç içe olduğu hobisine, denizcilik ve yelken eğitmenliğine daha fazla zaman ayırıyor.

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

Knocking on Heaven's Door
© 2011, Lisa Randall

İlk baskısı ABD'de Perseus Books Group'un tescilli markası Basic Books tarafından basılmıştır.

Kitabın Türkçe yayın hakları The Wylie Agency (UK) Ltd. aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Redaksiyon Mehmet Ata Arslan
Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-171-291-8
1. Basım: Mayıs 2016

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Fatih-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

LISA RANDALL

CENNETİN KAPISINI ÇALMAK

Sicim Kuramlarından Çoklu Evrenlere Her Şeyin Kuramı

Çeviri
Murat Alev

ALFA BİLİM

İÇİNDEKİLER

Teşekkür, 7
Giriş, 11

Kısım I
GERÇEKLİĞİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ, 25

1 Size Göre Çok Küçük Olan Şey Bana Göre Çok Büyüktür 27
2 Gizlerin Kilidini Açmak 53
3 Maddesel Bir Dünyada Yaşamak 68
4 Yanıtları Aramak 88

Kısım II
MADDENİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ, 97

5 Sihirli Gizem Turu 99
6 "Görmek" İnanmaktır 126
7 Evrenin Kenarı 146

Kısım III
MAKİNELER, ÖLÇÜMLER VE OLASILIK, 159

8 Her Şeyi Yönetmek İçin Bir Halka 161
9 Halkanın Dönüşü 178
10 Dünyayı Yutacak Kara Delikler 201
11 Riskli İş 213
12 Ölçme ve Belirsizlik 239
13 CMS ve Atlas Deneyleri 254
14 Parçacıkların Tanınması 282

Kısım IV
MODELLEME, TAHMİN ETME VE SONUÇLARIN BEKLENMESİ, 297

15 Gerçeklik, Güzellik ve Diğer Bilimsel Kavram Hataları 299
16 Higgs Bozonu 317
17 Dünyanın Gelecek En Üst Modeli 342
18 Aşağıdan Yukarıya ve Yukarıdan Aşağıya 376

Kısım V
EVRENİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ, 389

19 Tersyüz 391
20 Sana Çok Büyük Görünen Benim İçin Çok Küçüktür 407
21 Karanlık Taraftan Ziyaretçiler 425

Kısım VI
ÖZET, 443

22 Küresel Düşün, Yerel Davran 445

Sonuç, 461
Dizin, 469

TEŞEKKÜR

Bu kitap çok şeyden söz ediyor ve ben, çevremde her aşamada bana kılavuzluk eden mükemmel ölçüde cömert ve düşünceli insanlar olduğu için şanslıydım. Bu çalışmanın ilk eskizlerine kafa yorarken bile zeki insanlara güvenebileceğimi bilmek, ilerleyişim sırasında güçlü bir motivasyon kaynağı oldu. Bu kitabın birden fazla nüshasını okuyan ve farklı aşamalarda değerli geri bildirimlerde bulunan Andreas Machl, Luboš Motl ve Cormac McCarthy'ye özellikle teşekkür borçluyum. Cormac'ın yüksek standartları, sabrı ve "benim projem"e olan inancı, Luboš'un bir fizikçi olarak duyarlılığı ve bilimsel iletişimdeki dikkati ve Andreas'ın bilgeliği, heyecanı ve tutarlı desteği çok önemliydi.

Diğer arkadaşlarımınsa düzeltmeleri, tavsiyeleri ve coşkuları çok önemli katkılar yaptı. Anna Christina Buchmann önerileri ve katkılarında çok hoş bir şekilde anlayışlı, zeki ve nazikti; Jen Sacks kararsızlık anlarımda bana bilgeliği ve özeniyle yardımcı oldu; Polly Shulman baştan itibaren önemli yönlendirmeler ve cesaretlendirmeler yaptı; Brad Farkas'ın ilgisi ve keskin yayıncı kalemi, bu girişimi somutlaştırdı; İngiliz editörüm Will Sulkin'in keskin gözü ve inanılmaz becerisi, kritik bir evrede önemli bazı bölümlerin iyileşmelerini sağladı. Bob Cahn, Kevin Herwig, Dilani Kahawala, David Krohn, ve Jim Stone'a da redaksiyonları ve kitabın son şeklini okuduktan sonraki önerileri için teşekkür borçluyum.

Hem LHC makinesinin hem de ATLAS ve CMS deneylerinin doğru ayrıntılarını bana gösteren ve dedektörlerini bir insanın yapabileceği kadar iyi bilen fizikçiler Fabiola Gianotti ve Tiziano Camporesi'ye de teşekkürlerimi sunuyorum. Ve LHC ile tarihçesi hakkında yazdıklarımı okumada kim Lyn Evans'tan daha iyi olabilirdi? Bazı fizik bölümleri üzerinde cömertçe tavsiyelerde bulunan Doug Finkbeiner, Ho-

wie Haber, John Huth, Tom Imbo, Ami Katz, Matthew Kleban, Albion Lawrence, Joe Lykken, John Mason, Rene Ong, Brian Shuve, Robert Wilson ve Fabio Zwirner'a da teşekkür ediyorum. 2010 ve 2011 yılında Harvard'daki birinci sınıf seminer öğrencilerime de LHC'yi kavrayışları konusundaki düşüncelerinden ötürü teşekkür borçluyum.

Din ve bilim ilişkisi benim için biraz yeni bir alan olmakla birlikte, Owen Gingerich, Linda Gregerson, Sam Haselby ve Dave Thom'un tavsiye ve bilgelikleriyle bu alanda kendime çok daha büyük bir güvene ulaştım. Bana bilim tarihi konusunda yardım eden ve hikâyemin daha kesin olmasını sağlayan Ann Blair, Sofia Talas ve Tom Levenson'a da müteşekkirim.

Risk ve belirsizlik gibi konular riskli (ve belirsiz) olabilir. Noah Feldman, Joe Fragola, Victoria Gray, Joe Kroll, Curt McMullen, Jamie Robins, Jeannie Suk, Harvard Hukuk Fakültesi Kollokyumu katılımcılarına, özellikle de Jonathan Wiener'a uzmanlıklarını paylaştıkları için ve başlangıçta benimle yaptığı konuşmalar için Cass Sunstein'a da teşekkür ediyorum. Yaratıcılık bir başka muğlak konu olup, bu konudaki fikirlerini benimle paylaştıkları için Karen Barbarossa, Paul Graham, Lia Halloran, Gary Lauder, Liz Lerman, Peter Mays ve Elizabeth Streb'e teşekkür borçluyum. İlk bölümün omurgasını oluşturan konuşmaları nedeniyle ve belleği benimkinden daha iyi olduğundan hatalarımı düzelten Scott Derrickson'a da özel teşekkürlerimi sunarım. 2010 Techonomy'nin düzenleyicilerine beni açılış paneline davet ettikleri ve kitabın sonuç bölümüne katkıları için teşekkür ediyorum. Metinde konuşmalarından söz edilen diğerlerine de teşekkür ediyorum. Cömert geri bildirimleri ve düşünceleri için Alfred Assin, Rodney Brooks, David Fenton, Kevin McGarvey, Sesha Pratap, Dana Randall, Andy Singleton ve Kevin Slavin'e; tavsiyeleri ve cesaretlendirmeleri için A.M. Homes ve Rick Kot'a teşekkür ediyorum.

Pek çok başka kimseye, yola çıktığım bu zor maceranın erken aşamalarında bana cesaret verdikleri için müteşekkirim. Kitabın başarılı çıkışı için John Brockman ve Ecco'dan

Dan Halpern'e, parçaların bir araya getirilmesindeki katkıları nedeniyle Matt Weiland ve yardımcısı Shanna Milkey'e de teşekkür ediyorum. Bu kitabı gerçeğe dönüştürmem konusunda bana destek olan Ecco'daki diğerlerine ve son aşamaları yönlendiren Andrew Wylie'ye de teşekkürlerimi sunuyorum. Karmaşık fikirleri açık şekillerle açıklayan Tommy McCall, Ana Becker ve Richert Schnorr'dan oluşan resimleme ekibiyle çalışmaktan da çok mutlu oldum.

Son olarak, araştırma ortaklarıma ve fizikçi meslektaşlarıma bana öğrettikleri her şey için teşekkür ediyorum. Akılcılığa olan sevgimi cesaretlendirdikleri için aileme şükran borçluyum. Destekleri ve sabırları nedeniyle arkadaşlarıma da teşekkür ediyorum. Ve adları geçmiş olsun ya da olmasın, bu süre boyunca fikirlerimi biçimlendiren herkese sonsuz teşekkürler.

GİRİŞ

Keşfin sınırlarında temkinli bir şekilde bekliyoruz. Parçacık fiziği ve kozmolojideki en büyük ve en heyecan verici deneyler yolda olup dünyanın en yetenekli fizikçi ve gökbilimcileri, dikkatlerini bu deneylerin olası sonuçlarına yoğunlaştırmış durumda. Önümüzdeki on yıl içinde bilim insanlarının bulacakları şeyler, maddenin ve hatta uzayın kendisinin temel yapısına ilişkin görüşlerimizi değiştirecek ipuçlarını verebilir ve gerçekliğin doğasını anlamamızı sağlayabilir. Bu gelişmelere odaklanan bizler, bunların post-modern eklentiler olmasını beklemiyoruz. Evrenin yapısı konusunda sezgilere dayalı olan bakışımızı değiştirerek bize evren konusunda son derece farklı bir yirmi birinci yüzyıl paradigması sağlayacak olan keşifleri dört gözle bekliyoruz.

10 Eylül 2008'de Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (LHC) tarihsel öneme sahip ilk deneme çalışması gerçekleştirildi. Her ne kadar Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ismi bir kalıp deyim olup esin verici olmaktan uzak olsa da, bu, çarpıştırıcıda yapılan bilimin, olağanüstü olmasını beklediğimiz sonuçları için pek doğru değildir. "Büyük", çarpıştırıcıyı niteleyen bir sözcük olup hadronlara ilişkin değildir. LHC'nin Fransa-İsviçre sınırını kesen ve Jura Dağları ile Cenevre Gölü arasında yeraltının derinliklerine gömülü olan, 26,6 kilometrelik[1] devasa çember şeklinde bir tüneli vardır. Bu tünelin içindeki elektrik alanları, her birinin içinde milyarlarca proton bulunan (ki bunlar, çarpıştırıcıya ismini veren hadron sınıfından parçacıklardır) iki demeti ivmelendirerek bunların bir saniyede tünelin içinde 11.000 tur atacak hıza ulaşmasını sağlarlar.

Çarpıştırıcı, her bakımdan şimdiye kadar yapılmış olan en büyük ve en çarpıcı deneye ev sahipliği yapar. Amaç,

[1] Kitapta çoğu zaman yaklaşık bir değer olan 27 km kullanılacaktır.

maddenin şimdiye kadar ölçülenlerden daha küçük boyutlarda ve daha yüksek enerjilerdeki yapısını ayrıntılı olarak incelemektir. Bu enerjilerin bir dizi egzotik temel parçacık üretmeleri ve evrenin evriminin ilk anlarında, kabaca Büyük Patlamadan saniyenin trilyonda biri kadar sonra gerçekleşen etkileşmeleri ortaya çıkarması bekleniyor.

LHC'nin tasarımında pratik zekâ ve teknolojinin, son sınırlarına kadar zorlanmış olmasına karşın, yapım bittikten sonra yeni engeller ortaya çıktı. Kötü lehimlenmiş bir bağlantı nedeniyle LHC'nin ilk çalıştırılmasından dokuz gün sonra fizikçileri ve doğanın daha iyi anlaşılmasıyla ilgilenen herkesi düş kırıklığına uğratan bir patlama oldu. Ama sonunda, 2009 sonbaharında LHC yeniden işlevsel hale getirildiğinde, herkesin beklediğinden çok daha iyi çalışıyordu. Çeyrek yüzyıllık emek sonunda meyvesini vermiş, düş gerçeğe dönüşmüştü.

Aynı yılın ilkbaharında, Fransız Guyanası'ndan Planck ve Herschel uyduları fırlatıldı. Zamanlamayı, bu tarihi olaya tanıklık etmek üzere ziyaret etmekte olduğum Pasadena'da 13 Mayısta sabaha karşı 05:30'da bir araya geldiğimiz, Caltech'te çalışan bir grup heyecanlı gök bilimciden öğrendim. Herschel uydusu yıldız oluşumu konusundaki kavrayışımızı artıracak veriler toplayacak, Planck uydusuysa Büyük Patlamadan kalan ışınım konusunda ayrıntılar elde ederek evrenimizin ilk anlarının tarihi konusunda yeni bilgiler sağlayacaktı. Uydu fırlatılmaları heyecanlı olur ama gergin anlar yaşanır çünkü olasılığı yüzde iki ile beş arasında olan başarısızlık durumunda dünyaya geri düşen uyduda bulunan özel bilimsel araçlar üzerinde harcanan yılların çabası boşa gider. Neyse ki bu fırlatma başarılı oldu ve uydu gün boyunca bilgi göndererek fırlatmanın başarısını doğruladı. Bu durumda bile, uydunun yıldızlar ve evren konusunda en değerli bilgileri göndermesi için yıllarca beklemek zorunda kalacağız.

Artık fizik, çok büyük bir uzaklık ve enerji aralığında evrenin işleyişi konusunda sağlam bilgiler veriyor. Kuramsal ve deneysel çalışmalar bilim insanlarına en miniğinden de-

vasa büyüklüktekilere kadar elementler ve yapılar konusunda derin bir kavrayış kazandırmıştır. Zamanla bu parçaların nasıl bir araya getirileceği konusunda ayrıntılı ve kapsamlı bir öyküyü ortaya çıkardık.

Kuramlar, kozmosun atomları oluşturan minik bileşenlerin bir araya gelerek evrene dağılmış bir şekilde bulunan galaksiler ve daha büyük yapıları oluşturan yıldızlara dönüşerek nasıl evrildiğini ve kimi yıldızların patlayarak galaksimize ve güneş sistemine giren ve sonunda yaşamın ortaya çıkmasında temel roller üstlenen ağır metalleri nasıl ortaya çıkardığını başarılı bir şekilde açıklar. LHC'den ve yukarıda sözü edilen uydu keşiflerinden elde edilen sonuçları değerlendiren günümüzün fizikçileri, bu sağlam ve geniş temel üzerine daha küçük uzaklıklar ve daha yüksek enerjiler konularındaki kavrayışımızı derinleştirecek, daha önce ulaşılamamış, son derece büyük hassaslıklar elde etmeyi umuyorlar. Bu bir serüvendir. Tutkulu hedeflerimiz var.

Büyük olasılıkla bilimin çok açık ve görünüşe göre kesin tanımlarını, özellikle de din gibi inanç sistemleriyle karşılaştırmaları duymuşsunuzdur. Aslında bilimin evriminin gerçek öyküsü karmaşıktır. Her ne kadar bilimi –en azından benim başlangıçta yaptığım gibi– gerçekliğin güvenilir bir yansıması ve fiziksel dünyanın işleyiş kuralları olarak görmek hoşumuza gidiyor olsa da, etkin araştırma neredeyse kaçınılmaz bir biçimde, ilerlemeyi umduğumuz ama bundan kesin olarak emin olamadığımız, belirsiz bir durumda gerçekleşir. Bilim insanlarının zorlu görevi, ümit verici fikirler konusunda sebat etmek, bu arada bu fikirlerin doğruluğunu ve olası sonuçlarını sorgulamaktır. Bilimsel araştırma kaçınılmaz olarak zor ve çoğu zaman birbirleriyle rekabet içinde olan, hatta çatışan, ama çoğunlukla da heyecan verici olan fikirlerin kıyısında hassas bir denge halinde, tetikte bulunmak demektir. Amaç, bilginin sınırlarını genişletmektir ama başlangıçta verilerle, kavramlar ve denklemlerle oynarken doğru yorum, araştırmanın içinde en etkin olarak bulunanlar için bile belirsiz olabilir.

Benim araştırmalarım, zaman zaman sicim kuramının ve en büyük nesnelerle ilgilenen kozmolojinin alanına giren,

temel parçacıklar (bilebildiğimiz en küçük parçacıklar) kuramına odaklanıyor. Çalışma arkadaşlarım ve ben maddenin özünde ne olduğunu, evrende neler bulunduğunu ve deneycilerin keşfettiği temel nicelik ve özelliklerin birbirlerine sonuçta nasıl bağlı olduğunu anlamaya çalışıyoruz. Benim gibi kuramsal fizikçiler gerçek dünyada hangi kuramların uygulandığını belirleyen gerçek deneyler yapmazlar. Bunun yerine biz, deneylerden çıkması olası olan sonuçları öngörür ve fikirleri sınamak için gerekli olan yenilikçi yolların bulunmasına yardımcı oluruz. Yanıtlamaya çalıştığımız sorular öngörülebilir bir gelecekte insanların her gün akşam yemeğinde yediklerini büyük olasılıkla değiştirmeyecektir. Ama bu çalışmalar sonunda kim olduğumuz ve nereden geldiğimiz konularını açıklığa kavuşturabilir.

Bu kitap araştırmalarımıza ve karşılaştığımız en önemli bilimsel sorunlara ilişkindir. Parçacık fiziği ve kozmolojideki yeni gelişmeler dünyayı; yapısını, evrimini ve işleyişini yöneten temel kuvvetleri kavrayışımızı kökünden değiştirme potansiyeline sahiptir. Bu kitapta Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki deneysel araştırmalar ve bu araştırmalarda neler bulunacağını tahmin etmeye çalışan kuramsal çalışmalar anlatılıyor. Kitapta aynı zamanda kozmolojiye, yani evrenin doğasına ve özellikle evrende gizli bulunan kara maddeye ilişkin çalışmalar da tanımlanıyor.

Elinizdeki kitabın kapsamı aslında bundan da geniştir. Bu kitapta bütün bilimsel araştırmalardaki ortak ve daha genel sorular da yanıtlanmaya çalışılıyor. Günümüzdeki araştırmaların sınırlarını tanımlamanın yanı sıra, bilimin doğasının açıklığa kavuşturulması da bu kitabın amaçları arasındadır. Sorulması gereken, doğru soruların hangileri olduğuna nasıl karar verildiği, bilim insanlarının bu konuda bile neden fikir birliği içinde olmadığı ve doğru bilimsel fikirlerin eninde sonunda nasıl üstün geldiği de bu kitapta araştırılıyor. Bilimin ilerlediği gerçek yollar ve gerçeği arayışın başka yöntemleri ile karşıtlıkları araştırılırken, bilimin bazı felsefi dayanakları veriliyor ve sonunda nereye varacağımız ya da kimin haklı olduğunun kuşkulu olduğu ara ev-

reler tanımlanıyor. Aynı zamanda, eşit öneme sahip olmak üzere, bilimsel düşünce ve yöntemlerin bilim dışı alanlara nasıl uygulanabileceği gösteriliyor, böylece bu alanlarda da daha akılcı karar alma süreçleri özendiriliyor.

Çağdaş kuramsal ve deneysel fiziği daha iyi kavramak ve modern bilimin doğasıyla sağlam bilimsel düşüncenin ilkelerine değer veren bu kitap, ilgili ama meslekten olmayan kimselere yönelik olarak yazılmıştır. İnsanlar çoğu zaman bilimin ne olduğunu ve bilimden ne beklememiz gerektiğini gerçekten anlamıyorlar. Bu kitap, benim bazı kavram hatalarını düzeltme yönündeki bir girişimim olup günümüzde bilimin anlaşılması ve uygulanması yolundaki kimi düş kırıklıklarımı da açığa vuruyor olabilir.

Son birkaç yılda bazı eşsiz deneyimler edindim, konuştuğum kişilerden çok şey öğrendim ve bunları, bazı önemli fikirleri incelemek üzere çıkış noktaları olarak paylaşmak istiyorum. Her ne kadar söz ettiğim bütün alanlarda uzman olmasam ve bütün bunları tam bir doğrulukla yapacak boyutlarda yerim olmasa da, ümidim bu kitabın heyecan verici bazı yeni gelişmeleri açıklarken okuyucularını daha üretken yönlere çekmesidir. Bu kitap aynı zamanda gelecekte daha öte yanıtlar arayan okuyucuların en güvenilir bilgi kaynaklarını ve hatalı bilgi kaynaklarını ayırt etmesine de yardımcı olmalıdır. Kitapta sergilenen fikirler çok temel fikirler gibi görünebilir ama modern bilimin arkasındaki mantığın tam olarak anlaşılması hem araştırmaya, hem de dünyamızın karşılaştığı önemli sorunlara daha gerçekçi yaklaşılmasını sağlayacaktır.

Film tanıtım bölümlerini sıkça izlediğimiz çağımızda bu kitabı şu anki yerimiz ve beklentilerimiz konusundaki bir güncellemeyle birlikte, bir önceki kitabım olan *Warped Passages*'ın [*Bükülmüş Geçitler*] başlangıç öyküsü olarak düşünebilirsiniz. Yeni fikir ve keşiflerin arkasındaki bilimin temelleri üzerinde yeniden durarak boşlukları dolduruyor ve neden sandalyelerimizin kenarına oturarak yeni verilerin elde edilmesini beklediğimizi açıklıyor.

Bu kitap günümüzde yapılan bilimin ayrıntıları ve bilimle bağlaşık olmakla birlikte dünyayı daha geniş bir bi-

çimde kavramakta yararlı olan kavramlar arasında gidip geliyor. Kitabın ilk kısımları, ikinci kısımdaki 11. ve 12. Bölüm üçüncü kısımdaki 15., 18. ve Sonuç (Toparlama) Bölümü daha çok bilimsel düşünceyle ilgili olup, diğer bölümler daha çok fiziğe, bugün nerede olduğumuz ve bu noktaya nasıl geldiğimize odaklıdır. Bazı bakımlardan aynı kitap içinde, birlikte okunmaları daha iyi olan iki kitap gibi düşünülebilir. Modern fizik kimilerine günlük hayatımızdan ilgisiz denecek kadar ya da anlaşılamayacak ölçüde uzak gelebilir ama düşüncelerimizi yönlendiren felsefi ya da metodolojik destekleyici unsurların anlaşılması, pek çok örnekte göreceğimiz gibi, hem bilimin hem de bilimsel düşüncenin ilişkisini açıklığa kavuşturmalıdır. Buna karşılık, bilimsel düşüncenin temel elemanları tam olarak ancak fikirleri temellendiren gerçek bilimle anlaşılabilir. Bunların birinden ya da diğerinden daha çok tat alan okuyucular bazı yerleri atlayabilirler ancak bu yöntem, ikili, eş deyişle dengeli bir öğün oluşturur.

Kitapta sürekli olarak tekrarlanacak olan en önemli nakarat, ölçek olacaktır. Fizik kuralları, LHC'de günümüzde bulunan en küçük uzunluklardan tüm evrenin devasa boyutlarına kadar kuramsal ve fiziksel tanımların birbirine uyumlu bir bütün oluşturacak şekilde nasıl uydurulacağı konusunda tutarlı bir sistem sağlar.[2] Ölçek kuralları düşünüşümüz için olduğu kadar karşılaşacağımız belirli durumlar ve fikirler açısından kritiktir. Yerleşmiş fizik kuramları erişilebilir ölçeklere uygulanır. Ama bu kuramlar, büyük olsun, küçük olsun, daha önceden bilinmeyen uzunluklardan elde edilen yepyeni bilgiler eklendikçe giderek daha hassas ve daha temel hale gelir. İlk bölüm, uzunluğa göre sınıflandırmanın fizik için ve önceki gelişmeler üzerine yeni gelişmeleri inşa etmek için ne kadar önemli olduğunu açıklayarak ölçeği tanımlayan temel üzerine odaklanıyor.

---

[2] Büyük Hadron Çarpıştırıcı gerçekten büyük olmakla birlikte sonsuz küçük uzaklıkları incelemek için kullanılıyor. Boyutlarının büyük olmasının nedeni daha sonra, LHC'nin yapısı ayrıntılı olarak incelenirken açıklanacaktır.

İlk bölüm aynı zamanda bilgiyi elde etmenin farklı yollarını ve bunlar arasındaki karşıtlıkları veriyor. İnsanlara bilim konusunda ne düşündüklerini sorun, alacağınız yanıtlar büyük olasılıkla sorduğunuz kişi sayısı kadar farklı olacaktır. Kimileri fiziksel dünya hakkında katı, değişmez cümlelerde ısrar edecektir. Başkaları bilimi sürekli olarak değişen bir ilkeler bütünü olarak tanımlayacak, diğerleriyse bilimin felsefe veya dinden nitelik olarak farksız, başka bir inanç sistemi olduğunu söyleyecektir. Bunların tümü de yanlıştır.

Bilimin değişen, evrilen doğası, bilimsel çevrelerde bile bu konuda neden bu kadar çok tartışma olduğunu çok iyi açıklar. Bu kısım günümüzdeki araştırmaların on yedinci yüzyıldaki entelektüel ilerlemelerden nasıl kaynaklandığını gösteren kısa bir tarihçeyle başlıyor ve bir anlamda o yıllardan kaynaklanan bilim-din çatışmasının pek öne çıkmayan yanlarıyla devam ediyor. Aynı zamanda maddenin materyalist bakış açısına ve bunun bilim-din sorunu hakkındaki çetrefilli çıkarımlarıyla birlikte temel soruları kimin ve nasıl yanıtlayacağı konusuna da bir göz atılıyor.

Kısım II maddi dünyanın fiziksel yapısına dönüyor. Bu kısımda kitabın bilimsel yolculuğunun haritası çıkarılıyor Madde bilindik ölçeklerden en küçük ölçeklere kadar incelenirken bu ölçeklere göre bölümleniyor. Bu yol bizi bildiğimiz bölgelerden, sadece dev parçacık hızlandırıcılarıyla gözlenebilen, mikroskop altı boyutlara götürüyor. Bölüm günümüzde yapılan ve kavrayışımızın boyutlarını değiştirmesi beklenen Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) ve evrenin ilk dönemlerine yapılan astronomik sondajlar gibi bazı büyük deneylerin anlatımıyla sona eriyor.

Heyecan verici her gelişmede olduğu gibi, bu cesur ve tutkulu girişimler dünyaya bilimsel bakışımızı kökten değiştirme potansiyeline sahiptir. Kısım III'te LHC'nin nasıl işlediğine göz atacak ve bu cihazda proton demetlerinin nasıl elde edildiğini, bunların çarpıştırılarak bize olası en küçük ölçeklerde bilgi verecek olan yeni parçacıkların nasıl yaratıldığını göreceğiz. Bu bölümde aynı zamanda deneycilerin bulunan sonuçları nasıl yorumladığı da açıklanıyor.

CERN (ve gişe rekorları kıran, eğlenceli ama yanıltıcı *Melekler ve Şeytanlar* filmi) parçacık fiziğinin deneysel tarafının tanıtımı konusunda çok iş yaptı. Artık birçok kimse dev boyutlardaki bir parçacık hızlandırıcıda çok yüksek enerjili protonların çok küçük bir alanda çarpıştırılarak, maddenin daha önce hiç gözlenmemiş biçimlerinin elde edildiğinden haberdar olmuş durumdadır. LHC şimdi çalışır durumda olup maddenin ve hatta uzayın kendisinin temel doğasına bakışımızı değiştirmeye hazırlanıyor. Ama henüz neyin bulunacağını bilmiyoruz.

Bu bilimsel yolculuğumuzda, bilimsel belirsizlik ve ölçümlerin bize gerçekten ne anlatabileceği konularına da kafa yoracağız. Araştırma, doğası gereği bildiklerimizin sınırında yer alır. Deney ve hesap olabildiğince çok belirsizliği azaltmak ya da yok etmek ve kalanları da çok hassas bir biçimde belirlemek üzere tasarlanır. Bununla birlikte, her ne kadar pratikte çelişkili görünse de, günlük bazda bilim belirsizliklerle doludur. Kısım III'te bilim insanlarının zorlu keşiflerin yapısında bulunan güçlü meydan okumalarla nasıl başa çıktıkları ve giderek daha karmaşık hale gelen bir dünyada ileri sürülenler yorumlanıp iyice anlaşıldığında, bilimsel düşüncenin nasıl herkesin yararına olduğu konusu işleniyor.

Kısım III'te LHC'deki kara delikler de göz önüne alınıyor ve son zamanlarda karşılaştığımız gerçek tehlikelerden çok farklı olarak bu kara deliklerden duyulan korkudan da söz ediliyor. Burada önemli bir konu olan fiyat-fayda ve risk analizleri de yapılıyor ve insanların hem laboratuvarda hem de laboratuvar dışında bu konular hakkında düşünmeye nasıl yaklaşmalarının daha iyi olacağı inceleniyor.

Kısım IV'te Higgs bozonu araştırmalarından ve hem var olanlar hem de LHC'nin hedefleri konusundaki sağlam tahminlerden başka bir şey olmayan özel modellerden söz ediliyor. Eğer LHC deneylerinde kuramcıların ileri sürdüğü fikirlerden bazıları doğrulanırsa veya öngörülememiş bir şeyin üzerindeki giz perdesi aralanmış olsa bile bulunan sonuçlar dünya hakkındaki düşünüş biçimimizi değiştirecektir. Bu bölümde temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu olan

Higgs mekanizmasıyla birlikte daha fazla sonuç elde etmemiz gerektiğini söyleyen sıradüzen problemi de açıklanıyor. Bölümde bu probleme ilişkin modellerle birlikte bunların öngördüğü süpersimetri ve uzayın egzotik, yeni parçacıklarına ilişkin yeni parçacıklar da araştırılıyor.

Belirli hipotezleri vermesinin yanı sıra bu bölümde fizikçilerin model oluşturmak için nasıl çalıştıkları ve güzellikteki gerçek ve yukarıdan aşağıya ya da aşağıdan yukarıya gibi yönlendirici ilkeler de ele alınıyor. LHC'de neyin araştırıldığı ile birlikte fizikçilerin ne bulunmasını bekledikleri de açıklanıyor. Bu kısımda bilim insanlarının, LHC'de bulunacak, görünürde soyut verilerle şu sıralarda araştırdığımız derin ve temel fikirleri nasıl ilişkilendirmeye çalıştıklarını da görüyoruz.

Bu araştırma yolculuğumuzu maddenin içlerine doğru izlerken, Kısım V'te dışarıya doğru da bakacağız. LHC maddenin en küçük ölçeklerine doğru girerken uydular ve teleskoplar genişleme hızını ölçmek için evrenin en büyük ölçeklerini araştırıyor ve Büyük Patlamadan kalan ışınımın ayrıntılarını inceliyor. Çağımız, evrenin evrim bilimi olan *kozmoloji*de şaşırtıcı, yeni gelişmelere tanıklık edebilir. Bu bölümde evreni en büyük ölçeklere kadar inceleyecek ve gözlenmesi zor kara madde ve bu konudaki deneysel araştırmalar kadar parçacık fiziği ile kozmoloji ilişkisini de araştıracağız.

Kısım IV'teki son toparlamada yaratıcılık ve düşüncenin zengin, çeşitli öğelerinin yaratıcı düşünceye girişi üzerinde duruluyor. Burada, gündelik hayatta karşılaştığımız bazı, görünüşte küçük etkinliklerin arkasındaki büyük soruları nasıl yanıtlamaya çalıştığımız da sergileniyor. Günümüzde bilim ve bilimsel düşüncenin neden bu kadar önemli olduğu ve modern dünyada bu kadar ilerlemeyi sağlayan teknoloji ile bilimsel düşünce arasındaki, iki tarafın da yararına olan ilişki konusundaki bazı son düşüncelerle bu çalışmayı sonlandırıyoruz.

Bana sık sık bilimle yakından ilgilenmeyenlerin, bilimin uğraştığı, kendilerine çoğu zaman yabancı gelen fikirleri algılamaları ve takdir etmelerinin ne kadar zor olabileceği hatırlatılıyordu. Bu zorluk, fizikteki ek boyutlar konusunda

verdiğim bir halk konferansını dinleyen lise öğrencileriyle karşılaştığımda görünür hale geldi. Hepsinin aynı soruyu ısrarlı bir biçimde sormak istediklerini öğrendiğimde bunun ek boyutlarla ilgili olduğunu düşünmüştüm ama merak etikleri benim yaşımmış. Ama merak yokluğu tek zorluk değildir, aslında öğrenciler bilimsel fikirlerle ilgileniyorlardı. Yine de temel bilimin çoğu zaman soyut olduğu inkâr edilemez ve gerekçelendirmek de gerçekten zor olabilir. Bu zorluğu 2009 sonbaharında, temel bilimin önemi konusunda, Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı Yüksek Enerji Fiziği bölümünün direktörü olan Dennis Kovar, Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarının direktörü olan Pier Oddone ve bir nükleer fizik kurumu olan Jefferson Laboratuvarının direktörü Hugh Montgomery ile birlikte katıldığım bir kongre oturumunda yaşadım. Yıllarca önce, Westinghouse Bilim Yarışmasında finale kalmış bir lise öğrencisi olarak kongre üyesi Benjamin Rosenthal'in beni kongre salonlarında gezdirdiği günlerden beri devlet binalarında ilk bulunuşumdu. Rosenthal bana büyük bir cömertlikle diğer finalistlerin aldığı, kendisiyle çekilmiş fotoğrafından daha fazlasını vermişti.

Bu son ziyaretimde politikanın belirlendiği ofisleri görmek gene hoşuma gitti. Temsilciler Meclisindeki Bilim ve Teknoloji Komitesi, Rayburn Ofis Binasındadır. Temsilciler arka sıralarda oturdular ve biz "tanıklar" onların karşısına oturduk. Temsilcilerin başlarının üzerinde esin verici bazı plaketler asılıydı, bunlardan birinde "VİZYON OLMAZSA HALK YOK OLUR. ESKİ AHİT 29:18" yazıyordu.

Amerikan hükümeti açık bir şekilde bilim ve teknolojiyle ilgili bir kongre odasında bile özlü sözlere gerek duyuyor. Yine de bu söz, hepimizin katılacağı soylu ve doğru bir düşüncedir.

İkinci plakette Tennyson'dan, çok daha seküler bir alıntı vardı: "GELECEĞE BAKTIĞIMDA, GÖREBİLDİĞİM EN UZAK YERDE/ DÜNYANIN GÖRÜNTÜSÜNÜ VE OLABİLECEK TÜM MUCİZELERİ GÖRDÜM."

Bu da araştırma hedeflerimizi tanımlarken aklımızda tutmamız gereken, güzel bir düşünceydi.

Buradaki ironi, odanın, bilim dünyasından gelen –ve böyle sözlere zaten sempatiyle yaklaşan– biz tanıkların doğrudan görüş alanımızda olan bu plaketleri oturduğumuz yerden görebileceğimiz şekilde düzenlenmiş olmasıydı. Ama asılı plaketlerin altında oturan temsilciler bu sözleri görmüyorlardı. Açılış konuşmasında keşiflerin zihinlerde daha çok soru –ve büyük metafizik konular– uyandırdığını söyleyen Kongre üyesi Lipinski bize bu plaketlere her zaman dikkat ettiğini ama artık bunların kanıksandığını ve unutulduğunu söyledi. "Artık çok azımız bunlara bakıyor." Bu duyguların anımsatılmasından duyduğu memnuniyeti dile getirdi.

Biz bilim insanları dikkatimizi dekordan kendi görevimize –içinde bulunduğumuz çağın parçacık fiziği ve kozmoloji açısından neden bu kadar heyecan verici ve benzeri görülmemiş bir çağ olduğunu anlatma görevine– çevirdik. Her ne kadar kongre üyelerinin soruları kimi zaman yerinde ve kuşkucu olsa da, çevrelerine böyle ekonomik belirsizliklere rağmen bilime para ayırmayı kesmenin neden hata olacağını anlatmaya çabalarken, sürekli olarak karşılaştıkları direnci anlayabiliyordum. Sordukları sorular belirli deneylerin amaçları konusundaki ayrıntılardan bilimin rolü ve nereye gittiği gibi daha geniş konulara kadar değişiyordu.

Oylama yapmak üzere periyodik olarak salonu terk eden temsilcilerin salonda bulunduğu dönemlerde, temel bilimde ilerlemenin ikincil yararları konusunda biriktirdiğimiz bazı örnekler veriyorduk. Temel araştırmaları hedefleyen bilimin bile zaman zaman başka yerlerde verimli olduğu kanıtlanmıştır. Tim Berners–Lee'nin, CERN'deki ortak deneylere katılan değişik ülkelerden fizikçilerin daha kolay işbirliği yapmasını sağlamak üzere geliştirdiği World Wide Web hakkında konuştuk. Elektronun karşı-parçacığı olan pozitron kullanılarak insan vücudunu incelemenin bir yolu olan PET (pozitron salımı tomografisi) taramaları gibi tıbbi uygulamaları tartıştık. Çarpıştırıcılar için geliştirilen ama şimdilerde manyetik rezonans görüntüleme amacıyla kullanılan süper iletken mıknatısların endüstriyel ölçekte üretilmesinin rolünü ve son olarak araçlarımızda her gün kullandığı-

mız GPS sisteminin uydularının yerlerinin hassas olarak belirlenmesinde genel göreliliğin uygulanmasının çok önemli olan sonuçlarını açıkladık.

Elbette kayda değer, önemli bilimin pratik anlamda, mutlaka, hemen sonuç vermesi beklenemez. Sonunda bir geri dönüş olsa bile, bunu çoğu zaman keşif sırasında göremeyiz. Benjamin Franklin yıldırımın elektrikten başka bir şey olmadığını anladığında, elektriğin çok geçmeden gezegenimizin çehresini değiştireceğini fark edememişti. Einstein genel görelilik üzerine çalışırken, bu çalışmanın herhangi bir pratik cihazda kullanılacağını beklemiyordu.

Bu nedenlerle o gün katıldığımız oturum esas olarak belirli uygulamalardan çok, saf bilimin yaşamsal önemine odaklanmıştı. Bilimin Amerika'daki statüsü istikrarsız ve tutarsız olsa bile, şu günlerde pek çok kimse bilimin değerini anlamış durumda. İnsanların evrene, zamana ve uzaya bakışı, *Warper Passages*'tan alıntılanan "As Time Goes By" ["Zaman Geçtikçe"] parçasının özgün sözlerinin gösterdiği gibi, Einstein'la birlikte değişmiştir.[3] Fiziksel dünyayı kavrayışımız geliştikçe ve yeni düşünüş yolları açıldıkça dilimiz ve düşüncelerimiz değişir. Bilim insanlarının bugün araştırdıkları konular ve bizim bunlara yaklaşımımız, hem dünyayı kavrayışımız hem de sağlam ve anlayışlı bir toplum için kritik öneme sahiptir.

Fizik ve kozmoloji açısından, şimdiye kadarki en keskin deneylerin önerildiği, olağanüstü heyecan verici bir çağda yaşıyoruz. Geniş bir yelpazeye yayılmış olan bir dizi keşiften

---

[3] Filmde olduğunun tersine, Herman Hupfeld'in 1931'de yazdığı ünlü "As Time Goes By" şarkısında, insanların en son fiziksel gelişmelere aşina olduğunu gösteren şu satırlar vardır:
This day and age we're living in
Gives cause for apprehension,
With speed and new invention
And things like fourth dimension,
Yet we get a little weary
From Mr. Einstein's theory
(İçinde yaşadığımız şimdi ve bu çağda /Kavrayış hâkim olmakta /Yeni buluşlar ve hızla/ Ha, bir de dört boyut gibi şeyler var; orada burada/ Yine de biraz yorgunuz / Bay Einstein'ın kuramıyla).

yola çıkan bu kitap evreni sanat, din ya da bilim aracılığıyla kavrayışımızın farklı yollarına temas ediyor olsa da, esas odaklandığı nokta modern fiziğin amaç ve yöntemleridir. Sonuçta incelediğimiz çok küçük nesneler, kim olduğumuz ve nereden geldiğimizin keşfiyle temelden bağlantılıdır. Haklarında daha fazla şey öğrenmeyi umduğumuz büyük ölçekli yapılar evrenimizin kökeni ve geleceği olduğu kadar kozmik koşullarımıza da büyük ölçüde ışık tutacaktır. Bu kitabın konusu, bulmayı umduğumuz şeyler ve bunları nasıl bulabileceğimizdir. Bu meraklı serüvene katılmak üzere, gemiye hoş geldiniz.

Kısım I
GERÇEKLİĞİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

BİRİNCİ BÖLÜM

SİZE GÖRE ÇOK KÜÇÜK OLAN ŞEY BANA GÖRE ÇOK BÜYÜKTÜR

Fizik eğitimi almayı seçmemin birçok nedeni arasında, kalıcı etki bırakacak bir şeyler yapma dürtüsü vardı. Eğer çok fazla zaman ve enerji harcayacaksam, kendimi adayacaksam, yapacağım şeyin uzun ömürlü olmasını ve gerçeği aramasını istiyordum. Çoğu kimse gibi ben de bilimsel ilerlemeleri zamanın sınavına dayanan fikirler olarak düşünüyordum.

Arkadaşım Anna Christina Büchmann üniversitede İngilizce okurken ben fiziği seçtim. İronik olan onun edebiyatı seçmesinin gerekçelerinin, benim matematik ve fiziğe yönelişimin gerekçeleriyle aynı olmasıydı. Anna, esin veren bir öykünün yüzyıllarca yaşamasını seviyordu. Yıllar sonra onunla Henry Fielding'in *Tom Jones* romanı üzerinde tartışırken, kitabın benim çok severek okuduğum baskısının Anna'nın yüksek lisans sırasında açıklayıcı notlar eklenmesine yardım ettiği baskı olduğunu öğrendim.[1]

Tom Jones 250 yıl önce basılmış olmasına karşın, kitapta işlediği temalar ve içerdiği espri zekâsı günümüzde de yankılanıyor. Japonya'ya ilk gittiğimde, çok daha eski olan *Tale of Genji*'yi [*Genji'nin Öyküsü*] okumuş, Murasaki Shikibu'nun kitabı yazmasının üzerinden binlerce yıl geçmiş olmasına rağmen karakterlerin yakınlığı ve verdikleri gerçeklik duygusuna çok şaşırmıştım. Homeros *Odysseus*'u ondan yaklaşık 2000 yıl önce yazmıştı. Ama çok farklı bir çağda ve farklı bir bağlamda geçmesine karşın, hâlâ Odysseus'un yolculuklarının öyküsünü ve yazarın insan doğası konusundaki zamanlar üstü tanımlarını zevkle okuyoruz.

---

[1] Fielding, Henry. *Tom Jones*.(Oxford: Oxford World Classics, 1986).

Bilim insanları böyle eski –hele antik çağa ait– bilimsel metinleri hemen hemen hiç okumazlar. Bunu genelde tarihçilere ve edebiyat eleştirmenlerine bırakırız. Yine de zamanında kazanılmış olan bilgileri, ister on yedinci yüzyılda Newton tarafından, isterse ondan yüz yıl önce Kopernik tarafından bulunmuş olsun, uygularız. Kitapların kendilerini göz ardı edebilir ama içlerindeki önemli fikirleri dikkatle koruruz.

Bilim elbette ilkokulda öğrendiğimiz evrensel yasaların durağan bir ifadesi değildir. Rastgele bir kurallar zinciri hiç değildir. Bilim, evrim geçiren bir bilgi bütünüdür. Şimdi araştırmakta olduğumuz fikirlerden birçoğunun eksik ya da yanlış olduğu ortaya çıkacaktır. Bildiklerimizi çevreleyen sınırları aştığımızda, daha altlardaki derin gerçekliklerin ipuçlarına göz atabildiğimiz, uzak bölgelere girdiğimizde bilimsel tanımlar elbette değişir.

Bilim insanlarının üstesinden gelmesi gereken çelişki, kalıcılığı amaçlarken, çoğu zaman deneysel verilerin veya daha iyi kavrayışın çöpe atmamızı veya kökten değiştirmemizi gerektireceği fikirleri araştırıyor olmamızdır. Bilginin sınanmış ve güvenilebilir, sağlam çekirdeği her zaman çağdaş araştırmanın konusu olan amorf belirsizlikler sınırlarıyla çevrilidir. Bizi bugün heyecanlandıran fikir ve öneriler, eğer yarın daha inandırıcı ve kapsamlı deneysel çalışmalarla çürütülürlerse, çok geçmeden unutulacaklardır.

2008'de Cumhuriyetçi başkan aday adayı Mike Huckabee bilime karşı dinin yanında durmuştur. Bunun nedeni kısmen bilimsel "inanışlar" değişirken, Hıristiyanların otorite olarak ebedi, değişmeyen Tanrı'yı kabul etmeleriydi. O nedenle, bu davranışın kendi tanımı içinde çok da yanlış olduğu söylenemez. Evrenle birlikte ona ilişkin bilimsel bilgilerimiz de evrim geçirir. Bilim insanları zamanla yüzeyin altında ne olduğunu ortaya çıkarmak için gerçekliğin katmanlarını birer birer kaldırırlar. Giderek daha uzak ölçeklere ulaşırken kavrayışımız da genişler ve zenginleşir. Bu erişilmesi güç uzaklıklara ulaştığımızda bilgi ilerlerken keşfedilmemiş bölgeler de küçülür. Daha sonra da, bu genişlemiş bilgiyle uyum içinde bilimsel "inanışlar" evrim geçirir.

Yine de, gelişen teknolojinin daha kapsamlı gözlemleri olası kıldığı zaman bile, geçmişte erişilebilir olan uzaklık ve enerjilerin ya da hız ve yoğunlukların başarılı bir şekilde hesaplanmasını sağlamış olan kuramları mutlaka hemen çöpe atmayız. Bilimsel kuramlar, daha önce ortaya atılmış olan düşüncelerin güvenilir bölümlerini korurken, artan bilgiyi de kapsayacak şekilde büyür ve genişlerler. Bilim böylece eski, yerleşik bilgiyi daha geniş bir deneysel ve kuramsal gözlemler silsilesinden kaynaklanan, daha kapsamlı betimlemelerle birleştirir. Böyle değişimler eski kuralların mutlaka yanlış olduğu anlamına gelmez ama örneğin, bu kuralların, yeni bileşenlerin ortaya çıkarıldığı daha küçük ölçeklerde artık uygulanamayacağı anlamına gelebilir. Dolayısıyla her zaman geriye keşfedilecek çok şey kalacak olsa da, bilgi zamanla gelişebilecek, eski fikirleri de kucaklayabilir. Tıpkı bütün evren şöyle dursun, gezegenimizdeki her yere gidemeyecek olsak bile, seyahat etmenin ilgimizi çekmesi gibi, madde ve evren konularındaki kavrayışımızın artması da varlığımızı zenginleştirir. Geriye kalan bilinmeyenler de gelecekteki araştırmalar için esin kaynağı olur.

Benim araştırma alanım olan parçacık fiziği maddenin giderek daha küçülen bileşenlerini incelemek için gittikçe daha küçük uzaklıkları araştırır. Çağdaş deneysel ve kuramsal araştırmalar, maddenin derinliklerinde gizlediği şeyleri ortaya çıkarmaya çalışır. Ama sıkça yapılan benzetmeye karşın madde, benzer elemanlarının giderek daha küçük ölçeklerde tekrarlandığı matruşka bebeklerine benzemez. Gittikçe küçülen uzaklıkları araştırmanın ilginç yanı, yeni alanlara ulaştıkça kuralların değişebiliyor olmasıdır. Bu ölçeklerde; etkileri daha önce araştırılan, daha büyük ölçeklerde gözlenemeyecek kadar küçük olan yeni kuvvet ve etkileşmeler ortaya çıkabilir.

Fizikçilere herhangi bir araştırmayla ilgili uzaklık veya enerji aralığı hakkında bilgi veren ölçek kavramı, içinde yaşadığımız dünyanın pek çok başka boyutunda olduğu kadar bilimsel ilerleyişin anlaşılmasında da kritik öneme sahiptir. Evreni algılanabilir, farklı büyüklükteki bölümlere ayı-

rarak, en iyi sonucu veren fizik kurallarının bütün süreçler için mutlaka aynı olmayabileceğini öğreniriz. Bir ölçekte çok iyi uygulanabilen kavramları bir başka ölçekte daha yararlı olanlarla ilişkilendirmemiz gerekir. Bu yolla sınıflandırmak bize, farklı uzunluklardaki tanımların kökten değişmesine izin vererek, bildiğimiz her şeyi tutarlı bir bütün haline getirebilme olanağı verir.

Bu bölümde, ölçeğe göre –ilgili ölçek hangisi ise– bölümlere ayırmanın, hem bilimsel hem de diğer şekillerdeki düşünüşümüzü nasıl berraklaştıracağını ve gündelik yaşamımızda karşılaştığımız uzaklıklarda maddenin yapı taşlarının hemen göze çarpmayan özelliklerine dikkat etmenin neden o kadar zor olduğunu göreceğiz. Bunu yaparken, bu bölümde bilimde "doğru" ve "yanlış" kavramlarının ayrıntılarına inecek ve görünüşe göre esaslı keşiflerin bile bildiğimiz ölçeklerde neden kökten değişikliklere neden olmayabileceğine de göz atacağız.

OLANAKSIZ

İnsanlar çoğu zaman evrim geçiren bilimsel bilgiyi bilgisizlikten, yeni fiziksel kurallar keşfettiğimiz bir durumuysa güvenilir kuralların yokluğundan ayırt edemezler. California'ya son gidişimde senaryo yazarı Scott Derrickson ile yaptığımız bir konuşma, bu anlaşmazlıkların kaynağının zihnimde berraklaşmasına yardımcı oldu. O zamanlar Scott, bilim ile bilim insanlarının hurafe diyerek göz ardı ettikleri olaylar arasındaki olası ilişkiler üzerine film metinleri yazıyordu. Temel hatalar yapmaktan kaçınmak amacıyla Scott, kurguladığı öyküleri bilimsel olarak doğrulatmak için bir fizikçiye, yani bana kontrol ettirmeyi düşünmüştü. Güneşli bir Los Angeles öğleden sonrasında, zevk ve düşüncelerimizi paylaşmak için bir açık hava kahvesinde buluştuk.

Senaryo yazarlarının bilimi genelde saptırdıklarını bildiği için Scott, düşündüğü hayalet ve zaman yolculuğu öykülerini belirli bir bilimsel inanılırlıkla yazmak istiyordu. Bir senaryo yazarı olarak üstesinden gelmesi gereken güçlük, izleyicilere sadece ilginç, yeni olaylar sunmanın ötesinde,

etkili bir şekilde beyaz perdeye aktarılabilecek olaylar kaleme almaktı. Her ne kadar bilim eğitimi almamış olsa da Scott yeni fikirlere son derece açık olup çabucak uyum sağlıyordu. Bu nedenle ona senaryolarının zekâ ve eğlendiricilik anlamında mükemmel olan bazı satırlarının fizikteki kısıtlar nedeniyle neden savunulamaz olduğunu anlatmaya çalıştım.

Scott'ın buna yanıtı, bilim insanlarının olanaksız dediği bazı şeylerin zamanla gerçekleştiği şeklinde oldu. Bilim insanları, göreliliğin şimdi bize söylediklerini önceleri inkâr etmemişler miydi? Rastgelelik ilkesinin temel fizik yasaları içinde herhangi bir rol oynayabileceğini eskiden kim düşünebilirdi? Bilime olan büyük saygısına karşın Scott, bilim insanlarının "evrim geçiren doğası göz önüne alındığında" yaptıkları keşiflerin olası sonuçları ve kısıtlamaları hakkında hata yapıp yapmadıklarını merak ediyordu.

Bazı eleştiriler daha da ileri gider ve bilim insanlarının pek çok şeyi öngörebilmelerine karşın, bu öngörülerin güvenilirliğinin her zaman kuşkulu olduğunu ileri sürer. Kuşkucular, bilimsel kanıtlara karşın, her zaman bir kaçamak noktası ya da aniden fark edilen bir şey olabileceği konusunda ısrarcıdırlar. Belki de ölüler dirilebilir veya en azından bir kapıdan orta çağlara ya da dünyanın merkezine girilebilir. Bu kuşkucular bilimin, bir şeyin kesinlikle olanaksız olduğu yolundaki iddialarına güvenmezler.

Bununla birlikte, açık fikirli olmak ve yeni keşiflerin kapıda olduğunun farkında olmak gibi bilgeliklere karşın, bu mantıkta derin bir yanılgı gizlidir. Bu sorun, yukarıdaki gibi cümlelerin anlamını incelediğimizde, özellikle de ölçek kavramına uyguladığımızda daha da berraklaşır. Bu sorular, her ne kadar her zaman fizik yasalarının değişebiliyor olabileceği, keşfedilmemiş uzaklık ve enerji aralıkları var olacak olsa da, insan ölçeklerindeki fizik yasalarını çok iyi bildiğimiz gerçeğini göz ardı ederler. Yüzyıllar boyunca bu yasaları sınamak için çok fırsatımız oldu.

Whitney Müzesinde kendisiyle bir panelde aynı konu üzerine konuştuğumuz koreograf Elizabeth Streb'le karşılaştığımda, onun da insan ölçeğindeki bilimsel bilginin

sağlamlığını küçümsediğini fark ettim. Elizabeth de Scott'ın sorduğuna benzer bir soru sordu: Fizikçilerin önerdiği minik ve hayal bile edilemeyecek kadar küçük boyutlara kıvrılmış boyutlar, her şeye rağmen gövdelerimizin hareketine engel oluyor olabilir mi?

Çıkardığı iş mükemmeldi, dans ve hareketin temel varsayımları hakkındaki araştırmaları büyüleyiciydi. Ama yeni boyutların var olup olmadığını veya eğer bunlar gerçekten varsa rollerinin ne olduğunu belirleyemiyor olmamızın nedeni, bizim belirleyemeyeceğimiz kadar küçük veya kıvrılmış olmalarıdır. Bunu söylerken, son derece ayrıntılı gözlemlere karşın, bildiğimiz herhangi bir şey üzerinde etkilerinin olup olmadığının henüz farkında olmadığımızı kastediyorum. Herhangi birinin hareketi üzerinde algılanabilir bir etkisi olabilmesi için, ek boyutların çok daha büyük olması gerekirdi. Böyle önemli bir etkisi olması durumundaysa varlıklarını mutlaka gözlemiş olurduk. O nedenle kuantum kütleçekim konusundaki kavrayışımız daha gelişse bile, koreografinin temellerinin değişmeyeceğinden eminiz. Bu etkiler, insan ölçeğinde algılanabilir herhangi bir etkileri olamayacak kadar bastırılmıştır.

Bilim insanları geçmişte, genelde çok küçük ya da çok büyük uzaklıkları ve çok yüksek enerji ve süratleri henüz keşfetmemiş oldukları için yanılmışlardı. Yoksa bunun nedeni, endüstri devrimine karşı çıkan işçiler gibi, zihinlerini gelişme olasılığına kapatmış olmaları değildi. Bunun nedeni, ellerinde bulunan, doğanın en güncel matematiksel tanımlarına ve bu tanımların o zamanlar gözlenebilen nesne ve davranışları başarılı bir şekilde betimlemesine olan güvenleriydi. Olanaksız olduğunu düşündükleri olaylar, bu bilim insanlarının o zaman kadar hiç deneyemedikleri ve sınayamadıkları uzaklık ve süratlerde ara sıra gerçekleşiyor olabilirdi. Ama onlar, henüz bilmedikleri minik uzaklıklar veya devasa enerjilerin hüküm sürdüğü rejimlerde hâkim olacak olan yeni fikir ve kuramlardan haberdar olamazlardı.

Bilim insanları bir şeyi bildiğimizi söylediklerinde, sadece *belirli bir uzaklık ve enerji aralığında* iyice sınanmış olan

belirli fikirlerimiz ve kuramlarımız olmasını kastederler. Bu fikir ve kuramlar mutlaken çağlar boyunca geçerli olacak ebedi yasalar veya fiziksel yasaların en temeli olmak zorunda değildir. Bunlar şu andaki teknolojide geçerli parametre aralığında uygulanan ve herhangi bir deneyle sınanabilen kurallardır. Bu durumsa bu kuralların yerini hiçbir zaman yenilerinin almayacağı anlamına gelmez. Newton yasaları etkili ve doğrudur ama Einstein'ın kuramının uygulandığı ışık hızı civarındaki hızlarda geçerliliğini yitirir. Newton yasaları doğru olmakla birlikte sınırlı bir aralıkta uygulanabildikleri için eksiktirler.

Daha iyi ölçümler sonucunda kazandığımız daha ileri bilgiler gerçekten de farklı temel kavramları aydınlatan gelişmelerdir. Günümüzde, eski çağlarda yaşayanların, sahip oldukları daha sınırlı gözlem teknikleriyle çıkarmış ya da keşfetmiş olamayacakları pek çok olgu biliyoruz. O nedenle, Scott kimi zaman bilim insanlarının olanaksız gördüğü olayların sonunda gerçekleştiğini söylerken haklıydı. Ama bu, hiçbir kural olmadığı anlamına gelmez. Evlerimizde hayaletler ve zaman yolcuları görmeyeceğiz, duvarlarımızdan düşman yaratıklar fırlamayacak. Uzayda ek boyutlar bulunabilir ama çok küçük veya bükülmüş durumda olmalılar, aksi halde varlıklarının fark edilebilir kanıtlarını neden görmediğimizi açıklamak zorunda kalırız.

İlginç olaylar gerçekten ortaya çıkabilir. Ama böyle olaylar sadece içgüdüsel kavrayışımızdan veya olağan algılarımızdan giderek uzaklaşan, gözlenmesi zor olan ölçeklerde ortaya çıkar. Eğer her zaman ulaşılmaz kalırlarsa, bilim insanları için çok ilginç olmazlar. Gündelik yaşantımızda gözlenebilir etkileri olmazsa, bilim kurgu yazarlarına da ilginç gelmezler.

Tuhaf şeylerin olması olasıdır ama fizikçi olmayanların en çok ilgilendikleri, kolayca anlaşılabileceği gibi, gözleyebildiklerimizdir. Düşündüğü bir bilim kurgu filmi hakkında konuşulurken Steven Spielberg'in de işaret ettiği gibi, beyaz perdeye aktarılamayan ve bir filmdeki karakterlerin deneyimlemediği, tuhaf bir dünya seyirciye ilginç gelmez. (Şekil 1'de bunun eğlenceli bir kanıtı görülüyor.) Sadece erişebile-

ceklerimiz ve haberdar olabileceklerimiz ilginç gelebilir. Her ne kadar her ikisi de hayal gücü gerektiriyor olsa da, soyut fikirler ve kurgu farklı olup amaçları da farklıdır. Bilimsel fikirler bir filmi veya gündelik yaşantımızı ilgilendirmeyecek kadar uzak ve mesafeli rejimlerde uygulanıyor olmalarına karşın fiziksel dünyanın tanımlanmasında temel roller oynuyor olabilirler.



ŞEKİL 1 Minik, kıvrılmış boyutların gizli doğasına ilişkin bir XKCD çizgi öyküsü.

TERS YOLLARA SAPIŞLAR

Anlaşılması zor bilimi ve dünyayı anlamaya çalışırken insanlar sık sık, aradaki net ayrımlara karşın kısa yollar denerler. Ve bu, kolayca kuramların çabucak uygulanmasına dönüşebilir. Bilimin böyle yanlış uygulanması yeni bir olay değildir. On sekizinci yüzyılda bilim insanları laboratuvarlarda manyetizmayla uğraşırlarken, diğerleri "hayvan manyetizması" –hayvanlarda olduğu öne sürülen, hayali manyetik "yaşam sıvısı"– kavramını uydurdular. Bu hipotezi çürütmek için, 1784'te XVI. Louis tarafından kurulan ve başka ünlülerin yanı sıra Benjamin Franklin'in de görev aldığı bir Fransız kraliyet komisyonunun çabaları gerekti.

Günümüzde bu yanlış yönlendirilmiş tahminler daha çok kuantum mekaniği konusunda yapılıyor. Oysa makroskopik sistemlere uygulandığında kuantum mekaniğinin sonuçları sıradanlaşır ve ortaya ölçülebilir bir etki çıkmaz.[2] Ronda

[2] Kuantum mekaniği dikkatle hazırlanmış sistemlerde veya ölçümler yüksek istatistik veren durumlara ya da küçük etkilerin çıkabileceği çok hassas araçlara uygulandığında makroskopik sonuçlar verebilir. Yine

Byrne'ın *The Secret* [*Sır*] adlı çok satan kitabındaki gibi, pozitif düşünmenin refah, sağlık ve mutluluğu davet edeceği yolundaki fikirlere ne kadar çok sayıda insanın güvendiğini bilmek rahatsız edicidir. Byrne'ın "Okulda hiçbir zaman fen ya da fizik okumadım ama kuantum fiziğine ilişkin karmaşık kitaplar okuduğumda mükemmel bir biçimde anlıyorum, çünkü anlamak istiyorum. Kuantum fiziği çalışmak benim *The Secret*'ı daha enerjik bir düzeyde kavramamı sağladı" iddiası da aynı derecede rahatsızlık vericidir.

Kuantum mekaniğinin Nobel Ödülü kazanmış öncüsü Niels Bohr'un işaret ettiği gibi "Zihniniz kuantum mekaniğiyle iyice bulanmadan onu anlayamazsınız." Bir başka sır da şudur (en azından çok satan kitaptaki kadar iyi korunmuş): Kuantum mekaniği adı kötüye çıkacak ölçüde yanlış anlaşılıyor. Dilimiz ve sezgilerimiz kuantum mekaniğini göz önüne almayan *klasik düşünce*den kaynaklanır. Ama bu, kuantum mantığıyla herhangi bir fantezi olayın olası olduğu anlamına gelmez. Daha temel, daha derin bir kavrayış olmaksızın bile, kestirim yapmak üzere kuantum mekaniğini nasıl kullanacağımızı biliyoruz. Kuantum mekaniği elbette Byrne'ın insanlarla uzaktaki nesneler ya da olaylar arasındaki çekim konusundaki "sırrının" (secret) nedenini açıklayamayacaktır. Bu büyük uzaklıklarda kuantum mekaniği bu tür bir rol oynamaz. Kuantum mekaniğinin, insanların ona yakıştırdığı kışkırtıcı fikirlerle hiçbir ilgisi yoktur. Bir deneyi sadece ona bakarak etkileyemem, kuantum mekaniği, güvenilir kestirimlerin olmadığı anlamına gelmez. Çoğu ölçüm belirsizlik ilkesi tarafından değil, pratik sınırlarla kısıtlanır. Kahramanlarının deneylerde insan etkisinin önemli olduğunu ileri sürdüğü –ve bilim insanları için bir yıkım olan– *What the Bleep Do We Know?* [*Ne Biliyoruz ki?*] Filminin yönetmeni olan Mark Vicente'la yaptığım şaşırtıcı konuşmada ana fikir böyle safsatalardı. Bu konuşmanın nereye varacağından

---

de bu, sıradan çoğu olay için yaklaşık bir klasik kuram kullanılmasını geçersiz kılmaz. On ikinci Bölümde üzerinde duracağımız gibi bu, hassaslığa bağlıdır. Etkin kuram yaklaşımı yaklaştırıma izin verir, bunun gerekmediği durumlarda ise kesin sonuçlar verir.

emin değildim ama Dallas Fort Worth havalimanında, asfalt üzerinde saatlerce dikilip bir teknisyenin uçağın kanadındaki minik bir göçüğü tamir etmesini beklediğimden vaktim vardı (önce önemsiz olduğu söylenen bu göçük, sonradan uçuş ekibinin bir üyesi tarafından bize söylendiğine göre, ileri teknoloji kullanılarak ölçülmüş ve uçuştan önce tamir edilmesine karar verilmişti).

Gecikmeye karşın Mark'la ne kadar uzun konuşursam konuşayım, konferanslarımda bana gördükleri üzerine tuhaf sorular soran pek çok kimseden aşina olduğum filmlerinde nerede durduğunu bilmek zorundaydım. Mark'ın yanıtı beni çok şaşırttı. Tavrını çarpıcı bir biçimde değiştirmişti. Başlangıçta bilime yeterince sorgulamadığı önyargılı kavramlarla yaklaştığını, şimdi ise önceki düşünüş biçimini fazlaca dinsel tabiatlı bulduğunu çıtlattı. Mark sonunda filminde sergilediği şeyin bilim olmadığı sonucuna vardı. Kuantum mekaniksel olayları insani düzeyde sergilemek belki de filmini izleyenleri yüzeysel olarak tatmin ediyordu ama bu, bu tür olayların doğru olduğu anlamına gelmezdi.

Her ne kadar yeni kuramlar –kuantum mekaniğinde olduğu gibi– kökten farklı varsayımlar gerektiriyor olsa da, geçerli bilimsel argüman ve deneyler sonuçta bunların doğruluğunu göstermişti. Bu, sihir değildi. Bilimsel yöntem, verilerle, ekonomi ve tutarlılık araştırmalarıyla, bilim insanlarına bilgilerini hemen erişebildikleri sezgisel olanların ötesinde, erişilemeyen olaylara uygulanan çok farklı düşüncelere kadar nasıl genişleteceklerini göstermişti.

Önümüzdeki alt bölümde ölçek kavramının farklı kavramlar arasında sistematik olarak nasıl köprü kurduğunu daha çok anlatılıyor ve bunları tutarlı bir bütüne dönüştürmemize olanak veriliyor.

ETKİN KURAMLAR

Bizim boyutumuz, onun üsleri cinsinden, hayal edilebilecek en küçük uzunluk ile evrenin devasa büyüklüğü arasına konduğunda, rastgele bir şekilde, ortaya çok yakın bir noktaya

düşer.[3] Biz, maddenin iç yapısı ve onun minik bileşenlerinin yanında çok büyük kalırken, yıldızlar, galaksiler ve evrenin büyüklüğünün yanında çok küçük kalırız. En kolay algıladığımız ölçüler, beş duyumuz ve en basit ölçüm aletlerimizle en ulaşılabilir olanlardır. Daha uzak ölçekleri mantıksal çıkarımlarla birleştirdiğimiz gözlemlerle anlarız. Doğrudan görülebilir ve erişilebilir ölçeklerden uzaklaştıkça, boyut aralıkları giderek daha soyut ve izlemesi zor miktarlar içeriyor olabilir. Ama kuramla birleşen teknoloji maddenin doğasını çok büyük bir uzunluk aralığında tanımlamamıza olanak verir.

Bilinen bilimsel kuramlar Büyük Hadron Çarpıştırıcısında keşfedilenler kadar küçük olanlardan galaksiler ve evrenin devasa büyüklüklerine kadar, bu dev büyüklük aralığında uygulanırlar. Bunların arasındaki olası her cisim boyutu ve her uzaklığı fizik yasalarının farklı yanları ilgilendiriyor olabilir. Fizikçiler bu devasa aralıkta uygulanan bilgilerin çokluğuyla başa çıkmak zorundadırlar. Her ne kadar fiziğin küçük uzaklıklara uygulanan en temel yasaları, sonuçta daha büyük ölçeklerle ilgili olanlardan da sorumlu olsalar bile, hesap yapmak için mutlaka en etkili araçlar değildir. Fazladan iç yapı veya destekler yeterince hassas bir yanıta yetmiyorsa, hesap yapmak için daha pratik bir yol arar ve etkin olarak daha basit kurallar uygularız.

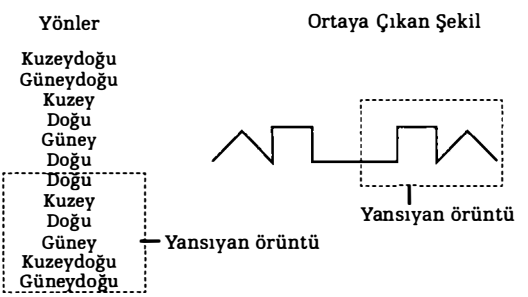
Fiziğin en önemli özelliklerinden biri, herhangi bir ölçüm veya kestirime ilişkin ölçekler aralığını elimizde bulunan hassaslığa göre nasıl tanımlayacağımızı ve daha sonra buna göre nasıl hesap yapacağımızı söylemesidir. Dünyaya bu şekilde bakmanın güzelliği, her neyle ilgileniyorsak onunla il-

---

[3] Zaman zaman burada onun kuvvetlerinin ortası derken ne anlatmak istediğimi göstermek üzere, üstel gösterimi kullanacağım. Evrenin boyutu 10^{27} metredir. Bin trilyon kere trilyon demek olan bu sayı, bir rakamını izleyen yirmi yedi adet sıfırdan oluşur. Hayal edilebilecek en küçük ölçek 10^{-35} metredir. Birin trilyonda birinin trilyonda birinin milyarda birinin yüzde biri demek olan bu rakam ondalık virgülden sonra otuz dört sıfır yazılarak ifade edilir. (Burada üstel gösterimin neden daha kolay olduğu görülüyor.) Bizim boyutumuz yaklaşık olarak 10^{1}'dir. Burada üs, 27 ile -35'in ortasına makul bir biçimde yakın olan 1'dir.

gili ölçeklere yoğunlaşabiliyor, bu ölçeklerde işleyen bileşenleri tanımlayabiliyor ve bu bileşenlerin arasındaki ilişkileri yöneten kuralları keşfedebiliyor ve uygulayabiliyor olmamızdır. Bilim insanları kuralları formülleştirir veya hesap yaparken ölçülemeyecek kadar küçük ölçeklerde ortaya çıkan fiziksel süreçlerin ortalamalarını alır (ya da kimi zaman istemeden de olsa) göz ardı ederler. Bizim için yeterli olduğunda ilgili gerçekleri seçer ve ayrıntıları ihmal eder ve en yararlı ölçeklere yoğunlaşırız. Bunu yapmak, olanaksız denecek ölçüde yoğun bilgiyle başa çıkabilmenin tek yoludur.

Yeri geldiğinde, ilgilenilen konuya yoğunlaşmak ve önemsiz ayrıntıların konuyu perdelemesine engel olmak için bu ayrıntıların göz ardı edilmesi mantıklı olur. Son zamanlarda izlediğim Harvard'tan psikoloji profesörü Stephen Kosslyn'in konferansı bana bilim insanlarının ve diğer herkesin bilgiyi nasıl hatırlamayı tercih ettiğini gösterdi. İzleyiciler üzerinde yaptığı bilişsel bir deneyde hepimize, perdede art arda gösterdiği cümle parçalarını doğru sırada hatırlamamızı istedi. Bu parçalar "kuzey" veya "güneydoğu" vb yönler olup hep birlikte zikzaklı bir çizgi oluşturuyorlardı (Şekil 2). Gözlerimizi kapatıp ne görmüş olduğumuzu söylememizi istedi. Her ne kadar beyinlerimiz her seferinde sadece birkaç parçayı hatırlamamıza olanak veriyor olsa da, bu parçaları tekrarlayan şekiller halinde gruplayarak daha uzun dizileri hatırlayabildiğimizi fark ettik. Tek bir parça yerine şeklin ölçeğinde düşünerek şekli aklımızda tutabildik.



ŞEKİL 2 Bileşeniniz olarak tek tek cümle parçalarını veya iki kere tekrarlanan altı parçadan oluşan bir grubu seçebilirsiniz.

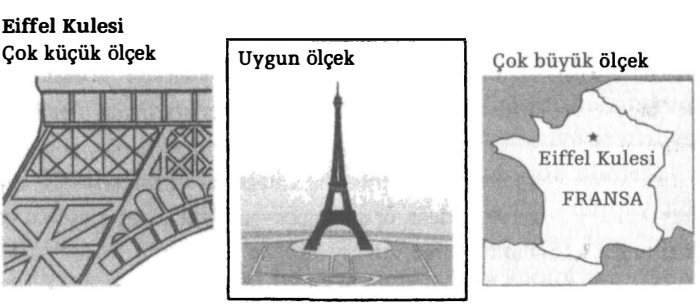
Gördüğünüz, işittiğiniz, tadına baktığınız, kokladığınız ya da dokunduğunuz herhangi bir şeyde, çok yakından bakarak ayrıntıları yakalamak veya başka önceliklerle büyük resme bakmak arasında yapacağınız bir seçim vardır. İster bir tabloya bakıyor, ister şarap tadıyor, felsefi bir metin okuyor ya da yolculuk planlıyor olun, düşüncelerinizi otomatik olarak ilgilendiğiniz –bunlar çeşni, düşünce ya da uzaklık kategorilerinin boyutları olabilir– ve ilgisiz bulduğunuz kategorilere ayırırsınız.

Yerinde sorulara odaklanarak ilgisiz olacak kadar küçük yapıları göz ardı etmek pek çok bağlamda uygulanır. MapQuest veya Google haritalarını kullanırken ya da iPhone'unuzun küçük ekranına bakarken ne yaptığınızı düşünün. Eğer uzaktan geliyorsanız, önce hedefinizin neresi olduğu konusunda kabaca bir fikir edinirsiniz. Büyük resmi gördükten sonra, çözünürlüğü daha yüksek olan bir haritaya yakınlaşırsınız. İlk bakışınızda, ayrıntılı ek bilgiye ihtiyacınız olmaz. Henüz konum konusunda kabaca bir fikir sahibi olmak istiyorsunuzdur. Ama yolculuğunuzun ayrıntılarını haritada görmek istediğinizde –aradığınız sokağı bulmak için çözünürlüğü artırdığınızda– ilk aramanızda önemsiz olan ayrıntılara giderek daha fazla dikkat edeceksiniz demektir.

Elbette istediğiniz veya ihtiyaç duyduğunuz kesinlik, seçtiğiniz ölçeği belirleyecektir. New York'a geldiklerinde otellerinin yerine çok dikkat etmeyen arkadaşlarım var. Onlara göre şehirdeki blokların karakterlerindeki geçişlerin konuyla hiç ilgisi yoktur. Ama New York'u bilen birisi için bu ayrıntılar önemlidir. Şehir merkezinde kaldığınızı bilmeniz yetmez. New Yorklular için Houston Caddesinin aşağısında mı yoksa yukarısında mı, ya da Washington Meydanı Parkının doğusunda mı yoksa batısında mı hatta iki ya da beş blok ötede olmalarının bile önemi vardır.

Her ne kadar ölçeğin doğru seçimi kişiden kişiye değişiklik gösteriyor olsa da, hiç kimse lokanta seçmek için Birleşik Devletler haritasına bakmaz. Böyle çok büyük (küçük) ölçeği gösteren bir bilgisayar ekranında gerekli ayrıntılar görülmez. Öte yandan, sadece lokantanın orada olduğunu bilmek

için de kat planına ihtiyacınız yoktur. Soracağınız her soru için ilgili ölçeği seçersiniz. (Bir başka örnek için Şekil 3'e bakınız.)



ŞEKİL 3 Farklı ölçeklerde bakıldığında farklı bilgiler daha açık hale gelir.

Benzer biçimde, fizikte de ilgilendiğimiz problemlere odaklanabilmek için boyuta göre sınıflandırırız. Masamızın yüzeyi pek çok kullanım amacı için sert görünür ama aslında gündelik yaşamımızda karşılaştığımız ölçeklerde, bir arada bulunduklarında sert bir yüzeymiş gibi davranan atom ve moleküllerden yapılmıştır. Bu atomlar bölünemez de değildir. Çekirdek ve elektronlardan oluşmuşlardır. Çekirdekler de kuark adı verilen daha temel nesnelerin bağlı hali olan proton ve nötronlardan oluşur. Element ve atomların elektromanyetik ve kimyasal özelliklerini anlamak için (atom fiziği olarak bilinen bilim dalı) kuarkları bilmemiz gerekmez. İnsanlar yıllarca, daha aşağı düzeyde bir yapı hakkında en küçük bir ipucu olmadan atom fiziği çalıştılar. Biyologların da hücreyi incelerken protonun içindeki kuarkları bilmelerine gerek yoktur.

Lisedeki fizik öğretmenimiz, aylarca Newton yasalarını inceledikten sonra, sınıfa bu yasaların yanlış olduğunu söylediğinde birazcık ihanete uğramış gibi hissetmiştim. Ama öğretmenim bu cümlesinde tam olarak haklı değildi. Newton'ın hareket yasaları, onun zamanında gözlenebilen

uzaklıklar ve hızlar için doğruydu. Newton kendisinin (ve çağdaşı olan herhangi birinin) ölçüm yapabileceği hassaslıkları göz önüne alarak, uygulanan fizik yasaları hakkında düşünmüştü. O zamanlar ölçülebilecek bir şey konusunda başarılı çıkarımlar yapmak için genel göreliliğin ayrıntılarını bilmesine gerek yoktu. Bu, Newton yasalarının uygulanabileceği düşük yoğunluklar ve hızlara sahip olan, görece büyük cisimlerle ilgili çıkarımlar yaparken bizim için de geçerlidir. Günümüzde fizikçi ve mühendisler gezegen yörüngelerini hesaplarken güneşin ayrıntılı yapısını bilmek zorunda da değildirler. Kuarkların davranışını belirleyen yasalar gök cisimlerine ilişkin tahminleri de önemli bir miktarda etkilemezler.

En temel bileşenlerin anlaşılması genelde minik altyapının çok az rol oynadığı, büyük ölçekteki etkileşmeleri anlamanın en iyi yolu değildir. Çok daha minik olan kuarkları inceleyerek atom fiziğinde ilerleme kaydetmekte zorlanırız. Sadece çekirdeğin çok daha ayrıntılı özelliklerini öğrenmek zorunda olduğumuzda kuark altyapısı konuyla ilgili hale gelir. Ölçülemeyecek kadar derin hassaslıklar gerekmediğinde, çekirdeğin altyapısını göz ardı ederek, güvenli bir biçimde kimya ve moleküler biyoloji alanlarında çalışabiliriz. Elizabeth Streb'in dans hareketleri, kuantum kütleçekim ölçeğinde olup biteni değiştirmez. Koreografi, klasik fizik yasalarına dayanır.

Aralarında fizikçiler de olmak üzere herkes, ayrıntılar elde edilebilecek çözünürlüğün ötesinde olduğunda, daha basit tanımları kullanmaktan mutlu olur. Fizikçiler bu sezgiyi biçimlendirirler ve konuyla ilgili uzaklık ve enerji cinsinden kategoriler oluştururlar. Verilen herhangi bir problemde *etkin kuram* dediğimiz şeyi kullanırız. Etkin kuram, dikkati sorudaki uzaklıklarda "etkili" olacak parçacıklar ve etkileşmeler üzerinde toplar. Parçacık ve etkileşmeleri çok daha temel davranışları ölçülemeyen parametreler cinsinden tanımlamak yerine, kuram sayesinde denklem ve gözlemlerimizi, gerçekte algılayabileceğimiz ölçeklerle bağlantılı şeyler cinsinden açık ve kesin bir biçimde ifade ederiz.

Daha büyük uzaklıklarda uyguladığımız etkin kuram, daha kısa uzaklık ölçeklerinde uygulanan fiziksel kuramın ayrıntılarına girmez. Sadece ölçmeyi ya da görmeyi umut edebileceğiniz şeylerle ilgilenir. Eğer herhangi bir şey, çalışmakta olduğunuz ölçeklerdeki çözünürlüğün ötesindeyse, onun ayrıntılı yapısını bilmeniz gerekmez. Bu yöntem bilimsel sahtekârlık değildir. Gereksiz bilgi karmaşasının üstesinden gelmenin bir yoludur. Kesin yanıtları etkin bir biçimde elde etmenin ve incelediğiniz sistemi aklınızda tutmanızın bir yoludur.

Etkin kuramların işlemesinin nedeni, ölçülebilir farklar yaratmadığı sürece bilinmeyeni göz ardı etmenin güvenilir olmasıdır. Eğer bilinmeyen olaylar sadece etkilerinin ayırt edilemeyeceği ölçeklerde, uzaklıklarda veya çözünürlüklerde ortaya çıkıyorsa, başarılı tahminlerde bulunmak için bunlar hakkında bir şey bilmemiz gerekmez. Şu andaki teknik yeteneklerimizin ötesindeki olaylar, tanım olarak, zaten göz önüne alınanların dışında, ölçülebilir herhangi bir sonuca yol açmazlar.

Görelilik hızlarında hareket yasalarının varlığı, atomik ya da atom altı sistemlerin kuantum mekaniksel tanımı gibi çok temel olgular konusunda hiçbir şey bilmeden bile, insanların kesin tahminler yapabilmelerinin nedeni budur. Her şeyi aynı anda düşünemeyeceğimiz için bu, bizim şansımızdır. İlgisiz ayrıntıları baskılamasaydık, herhangi bir ilerleme kaydedemezdik. Dikkatimizi deneysel olarak sınayabileceğimiz sorulara verdiğimizde, sınırlı çözünürlüğümüz bu karmakarışık bilgi yığınını bütün ölçeklerde önemsiz kılar.

"Olanaksız" şeyler olabilir, ama sadece henüz gözlemediğimiz ortamlarda. Bunların sonuçları bildiğimiz –ya da en azından şimdiye kadar keşfettiğimiz– ölçeklerle ilgisizdir. Bu küçük uzaklıklarda ne olup bittiği, doğrudan bakabileceğimiz, daha yüksek çözünürlüklü aletler geliştirilene veya yeterince kesin ölçümler daha büyük ölçeklerde sağladığı minik, ayırt edici özellikler yoluyla, temelinde yatan kuramı ayırt edip tanımlayana kadar gizli kalır.

Bilim insanları tahminler yaparken gözlenemeyecek kadar küçük herhangi bir şeyi meşru bir şekilde göz ardı

edebilirler. Aşırı derecede küçük nesneler ve süreçlerin sonuçları arasında ayrım yapmak sadece olanaksız olmakla kalmayıp, bu ölçeklerdeki süreçlerin fiziksel etkileri, sadece fiziksel olarak ölçülebilir parametreleri belirlediği ölçüde ilginç hale gelir. Bu nedenle fizikçiler, etkin bir kuramdaki nesneleri ve özellikleri ölçülebilir ölçeklerde nitelendirirler ve bunları eldeki ölçekle bağlantılı bilim yapmak için kullanırlar. Kısa mesafelerdeki ayrıntıları ya da bir kuramın mikro yapısını bildiğinizde, etkin tanımdaki nicelikleri, ayrıntılı temel yapıdan çıkarabilirsiniz. Aksi halde bu nicelikler, deneysel olarak belirlenmesi gereken bilinmeyenlerdir. Kuramdaki gözlenebilir, daha büyük ölçekli nicelikler, temel tanımı vermezler, bunlar gözlemleri ve tahminleri organize etmenin uygun bir yolunu oluştururlar.

Etkin bir tanım, doğrudan sonuçları görülemeyecek ölçüde küçük olan büyük ölçekli gözlemleri tekrar üreten, daha küçük ölçekli bir kuramın sonuçlarını özetleyebilir. Bunun avantajı, bir süreci her ayrıntıyı hesaba katmamız durumunda gerekecek olandan çok daha az parametreyle inceleyip değerlendirmemize olanak vermesidir. Bu daha küçük parametre takımı, bizi ilgilendiren süreci betimlemek için tam olarak yeterlidir. Üstelik kullandığımız bu parametre takımı *evrensel*dir, yani alttaki fiziksel süreçten bağımsız olarak bütün parametreler aynıdır. Bu parametrelerin değerlerini öğrenmek için uygulandıkları birçok sürecin herhangi birinde bunların değerlerini ölçmemiz yeterlidir.

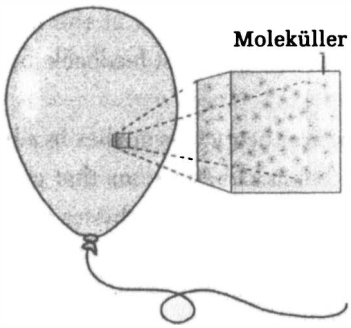
Büyük bir uzunluk ve enerji aralığında tek bir etkin kuram uygulanır. Ölçümlerle birkaç parametresinin tamamı belirlendikten sonra bu ölçek aralığında uygun her şey hesaplanabilir. Bu kuram, çok sayıda gözlemi açıklayabilen bir dizi eleman ve kural sağlar. Hiçbir zaman sonsuz hassaslıkta bir çözünürlüğe sahip olmadığımızdan, verilen herhangi bir anda temel olduğunu düşündüğümüz kuramın büyük olasılıkla etkin kuram olduğu ortaya çıkar. Ama biz etkin kurama, bir uzunluk ve enerji ölçek aralığında uygulanan birçok olayı başarılı bir şekilde tahmin ettiği için güveniriz.

Fizikteki etkin kuramlar sadece kısa mesafeli bilginin izini sürmekle kalmaz, aynı zamanda sonuçları gözlenemeyecek kadar küçük olabilen uzun mesafeli etkileri de özetleyebilirler. Örneğin içinde yaşadığımız evren, Einstein'ın kütleçekim kuramını geliştirirken bize olası olduğunu öğrettiği şekilde, çok hafifçe eğridir. Bu eğrilik uzayın büyük ölçekli yapısını da kapsayan, daha büyük ölçeklere de uygulanır. Yine de biz sistematik bir şekilde, yerel olarak çok daha küçük ölçeklerde yaptığımız gözlem ve deneylerin çoğunda bu eğriliğin etkilerinin neden önemli olmadığını anlayabiliriz. Sadece parçacık fiziği tanımımıza kütleçekimi de kattığımızda, şimdi anlatacağım şeyin çoğu kısmında önemsiz denecek kadar küçük olan böyle etkileri de göz önüne almak zorunda kalırız. Bu durumda da uygun etkin kuram bize, deneysel olarak belirlenmesi gereken birkaç bilinmeyen parametrede kütleçekim etkilerini nasıl özetleyeceğimizi öğretir.

Etkin bir kuramın en önemli yanlarından biri, gördüklerimizi betimlerken büyük ya da küçük ölçekte olsun, eksik olan şeyleri sınıflandırmasıdır. Herhangi etkin bir kuramla, bilinen (ya da bilinmeyen) alttaki dinamiğin belirli bir ölçümde olasılıkla ne kadar büyük bir etkide bulunacağını belirleyebiliriz. Farklı ölçeklerdeki yeni keşiflerin ilerlemesinde bile, yeni herhangi bir yapının, çalıştığımız ölçeklerde bir etkin kuram üzerindeki olası en büyük etkisini matematiksel olarak hesaplayabiliriz. On İkinci Bölümde daha ayrıntılı olarak inceleyeceğimiz gibi, bir etkin kuramın gerçek sınırlarını tam olarak öğrenmek için, altta yatan fiziğin keşfedilmiş olması gerekir.

Etkin kuramların bilindik bir örneği, buzdolapları ve motorların nasıl çalıştığını anlatan ve atom ya da kuantum kuramından uzun zaman önce geliştirilmiş olan termodinamiktir. Bir sistemin termodinamik durumu basıncı, sıcaklığı ve hacmi tarafından tam olarak belirlenir. Her ne kadar sistemin temel olarak atom ve moleküller içeren bir gazdan -biraz önceki üç niceliğin olasılıkla tanımlayabileceğinden daha ayrıntılı bir yapıda- oluştuğunu biliyor olsak da, sistemin kolayca gözlenebilir davranışını karakterize etmek için, dikkatimizi bu üç nicelik üzerinde yoğunlaştırabiliriz.

Sıcaklık, basınç ve hacim ölçülebilen, gerçek niceliklerdir. Aralarındaki ilişkiyi açıklayan kuram tam olarak gelişmiş olup bu kuramla başarılı tahminler yapılabilir. Bir gazın etkin kuramında alttaki molekül yapısından hiç söz edilmez (Şekil 4). Altyapıdaki elementlerin davranışı sıcaklık ve basıncı belirler ama bilim insanları atom veya moleküllerin keşfinden önce bile bu nicelikleri güle oynaya kullanarak hesap yapıyorlardı.



ŞEKİL 4 Basınç ve sıcaklık, çok daha temel düzeyde, tek tek moleküllerin fiziksel özellikleri cinsinden anlaşılabilir.

Temel kuram bir kez anlaşıldıktan sonra, sıcaklık ve basınç ile altyapıdaki atomların özellikleri arasındaki ilişkiyi kurabilir ve termodinamik tanımın ne zaman çökeceğini de anlayabiliriz. Ama hâlâ termodinamiği kullanarak çok çeşitli tahminlerde bulunabiliriz. Aslında birçok olay sadece termodinamik bakış açısıyla anlaşılabilir çünkü günümüzde var olanın çok ötesinde, devasa bir hesaplama gücü ve bellek olmadan bütün atomların yollarını tek tek izleyemeyiz. Bu noktada etkin kuram, katı ve sıvı *yoğun madde*de geçerli olan bazı önemli fiziksel olayları anlamanın tek yoludur.

Bu örnek bize etkin kuramların kritik bir yanını daha gösteriyor. Kimi zaman "temel" kavramını göreli bir terim olarak kullanırız. Termodinamik bakış açısından atomik ya da moleküler tanım temeldir. Ama moleküllerin içinde elektron ve kuarkları ayrıntılı olarak inceleyen parçacık fiziği tanımına

göre atom ***bileşik*** olup daha küçük elementlerden oluşmuştur. Parçacık fiziği perspektifine göre bir etkin kuram olarak kullanılır.

En iyi bilinenlerden bilginin sınırlarındaki rejimlere kadar, bilimin düzgün gelişimsel ilerlemesinin bu tanımı, en iyi, işlevsel birimleri ve bunlar arasındaki ilişkileri çok net kavradığımız fizik ve kozmoloji gibi alanlara uygulanır. Etkin kuramlar sadece moleküler ve daha makroskopik düzeylerdeki etkinlikler arasındaki ilişkileri olduğu kadar bunlarla ilgili geri besleme mekanizmalarının henüz tam olarak anlaşılmamış olduğu sistem biyolojisi gibi daha yeni alanlara uygulanmaz.

Yine de, etkin kuram düşüncesi geniş bir bilimsel bağlam çeşitliliğinde uygulanır. Sormuş olduğu bir soruyu yanıtlarken matematiksel biyolog Martin Nowak'a açıklamaya çalıştığım gibi, türlerin evrimini yöneten matematiksel denklemler, yeni fiziksel sonuçlara göre değişmezler. Nowak ve ekibi daha temel olan tanımın parametrelerini bağımsız olarak karakterize edebilirler. Sonuçta, fiziksel olsun ya da olmasın daha temel nicelikler arasındaki ilişkileri bulabilirler ama bu, popülasyonların zaman içindeki davranışlarının evrimini anlamak için matematiksel biyologların kullandığı denklemleri değiştirmeyecektir.

Parçacık fizikçileri için etkin kuramlar çok önemlidir. Basit sistemleri farklı ölçeklerde soyutlar ve aralarında ilişkiler kurarız. Aslında bizim gözlenebilir ölçeklere odaklanmamızı ve daha temel etkileri göz ardı etmemize olanak veren alttaki yapının görünmez olması, alttaki etkileşmeleri o kadar iyi gizler ki, bunları sadece olağanüstü çaba ve becerilerle ortaya çıkarabiliriz. Günümüzde fiziğin bu kadar zorlu ve heyecan verici olmasının temel nedeni temel kuramların gözlenebilir ölçeklerdeki etkilerinin küçüklüğüdür. Eğer maddenin daha temel doğasını ve etkileşmelerini kavramak istiyorsak, ya daha küçük ölçekleri doğrudan keşfetmeli ya da giderek daha hassas ölçümler yapmalıyız. Çok küçük ya da aşırı büyük uzaklık ölçeklerine sadece ileri teknolojiyle erişebiliriz. Günümüzde ilerleme sağlamak için, Büyük Had-

ron Çarpıştırıcısında olduğu gibi, özenle hazırlanmış deneyler yapmak zorunda olmamızın nedeni budur.

FOTONLAR VE IŞIK

Işık kuramlarının öyküsü bilim evrim geçirirken etkin kuramların nasıl korunduğunu çok iyi bir biçimde örneklerken, bazı fikirlerin çöpe atıldığı, diğerlerininse belirlenen alanlara uygun yaklaştırımlar olarak korunduğunu gösterir. Eski Yunanlardan bu yana insanlar ışığı geometrik optik kullanarak incelemişlerdir. Bu, fizik GRE sınavında (doktora yapmak için gerekli olan sınav) aday fizik mezunlarına soru sorulan konulardan biridir. Bu kuram ışığın ışınlar ya da doğrular şeklinde yayıldığını varsayar ve aletlerde bu ışınların nasıl algılandığı ve kullanıldığı kadar, farklı ortamlardan geçerken bu ışınların nasıl davrandığını da anlatır.

Tuhaf olan şu ki, hiç kimse –en azından bir zamanlar öğrencisi olup şimdilerde ders verdiğim Harvard'da– klasik ve geometrik optikle uğraşmıyor. Geometrik optik lisede biraz öğretiliyor olabilir ama öğretim programının önemli bir parçası değil.

Geometrik optik modası geçmiş bir konudur. En parlak dönemlerini yüzyıllarca önce Newton'ın ünlü *Opticks* eseriyle yaşamış, William Rowan Hamilton'ın yeni bir olgunun matematiksel öngörüsünü yaptığı 1800'lere kadar da varlığını sürdürmüştür.

Klasik optik kuramı hâlâ fotoğrafçılık, tıp, mühendislik ve astronomi gibi konulara uygulanır. Yeni aynaların, teleskop ve mikroskopların tasarımında hâlâ kullanılır. Klasik optikle uğraşan bilim insanları ve mühendisler çeşitli fiziksel olayların farklı örnekleri üzerinde çalışırlar. Ama optiği sadece uygularlar, yeni yasalar keşfetmezler.

2009'da Dublin Üniversitesinde Hamilton konferansı vermek üzere davet edilme onuruna eriştim. Bu konferansı benden önce pek çok saygıdeğer çalışma arkadaşım da vermişti. Konferans adını on dokuzuncu yüzyılda yaşamış olan İrlandalı büyük matematikçi ve fizikçi Sir William Rowan Hamilton'dan alır. Hamilton adı fizikte evrensel olarak o ka-

dar yaygın bir şekilde kullanılır ki, başlangıçta konunun gerçekten yaşamış İrlandalı bir kişiyle bağlantısını kurmakta zorlandığımı itiraf ediyorum. Ama Hamilton'ın, aralarında geometrik optik de olmak üzere, devrimci bir şekilde değiştirdiği pek çok matematik ve fizik alanından neredeyse büyülenmiştim.

Hamilton Gününün kutlanması son derece önemliydi. Günün etkinlikleri arasında Dublin'deki Kraliyet Kanalı boyunca yapılan bir tören alayı da vardı. Törene katılan herkes Broom Köprüsü üzerinde duruyor, en genç katılımcının köprü duvarına, Hamilton'ın yıllarca önce keşfin heyecanıyla kazımış olduğu denklemleri yeniden yazmasını izliyordu. Hamilton'ın yaşamış olduğu Dunsisk'teki Üniversite Gözlemevini ziyaret edip iki yüz yıl önce yapılmış olan bir teleskobun ahşap yapısını ve makaralarını gördüm. Hamilton Trinity College'dan 1827'de mezun olduktan sonra gittiği Dunsinsk'te hem astronomi kürsüsüne atanmış hem de İrlanda Kraliyet Gözlemcisi unvanı almıştı. Dublinliler Hamilton'ın olağanüstü matematik yeteneğine karşın astronomiye karşı gerçekten bir ilgisi ve bilgisi olmadığı, öncüsü olduğu pek çok kuramsal ilerlemelere karşın İrlanda'daki gözlemsel astronomiyi elli yıl geri bıraktırdığı yolunda espriler yapıyorlardı.

Hamilton günü yine de bu büyük kuramcının başardığı pek çok işe bir saygı gösterisi niteliğindeydi. Bunların arasında matematik ve bilimin öngörü gücünün kesin kanıtları olduğu kadar optik ve dinamik alanlarındaki ilerlemeler ve *kuaternionların* (genelleştirilmiş karmaşık sayılar) matematiksel kuramının keşfi de vardı. Kuaternionların geliştirilmesi hiç de küçük bir ilerleme değildi. Kuaternionlar bütün üç boyutlu olayların matematiksel olarak incelenmesinin altında yatan vektör kalkülüs (vektör hesabı) için önemlidir. Şimdilerde bilgisayar grafiklerinde ve bunun sonucu olarak eğlence endüstrisi ve video oyunlarında kullanılıyorlar. PlayStation veya Xbox sahibi olan herkes, eğlencenin bir bölümü için Hamilton'a teşekkür borçludur.

Çok sayıdaki elle tutulur katkılarının yanı sıra Hamilton optik alanında da önemli ilerlemeler sağlamıştı. 1832'de birbirinden bağımsız iki ekseni olan bir kristal üzerine düşen ışığın, kırılarak içi boş bir koni oluşturacağını göstermişti. Bu yolla ışığın bir kristalde koni şeklinde *iç* ve *dış* kırılmasına ilişkin öngörülerde bulunmuştu. Matematik biliminin bu muazzam –ve belki de ilk– zaferinde bu öngörü Hamilton'ın arkadaşı ve meslektaşı olan Humphrey Lloyd tarafından kanıtlanmıştı. Daha önce hiç gözlenmemiş bir olayın matematiksel öngörüsünün kanıtlanması çok büyük bir olaydı ve bu nedenle Hamilton'a şövalyelik nişanı verildi.

Ben Dublin'de iken oralılar, tümüyle geometrik optik üzerine temellenen bu matematiksel atılımı gururla anlattılar. Galileo gözlemsel bilim ve deneylerin öncüsü olmuştu, Francis Bacon ise önceki sonuçlara bakarak ne olacağının öngörüldüğü *tümevarımsal bilim*in ilk savunucularındandı. Ama daha önce hiç gözlenmemiş bir olayın sadece matematik kullanılarak tarif edilmesine gelirsek, Hamilton'ın konik kırılmayı öngörmesi büyük olasılıkla bir ilkti. En azından bu nedenle Hamilton'ın bilim tarihine katkısı göz ardı edilemezdi.

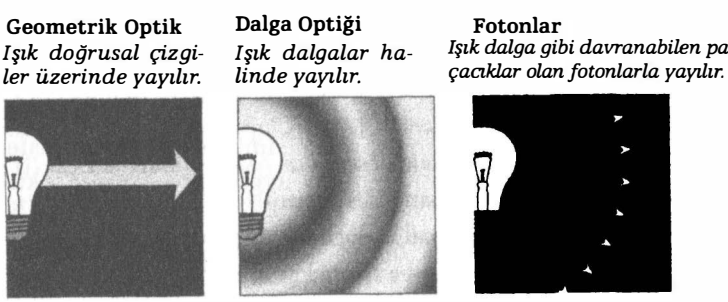
Yine de, Hamilton'ın keşfinin önemine karşın, klasik geometrik optik artık bir araştırma konusu değildir. Bütün önemli olaylar çok uzun süre önce anlaşılmıştır. Hamilton'dan kısa bir süre sonra, 1860'larda, diğerlerinin yanı sıra İskoç bilim insanı James Clerk Maxwell ışığın elektromanyetik açıklamasını geliştirdi. Geometrik optik, açıkça bir yaklaştırım olsa da, dalga boyu girişim etkilerinin gözlenemeyeceği kadar küçük olan bir dalganın ve ışığın doğrusal bir ışın olarak alınmasının iyi bir açıklamasıdır. Bir başka deyişle, geometrik optik sınırlı bir rejimde uygulanan bir etkin kuramdır.

Bu, geliştirilmiş olan bütün fikirleri koruduğumuz anlamına gelmez. Kimi zaman fikirlerin yanlış olduğu da gösterilebilir. İlk olarak Öklit tarafından ortaya atılmış olup dokuzuncu yüzyılda İslam dünyasında El-Kindî tarafından diriltilen ve ışığın gözlerimizden yayıldığını ileri süren betimleme, bunun bir örneğiydi. Her ne kadar İranlı matema-

tikçi İbn Sahl ve başkaları, kırılma olayını yanlış bir önermeye dayanmasına karşın doğru açıklamışlarsa da, bilim ve modern bilimsel yöntemlerden önce ileri sürülmüş olan Öklit ve El-Kindî'nin kuramı yanlıştı. Gelecekteki kuramlarca özümsenmedi ve terk edildi.

Newton ışık kuramının farklı bir yönünü bulmayı ummuyordu. Rakipleri Robert Hooke tarafından 1664, Christian Huygens tarafından 1690'da geliştirilen ışığın dalga kuramıyla uyumsuz olan ışığın "tanecik" kuramını geliştirmişti. Aralarındaki tartışma uzun sürdü. On dokuzuncu yüzyılda Thomas Young ve Augustine-Jean Fresnel ışığın girişimini ölçerek ışığın dalga özelliklerine sahip olduğunu açık bir şekilde kanıtladılar.

Kuantum kuramında daha sonraki gelişmeler Newton'ın da bir anlamda haklı olduğunu gösterdi. Kuantum mekaniği şimdi gerçekten de ışığın *foton* adı verilen ve elektromanyetik kuvvetin değiş tokuş edilmesinden sorumlu olan parçacıklardan oluştuğunu söylüyor. Ama modern foton kuramı ışık kuantumuna, ışığın yapısını oluşturan ve çok önemli bir özelliği olan parçacıklara dayanır. Işığı oluşturan parçacık olan her bir foton bile bir dalga gibi davranır. Bu dalga, o tek fotonun uzayın herhangi bir bölgesinde bulunma olasılığını verir (Şekil 5).



ŞEKİL 5 Geometrik optik ve dalga kuramı, ışığın modern kavrayışımızın öncüleri olup uygun koşullar altında hâlâ uygulanır.

Newton'ın parçacık kuramı optik sonuçlarını yeniden üretir. Yine de, dalga doğasına sahip olmayan Newton'ın parçacıkları fotonlarla aynı değildir. Şimdi bilebildiğimiz kadarıyla, foton kuramı ışığın en temel ve doğru tanımı olup, bu kurama göre ışık dalga tanımıyla da bağdaşan parçacıklardan oluşur. Kuantum mekaniği ışığın ne olduğu ve nasıl davrandığını betimleyen en temel kuramdır. Temelde doğru olduğundan yaşamını sürdürüyor.

Kuantum mekaniği şimdi optikten çok daha sınırda olan bir araştırma alanıdır. Eğer insanlar yeni optik bilimini düşünmeye devam ediyorlarsa, esas olarak sadece kuantum mekaniğiyle olası olan yeni etkileri düşünüyorlardır. Her ne kadar klasik optik bilimi artık modern bir bilim olarak gelişmiyor olsa da, ışığın kuantum mekaniksel özelliklerini inceleyen kuantum optik alanını da kapsamaktadır. Fotokatlandırıcılar gibi ışık dedektörleri ile lazerler ve güneş ışığını elektriğe dönüştüren ışıkgerilimsel hücreler de kuantum mekaniğine dayanır.

Modern parçacık fiziği de Richard Feynman ve diğerleri tarafından geliştirilen ve yalnızca kuantum mekaniğini değil, özel göreliliği de içine alan kuantum elektrodinamiğini (QED) kapsar. QED kuramıyla, ışık parçacıkları olan fotonların da aralarında olduğu tek tek parçacıkları olduğu gibi elektronları ve elektrik yükü taşıyan diğer parçacıkları inceleriz. Bu parçacıkların birbirleriyle etkileşme, yaratılma ve yok olma hızlarını anlayabiliriz. QED parçacık fiziğinde en sık kullanılan kuramlardan biridir. Aynı zamanda bütün bilimde en kesin biçimde kanıtlanan öngörüleri yapmıştır. QED geometrik optikten dağlar kadar farklı olmasına karşın ikisi de kendi geçerlilik bölgelerinde doğru sonuçlar verir.

Fiziğin her alanı bu etkin kuram fikrini iş başındayken gösterir. Eski fikirler daha temel kuramlara katılırken bilim de evrim geçirir. Eski fikirler hâlâ kullanılır ve pratik uygulamaları olabilir. Ama artık sınırdaki araştırmaların alanında değildirler. Her ne kadar bu bölümün sonunda ışığın çağlar boyunca yorumlanması örneği üzerine yoğunlaşmış olsak da, fiziğin tamamı bu şekilde gelişmiştir. Bilim, ileri

uçlarda belirsizliklerle yolunu bulmaya çalışırsa da genel olarak metodik bir şekilde ilerler. Verilen bir ölçekteki etkin kuramlar, özel herhangi bir ölçümde fark yaratmayacağını kanıtlayabileceğimiz etkileri meşru bir şekilde göz ardı edebilir. Geçmişte edindiğimiz bilgelik ve yöntemler yaşamlarını sürdürür. Ama kuramlar, biz daha büyük bir uzaklık ve enerji çeşitliliğini kavradıkça evrim geçirir. İlerlemeler bize, gördüğümüz yeni olayları temelde açıklayan yeni kavrayışlar sunar.

Bu gelişmeyi anlamak, bilimin doğasını daha iyi yorumlamak ve fizikçilerin (ve diğerlerinin) günümüzde sordukları bazı büyük soruların değerini anlamakta bize yardımcı olur. Önümüzdeki bölümde günümüzde kullanılan yöntemlerin kaynağının, pek çok bakımdan, on yedinci yüzyıla dayandığını göreceğiz.

İKİNCİ BÖLÜM

GİZLERİN KİLİDİNİ AÇMAK

Bilim insanlarının günümüzde kullandıkları yöntemler, bilimsel fikirleri doğrulamak –ve bunun kadar önemli olmak üzere– yanlışlığını kanıtlamak üzere geliştirilmiş olan ölçüm ve gözlemlerin uzun tarihinin yeniden dirilişidir. Kavrayışımızı dünyayı içgüdüsel bir biçimde anlamanın ötesine geçerek geliştirme ihtiyacı dilimizde de yansır. Latince kökenli dillerde "düşünmek" fiilini karşılayan *pensum* kökü "tartmak" anlamına gelen Latince bir fiilden türemiştir. İngilizcede de fikirler "tartılır".

Bilimi modern ifadesine yönelten oluşumsal kavrayışların birçoğu on yedinci yüzyılda İtalya'da geliştirilmiş olup, Galileo başroldedir. Bilimsel gerçekliği ortaya çıkarmanın bir yolu olarak deneyler tasarlayıp uygulamanın yanı sıra, aracı bir aletle yapılan ölçümler anlamına gelen *dolaylı ölçümlerin* önemini tam olarak kavrayıp destekleyen ilk araştırmacılar arasındaydı. Dahası, soyut düşünce deneylerinin, fikirlerini ortaya koyar ve tutarlı bir şekilde formülleştirirken çok işe yaradığını da anlamıştı.

2009 baharında Padua'ya gittiğimde Galileo'nun bilimi kökünden değiştiren birçok sezgisini fark ettim. Ziyaret nedenlerimden biri Padualı fizik profesörü Fabio Zwirner'in organize ettiği bir fizik konferansı, bir diğeri ise şehrin fahri hemşerisi ödülünü almaktı. Aralarında Steven Weinberg, Stephen Hawking ve Ed Witten'in de bulunduğu fizikçi meslektaşlarımla ve şehrin saygın hemşerileriyle bir arada olmaktan çok mutlu oldum. Üstelik ödül olarak biraz da bilim tarihi öğrenme şansım oldu.

2009 yılı Galileo'nun ilk gökyüzü gözlemlerinin 400. yılı olduğundan yolculuğumun zamanlaması çok iyiydi. En

önemli araştırmalarını yaptığı dönemde Galileo, oradaki üniversitede konferanslar vermiş olduğundan şehir halkı son derece ilgiliydi. Ünlü gözlemlerinin anısına Padua şehrinde (bu arada Pisa, Floransa, Venedik ve Galileo'nun bilimsel yaşamını biçimlendiren diğer şehirlerde de) Galileo'nun onuruna sergiler, tören ve gösteriler düzenlenmişti. Fizik konuşmaları Centro Culturale Altinate (veya San Gaetano) binasındaki bir salonda yapılıyordu. Bu bina aynı zamanda Galileo'nun pek çok somut başarısını kutlayan ve bilimin değişerek günümüzdeki tanımına kavuşmasındaki rolünün altını çizen, olağanüstü bir sergiye de ev sahipliği yapıyordu.

Görüştüğüm pek çok kimse Galileo'nun başarılarının değerini biliyor ve coşkularını modern bilimsel gelişmelere geçiriyorlardı. Padua belediye başkanı Flavio Zanonato'nun ilgi ve bilgisi İtalyan fizikçileri bile etkiledi. Şehrin en yüksek yöneticisi, verdiğim halk konferansını izleyen akşam yemeği sırasındaki bilimsel sohbete etkin bir biçimde katılmakla kalmadı, konferansta LHC'de yük akışıyla ilgili olarak sorduğu zekice soruyla dinleyicileri de şaşırttı.

Hemşerilik töreninde belediye başkanı bana şehrin anahtarını verdi. Anahtar şahaneydi, tam filmlerden hatırladığım gibiydi. Gümüşten, özenli bir şekilde yapılmış bu büyük anahtar, meslektaşlarımdan birinin bu anahtarın bir Harry Potter öyküsünden çıkma olup olmadığını sormasına neden oldu. Bu törensel bir anahtardı ve elbette herhangi bir kapıyı açmıyordu. Bir şehrin olduğu kadar hayallerimdeki zengin ve dokulu bir bilgi kapısının da güzel bir sembolüydü.

Anahtarın yanı sıra Padua Üniversitesinde profesör olan Massimilla Baldo-Ceolin bana *osella* olarak bilinen bir Venedik tören madalyası da verdi. Madalyanın üzerine Galileo'nun aynı zamanda Üniversitenin fizik bölümünün girişinde de yazılı olan bir sözü kazınmıştı: "Io stimo più li trovar un vero, benché di cosa leggiera, che'l disputar lungamente delle massime questioni senza conseguir verità nissuna." Çevirisi ise şöyle: "Gerçeğe ulaşamayan büyük sorular hakkında uzun tartışmalara girmektense, gerçeğe ulaşılmasını sağlayan kolay konulara çok daha fazla önem veririm."

Bu sözleri konferans sırasında meslektaşlarımla da paylaştım çünkü bu, aslında günümüzde de yönlendirici bir ilkeydi. Yaratıcı ilerlemeler çoğunlukla çözümü kolay problemlerden kaynaklanır ki, bu noktaya ileride yeniden döneceğiz. Yanıtladığımız bütün soruların mutlaka çok önemli, köktenci çıkarımları olması gerekmez. Ama görünüşte küçük ilerlemeler bile çoğu zaman kavrayışımızda önemli değişiklikler yaratır.

Bu bölümde, bu kitabın sunduğu çağdaş gözlemlerin nasıl olup da on yedinci yüzyıldaki gelişmelerden kaynaklandığı ve o zamanlar kaydedilen temel ilerlemelerin bugün benimsediğimiz kuram ve deneylerin doğasını nasıl tanımladığı anlatılıyor. Önemli sorular, bazı bakımlardan bilim insanlarının dört yüz yıldır sorduklarıyla aynıdır ama teknolojik ve kuramsal ilerlemeler nedeniyle şimdi sorduğumuz daha önemsiz sorular çok büyük ölçüde evrim geçirmiştir.

GALILEO'NUN BİLİME KATKILARI

Bilim insanları bilinen ile bilinmeyen arasındaki eşiği atlamaya teşebbüs ederken cennetin kapısını çalıyorlar. Herhangi bir anda işe bir kurallar takımı ve o anda ölçtüğümüz olayı öngören denklemlerle başlıyoruz. Ama her zaman, henüz deneylerle keşfedemediğimiz sistemlere doğru kaymaya çalışıyoruz. Teknoloji ve matematikle sistematik olarak, geçmişte spekülasyon ya da inanç konusu olan sorulara yaklaşıyoruz. Daha iyi ve daha çok sayıdaki gözlemlerle birlikte yeni ölçümleri de kapsayan, gelişmiş kuramsal çerçevelerle bilim insanları dünyayı daha geniş bir şekilde kavramaya başladılar.

Padua'yı ve onun tarihsel dönüm noktalarını keşfettikçe bu düşünce biçiminin gelişiminde Galileo'nun oynadığı kilit rolü daha iyi anladım. Giotto'nun on dördüncü yüzyılda yaptığı duvar resimlerine ev sahipliği yapan Scrovegni Şapeli, Padua'daki en ünlü yerlerden biridir. Bu resimler pek çok nedenle dikkate değer ama bilim insanları açısından (*Meryem'e Müjde* sahnesinin üzerinde görülen) Halley Kuyrukluyıldızının 1301'deki geçişinin son derece gerçekçi görüntüsü bir mucizedir (Şekil 6). Bu resmin yapıldığı günlerde

kuyrukluyıldız çıplak gözle son derece net olarak görülebiliyordu.

Ama görüntüler yine de bilimsel değildi. Tur rehberimiz Palazzo della Reggione'de daha önce kendisine Samanyolu olduğu söylenmiş olan göksel bir görüntüyü gösterdi. Daha sonra, bu konuda uzman bir rehberin, kendisine bu yorumun kronolojik olarak hatalı olduğunu anlattığını belirtti. Bu resmin yapıldığı günlerde insanlar sadece gördüklerinin resmini yapıyorlardı. Evet, gökyüzü yıldızlarla doluydu ama ortada galaksimiz gibi belirgin bir şey yoktu. Bugün anladığımız anlamda bilim henüz yoktu.



ŞEKİL 6 Galileo Scrovegni şapelindeki bu resmi, on dördüncü yüzyılın başlarında, Halley Kuyrukluyıldızı çıplak gözle görüldüğü sıralarda yapmıştı.

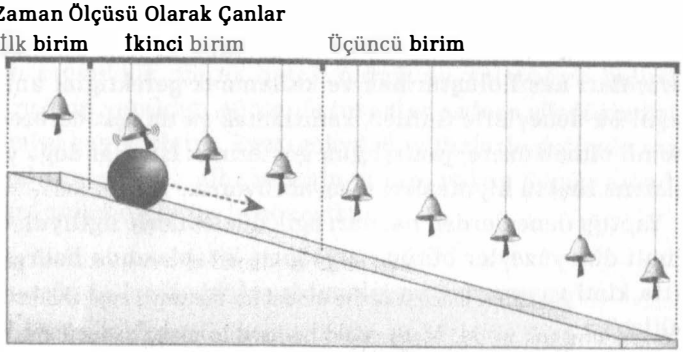
Galileo'dan önce bilim doğrudan gözlemlere ve saf düşünceye dayanıyordu. Aristotelesçi bilim insanların dünyayı anlamaya çalışırken kullandıkları modeldi. Matematik, çıkarımlar yapmak için kullanılabilirdi ama temeldeki varsayımlar kanıt olmaksızın veya doğrudan gözlemlere dayanılarak yapılıyordu.

Galileo araştırmalarını "mondo di carta" (bir kâğıt dünyası) üzerinde temellendirmeyi bariz bir biçimde reddetti, "libro della natura"yı (doğanın kitabı) okumak istiyordu. Bu amaca ulaşmak için, gözlemin yöntem arayışını değiştirdi, dahası, deneylerin gücünün farkına vardı. Galileo, fiziksel yasanın doğası konusunda çıkarımlar yapmak için, bu yapay durumları nasıl oluşturmak ve kullanmak gerektiğini anlamıştı. Bu deneylerle Galileo, kanıtlamak ya da eşit derecede önemli olmak üzere, yanlışlığını göstermek istediği doğa yasalarına ilişkin hipotezleri sınayabiliyordu.

Yaptığı deneylerden bazıları eğik düzlemlerle ilgiliydi: bu eğimli düz yüzeyler bütün fiziğe giriş kitaplarında belirgin, hatta kimi zaman da can sıkıcı bir şekilde kendini gösterir. Galileo'ya göre eğik düzlemler, zaman zaman fizikle yeni tanışan öğrencilerin düşündüğü gibi sadece sınıfta çözülmesi gereken birtakım problemler değildi. Eğik düzlemler, düşen cisimlerin hızlarını incelemenin bir yoluydu. Cisimlerin düşmesi yatay bir uzaklığa dağıtılarak, cisimlerin nasıl "düştükleri" konusunda dikkatli gözlemler yapılabiliyordu. Zamanı bir su kronometresiyle ölçüyordu ama belirli noktalara da küçük çanlar yerleştiriyordu. Böylece müziğe yatkın kulağı yardımıyla, yokuş aşağı yuvarlanan topun hızını, Şekil 7'de gösterildiği gibi, çanları dinleyerek belirleyebiliyordu. Hareket ve kütleçekimle ilgili olan bu ve benzeri deneylerle Galileo, Johannes Kepler ve René Descartes'la birlikte Newton'ın herkesçe bilinen şekilde geliştirdiği klasik mekanik yasalarının temellerini attı.

Galileo gözleyebildiklerinin ötesindeki bilimle de ilgilendi. O zamanlar hiç kimsenin yapamayacağı deneylere uygulanabilecek tahminler yapabilmek için düşünce deneyleri –gördüğü şeyler üzerine temellenen soyutlamalar– yarattı. Bunların belki de en ünlüsü, hava direncinin olmaması durumunda bütün cisimlerin aynı hızda düşeceği olmuştur. İdealleştirilmiş durumu kuramamış olsa bile, sonucun ne olacağını tahmin etmişti. Galileo cisimlerin yeryüzüne doğru düşmesinde kütleçekimin rolünü anlamıştı ama hava direncinin düşmeyi yavaşlatacağını da biliyordu. Sağlam bilim

bir ölçüme girebilecek bütün faktörleri kavramayı da kapsar. Düşünce deneyleri ve gerçek fiziksel deneyler Galileo'nun kütleçekimin doğasını anlamasına yardımcı oldu.



ŞEKİL 7 Geçişi bildiren çanlar yardımıyla Galileo bir topun eğik düzlemde yuvarlanma hızını ölçtü.

Bu bilimsel geleneği sürdüren en büyük fizikçilerden biri olan Newton'ın, Galileo'nun öldüğü yıl doğmuş olması, ilginç bir tarihsel rastlantıdır. (Stephen Hawking de yaptığı bir konuşmada, kendi doğum gününün tam üç yüz yıl sonra aynı güne denk gelmesinden memnun olduğunu söylemişti.) Fiziksel ya da düşünce deneyleri tasarlama, yorumlama ve bu deneylerin sınırlarını kavrama geleneğini, doğum yılları ne olursa olsun, bilim insanları günümüzde de sürdürüyorlar. Bugünkü deneyler daha incelikli olup çok daha ileri teknolojiye dayanıyor ancak hipotezlerin tahminlerini doğrulamak ya da yanlışlığını göstermek için alet yaratma fikri günümüz araştırmalarında da bilimi tanımlamayı sürdürüyor.

Hipotezleri sınamak amacıyla yarattığı yapay durumlar olan deneylere ek olarak, Galileo'nun bilime, oyunun kurallarını değiştiren katkılarından bir diğeri, teknolojinin evrene ilişkin gözlemlerimizi geliştirmekteki potansiyelini kavramak ve ona inanmak olmuştur. Deneylerle saf zihin gücünün ve mantığın, yeni aletlerleyse filtresiz gözlemlerin ötesine geçti.

Daha önceleri yapılan bilimin çoğu doğrudan, aracısız gözlemlere dayanıyordu. İnsanlar nesneleri, görüntüleri bir

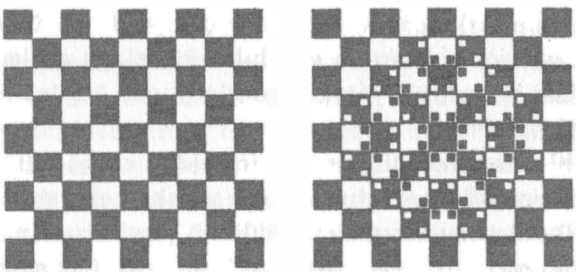
şekilde değiştiren, aracı aletler yerine kendi duyularıyla görüyor, onlara dokunuyorlardı. Başka şeylerle birlikte süpernovaları da keşfeden ve gezegenlerin yörüngelerini çok hassas bir biçimde ölçen Tycho Brahe, Galileo'nun sahneye çıkışından önceki son ünlü astronomi gözlemlerini yaptı. Tycho büyük çeyrek daire, sekstant ve çemberli küre gibi hassas ölçüm araçları kullanıyordu. Tycho aslında herkesin kullandığından çok daha hassas ölçüm araçları tasarlamış ve bunları paralarını ödeyerek yaptırmıştı. Bu araçlarla Kepler'in gezegen yörüngelerinin eliptik olduğu sonucuna vardığı, çok kesin ölçümler yapılabilmişti. Ama Tycho yine de bütün ölçümlerini, herhangi bir mercek ya da araç kullanmadan, çıplak gözle yaptığı gözlemlerden elde ediyordu.

Galileo'da bir sanatçının eğitimli gözü ve duyarlı ve müzikal bir kulağı olmasına karşın –nereden baksanız müzik kuramcısı ve lut virtüözü bir babanın oğluydu– teknolojik gözlemlerin, zaten müthiş olan yeteneklerini nasıl artırabileceğinin farkındaydı. Galileo, küçük ya da büyük ölçekli olsun, gözlem araçlarıyla yapabileceği dolaylı gözlemlerin, desteksiz becerilerle yapılabileceklerin çok ötesine geçeceğine güveniyordu.

Galileo'nun teknolojiden destek aldığı en iyi bilinen uygulama, yıldızları araştırmak için teleskoptan yararlanmasıdır. Bu aleti kullanış biçimi bilimin yapılış şeklini, evren konusundaki düşüncelerimizi ve kendimize bakışımızı değiştirmiştir. Galileo teleskobu icat etmedi. Teleskop 1608 yılında Hollanda'da Hans Lippershey tarafından icat edildiyse de Hollandalılar onu başkalarını gözetlemek için kullandıklarından, dürbün adını vermişlerdi. Galileo ise bu aletin, evrenin çıplak gözle görülemeyecek gözlemler için potansiyeli olduğunu fark eden ilk kişiler arasındaydı. Hollanda'da icat edilen dürbünü, nesneleri 20'den fazla kez büyütebilen bir teleskop geliştirerek güncelledi. Bir yıl içinde bir eğlence oyuncağını bilimsel bir alete dönüştürdü.

Galileo'nun aletli gözlemleri daha önceki ölçme yöntemlerinden köklü bir ayrılış olup tüm modern bilimin temelini oluşturan önemli bir ilerlemeyi temsil ediyordu. İnsanlar

başlangıçta bu dolaylı gözlemlerden kuşku duydular. Bugün bile kimileri, büyük proton çarpıştırıcılarda yapılan gözlemlerin gerçekliğine ya da uydulardaki teleskop ve bilgisayarların kaydettiği verilere kuşkuyla yaklaşırlar. Ama bu aletlerin kaydettiği sayısal verilerin her parçası, doğrudan gözleyebildiklerimiz kadar gerçek olup pek çok bakımdan onlardan çok daha kesindir. Ne de olsa işitme duyumuz kulak zarımıza çarpan hava titreşimlerine, görme duyumuz ise retinamıza çarpan elektromanyetik dalgalara ve bunları beynimizin işlemesine dayanır. Bunun ise bizim de bir tür teknoloji olduğumuz ve optik yanılsama testlerinin gösterdiği gibi, çok da güvenilir olmadığımızdır (Şekil 8). Bilimsel ölçümlerin güzelliği, temel parçacıkların doğası ve özellikleri de dahil olmak üzere, fiziksel gerçekliğin boyutlarını, günümüzde fizikçilerin büyük ve hassas dedektörlerle yaptığı deneylerle ortaya çıkarabiliyor olmamızdır.



ŞEKİL 8 Gözlerimiz her zaman dış gerçekliği saptamakta kullanabileceğimiz en güvenilir araç değildir. Burada görülen iki satranç tahtası da birbirinin aynıdır ama sağdaki tahtanın üzerindeki siyah ve beyaz noktalar tahtanın çok farklı görünmesine neden oluyor.

Her ne kadar içgüdümüz bize çıplak gözle yaptığımız gözlemlerin en güvenilir olduğunu ve soyutlamadan kuşkulanmamız gerektiğini söylüyor olsa da, bilim bize insan eğilimlerinin ötesine geçmemiz gerektiğini anlatır. Tasarladığımız aletlerle yaptığımız ölçümler gözlerimizle yaptıklarımızdan daha güvenilir olup bu ölçümlerin güvenilirliği tekrarlanarak geliştirilebilir.

1611'de kilise, dolaylı gözlemlerin geçerli olduğu yolundaki köktenci önermeyi kabul etti. Tom Levenson'ın *Measure for Measure*[1] [*Kısasa Kısas*] kitabında ilişkilendirdiği gibi, kilisenin bilimsel kurumları teleskop gözlemlerinin güvenilir olup olmadığı konusunda karar vermek zorundaydılar. Kardinal Robert Bellarmine kilise bilginlerine bu konuyu açıklığa kavuşturmaları için baskı yapıyordu ve 24 Mart 1611'de kilisenin önde gelen dört matematikçisi Galileo'nun keşiflerinin tümünün geçerli olduğuna karar verdiler: teleskop gözlemleri gerçekten de kesin ve güvenilirdi.

Padualıların benimle paylaştığı, pirinç bir hatıra madalyonu Galileo'nun başarılarının önemini çok güzel bir şekilde ortaya koyuyordu. Bir yüzdeki resimde, 1609 yılında teleskobun Venedik Cumhuriyeti'nin yöneticisi olan Leonardo Dona ve eşine tanıtımı bulunur. Diğer yüzde ise bu eylemin "modern astronomi teleskobunun gerçek doğuşunu simgeleyen", "insanoğlunun dünya gezegeninin ötesindeki algısındaki devrimi", "Astronominin sınırlarını aşarak onu modern bilimin başlangıç noktalarından biri haline getiren tarihi bir an" olduğunu belirten bir ibare vardır.

Galileo'nun gözlemsel avantajları daha öte keşiflerde patlamaya neden oldu. Gökyüzüne her baktığında çıplak gözün erişiminin ötesinde yeni gök cisimleri buluyordu. Pleiades (Ülker) yıldız kümesinde ve önceden bilinen parlak yıldızların arasındaki bölgelere serpiştirilmiş olan, daha önce hiç kimsenin görmediği yıldızları buldu. Bu keşiflerini yaklaşık altı haftada tamamlamaya çalıştığı ve 1610 yılında yayımladığı ünlü *Sidereus Nuncius* [*Yıldızlı Haberci*] kitabıyla halka duyurdu. Toskana Gand Dükü ve İtalya'nın en zengin ailelerinden birinin üyesi olan Cosimo II de' Medici'yi etkileyebilmek için, teleskobu olan başka biri yayımlamadan önce, yayımcı el yazması üzerinde çalışırken araştırmasını alelacele yürüttü.

Galileo'nun bilgili araştırmaları yüzünden bir kavrayış patlaması ortaya çıktı. *Nasıl* yerine *neden* sözcüğünü ko-

[1] Levenson, Tom. *Measure for Measure: A Musical History of Science* (Simon & Schuster, 1994).

yarak farklı türde bir soru sordu. Sadece teleskopla olası olan ayrıntılı keşifler onu doğal olarak Vatikan'ı sinirlendiren birtakım sonuçlara yöneltti. Belirli gözlemler Galileo'yu Kopernik'in haklı olduğu konusunda ikna etti. Ona göre gözlemlerinin tümünü tutarlı bir şekilde açıklayabilecek tek dünya görüşü, etrafında bütün gezegenlerin döndüğü galaksinin merkezinde dünya değil, güneşin bulunduğu bir kozmolojiye dayanıyordu.

Jüpiter'in uydularının gözlemleri bunların içinde en kritik olanlar arasındaydı. Dev gezegenin çevresinde dönerken görünüp kayboldukça Galileo bu uyduları görebiliyordu. Bu keşiften önce durağan dünya, ayın sabit yörüngesini açıklayabilmek için tek ve en açık yolmuş gibi görünüyordu. Jüpiter'in uydularının keşfi, hareketli olmasına karşın çevresinde uydular bulunduğu anlamına geliyordu. Bu, dünyanın da hareket ediyor, hatta merkezdeki başka bir cismin çevresinde yörüngede dönüyor olabileceği inancına katkıda bulundu. Bu olgu ancak sonraları, Newton kütleçekimi ve gök cisimlerinin karşılıklı çekimini öngören kuramını geliştirdiğinde açıklanabildi.

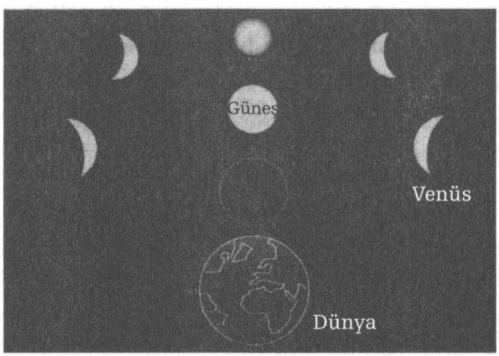
Galileo Jüpiter'in uydularını Cosimo II de' Medici'nin onuruna Medici yıldızları olarak adlandırdı. Bu onun finansman sağlama konusundaki anlayışını da gösteriyor ki bu, modern bilimin bir başka önemli özelliğidir. Mediciler gerçekten de Galileo'nun araştırmalarını desteklemeye karar vermişlerdi. Bununla birlikte daha sonraları Galileo'nun Floransa şehrinden ömür boyu mali destek alınca uydulara keşfedenin onuruna Galileo uyduları adı verildi.

Galileo teleskopla ay yüzeyindeki tepeleri ve vadileri de gözledi. Onun keşiflerinden önce göklerin mutlak bir biçimde değişmez olduğu, mutlak bir düzenlilik ve değişmezlikle yönetildiği düşünülüyordu. Hâkim olan Aristotelesçi görüş, dünya ile ay arasındaki her şey kusurlu ve tutarsız olsa bile, gezegenimizin ötesindeki gök cisimlerinin, küresel ve değişmez olduğu –özlerinin kutsal olduğu– varsayımını sürdürüyordu. Kuyrukluyıldız ve meteorlara (göktaşları) tıpkı bulutlar ve rüzgâr gibi hava olayları olarak bakılıyordu.

Meteoroloji terimi bu sınıflandırmaya dayanır. Galileo'nun ayrıntılı gözlemleri, kusurluluğun insan ve ayın yörünge alanından ötelere uzandığını ima ediyordu. Ay mükemmel bir küre değildi ve gerçekte dünyaya herhangi birisinin varsaymaya cesaret ettiğinden çok daha fazla benziyordu. Ayın dokulu yüzey şekillerinin keşfiyle yersel ile göksel cisimler arasındaki ikili karşıtlık sorgulanmaya başladı. Artık yerküre tek değildi, herhangi bir gök cismi gibi görünüyordu.

Sanat tarihçisi Joseph Koerner bana, sanatçı özgeçmişinden dolayı Galileo'nun kraterleri tanımlamak için ışık ve gölgeyi kullanabileceğini anlattı. Galileo'nun aldığı perspektif eğitimi, gördüklerinin izdüşümünü anlamasına yardımcı olmuştu. Tam olarak üç boyutlu olmasalar da, bu görüntülerin olası sonuçlarını hemen fark etti. Ayın haritasını çıkarmakla ilgilenmiyordu, sadece yüzey yapısını anlamak istiyordu. Ve ne gördüğünü hemen anladı.

Kopernik bakış açısını doğrulayan üçüncü kayda değer gözlem grubu, Şekil 9'da gösterildiği gibi, Venüs'ün evreleriyle ilgiliydi. Bu gözlemler özellikle gök cisimlerinin güneşin etrafında döndüğünün saptanması açısından önemliydi. Dünya, açıkça eşsiz değildi ve Venüs de onun etrafında dönmüyordu.



ŞEKİL 9 Galileo'nun Venüs'ün evreleri konusundaki gözlemleri, onun da güneşin etrafında döndüğünü göstererek Ptolemaios sisteminin geçerli olmadığını gösterdi.

Astronomik bakış açısından dünya o kadar da özel değildi. Diğer gezegenler de dünya gibi davranıyorlar, güneşin çevresinde dönüyorlardı; uyduları da onların çevresinde dönüyordu. Dahası, dünyanın ötesinde bile hiçbir şey lekesiz bir kusursuzlukta değildi. Galileo güneşin bile lekelerle kirlendiğini görmüştü.

Bu gözlemlerle donanmış olan Galileo, herkesçe bilindiği gibi, evrenin merkezinde olmadığımız ve dünyanın güneşin etrafında döndüğü sonuçlarına vardı. Dünya odak noktası değildi. Galileo, bu radikal sonuçları yazıya döktü. Bunu yaparken kiliseye meydan okuduysa da, sonraları çarptırıldığı ev hapsi cezasını azaltmak için Kopernik sistemini reddettiğini ilan etmek zorunda kaldı.

Büyük ölçekteki evren konusundaki gözlemleri ve ileri sürdüğü kuramlar yetmiyormuş gibi, Galileo küçük ölçekli olayları algılama yeteneğimizi de köklü bir şekilde değiştirdi. Aracı aletlerin büyük ölçeklileri olduğu gibi, küçük ölçekli olayları da ortaya çıkarabileceğini anlamıştı. Her iki uçta da bilimin sınırlarını genişletti. Bilinen astronomi araştırmalarına ek olarak, mikroskobik dünyayı araştırmak üzere teknolojiyi içeriye döndürdü.

Padua'daki San Gaetano sergisinde kılavuzum olan genç İtalyan fizikçi Michele Doro, tereddütsüz bir şekilde Galileo'nun mikroskobu icat ettiğini söylediği zaman biraz şaşırdım. İtalya'nın dışında üzerinde fikir birliği bulunan şey, mikroskobun Hollanda'da icat edildiği yolundaydı ama mucidin Hans Lippershey mi, Zacharias Janssen mi (yoksa onun babası mı) olduğu konusunda tartışma vardı. Galileo mikroskobu icat etmiş olsun olmasın (icat etmediği kesin gibidir), mikroskop yaptığı ve küçük ölçekleri gözlemekte kullandığı bir gerçektir. Mikroskop, böcekleri daha önce elde edilememiş ayrıntılarla gözlemekte de kullanılabilirdi. Arkadaşlarına ve diğer bilim insanlarına yazdığı mektuplara bakıldığında Galileo'nun mikroskop ve onun potansiyeli konusunda yazan ilk kimse olduğu görülür. Sergide Galileo mikroskobuyla yapılabilecek sistematik gözlemlerin ilk baskısı vardı: Francesco Setullini'nin 1630 yılında, arılar konusundaki ayrıntılı çalışmasının çizimleri.

Sergide Galileo'nun kemikleri incelediği, büyüklükleri ile yapısal özelliklerinin nasıl değişmeleri gerektiği konusunu araştırdığı da görülüyordu. Görünüşe bakılırsa, diğer kavrayışlarının yanı sıra Galileo ölçeğin öneminden ciddi bir şekilde haberdardı.

Sergi, Galileo'nun bilimin yöntem ve amaçlarını –belirli nesnelerin tanımlamaya çalışan ve kesin kurallar gerektiren nicel, öngörülerde bulunabilen, kavramsal çerçeve– tam olarak anladığı konusunda kuşkuya yer bırakmıyordu. Bu kurallar bir kez dünya hakkında sınavdan geçmiş öngörüler sağladığında, gelecekteki olayları tahmin etmekte kullanılabilir. Bilim bütün gözlemleri açıklayabilen ve öngörebilen en ekonomik yorumu bulmaya çalışır.

Kopernik devriminin öyküsü de bu noktayı çok güzel açıklar. Galileo'nun zamanında büyük gözlemsel astronom Tycho Brahe, güneş sisteminin doğası konusunda farklı -ve hatalı- bir sonuca ulaşmıştı. Brahe, Ptolemaios sistemiyle Kopernik sisteminin melezini savunuyordu. Dünya merkezdeydi. Güneş dünyanın etrafında, diğer gezegenler ise güneşin etrafında dönüyorlardı. (Karşılaştırma için *bkz.* Şekil 10.) *Tycho*'nun evreni gözlemlerle uyuşuyordu ama en şık yorum olmaktan uzaktı. Bununla birlikte bu sistem Cizvitlere göre Galileo'nunkinden daha tatminkârdı çünkü Tycho'nun önermelerine göre –tıpkı Galileo'nun gözlemlerinin ters düştüğü Ptolemaios sisteminde olduğu gibi– dünya hareket etmiyordu.[2]

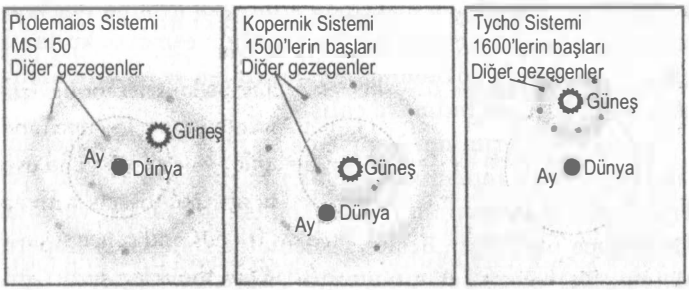
Galileo, Tycho sisteminin eğreti doğasını fark etmiş ve hem doğru, hem de en ekonomik sonuca ulaşmıştır. Daha sonra Newton'ın rakibi olan Robert Hooke, hem Kopernik hem de Tycho kuramlarının Galileo'nun gözlemleriyle uyuştuğuna ama bunlardan birinin daha şık olduğuna dikkat çekmiş, "Evrenin orantıları ve uyumuna göre, Kopernik sisteminin kabullenilmesi gerekir," demiştir.[3] Galileo'nun daha güzel ku-

---

[2] Engizisyon döneminde Romalılar kataloglarına Tycho'nun kitaplarını eklemediler. Bunun nedeni Tycho'nun Lutherci olduğu kadar, hem dünyayı sabit tutan, hem de Galileo'nun gözlemleriyle tutarlı olan sistemini almak istemeleridir.

[3] Hooke, Robert. *An Attempt to Prove the Motion of the Earth from Observations* (1674) Owen Gingerich, *Truth in Science; Proof, Persuasion and the Galileo Affair, Perspectives on Science and Christian Faith*, vol. 55'te geçer.

ramın doğru olduğu yolundaki içgüdüleri doğru çıkmıştır ve sonunda, Newton'ın kütleçekim kuramı Kopernik sisteminin tutarlılığını açıklayıp gezegen yörüngeleri hesaplandığında bu yorum hâkim olmuştur. Tycho Brahe'nin kuramı, tıpkı Ptolemaios'unki gibi çıkmaz bir sokaktı. Yanlıştı. Daha sonraki kuramların içine alınamazdı ve alınmadı da. Etkin bir kuramdan farklı olarak, gerçek kuramdaki hiçbir yaklaştırım, bu Kopernik'le uyumsuz yorumlarla sonuçlanmaz.



ŞEKİL 10 Evreni tanımlayan üç öneri: Ptolemaios, güneş ve ayın diğer gezegenlerle birlikte dünyanın etrafında döndüğünü ileri sürdü. Kopernik (doğru bir biçimde) bütün gezegenlerin güneşin etrafında döndüğünü düşündü. Tycho Brahe ise diğer gezegenlerin güneşin etrafında, güneşinse dünyanın etrafında döndüğü tezini ortaya attı.

Özgün Tycho kuramının başarısızlığının gösterdiği ve Newton fiziğinin doğruladığı gibi, daha ekonomik açıklama öznel ölçütü de başlangıçtaki bilimsel yorumda önemli bir rol oynayabilir. Araştırma, gözlenen yapı ve etkileşmeleri kapsayan yasa ve ilkeleri aramak demektir. Yeterli gözlem sayısına ulaşıldığında, öngörü sahibi bir sistem sağlarken sonuçları ekonomik bir şekilde birleştiren kuram eninde sonunda kazanır. Herhangi bir anda mantık sizi ancak bu kadar yönlendirir. Parçacık fizikçileri, sonuçta evrenin yapısında olduğuna inandığımız şeyleri belirleyecek olan verileri beklerken bunun farkına acı bir şekilde varmışlardır.

Galileo, bilim insanlarının günümüzdeki çalışma biçimlerinin temelinin kurulmasına yardımcı oldu. Onun ve diğerlerinin başlattıkları ilerlemenin anlaşılması, bilimin doğa-

sını, özellikle de dolaylı gözlem ve deneylerin nasıl doğru fiziksel tanımları ortaya çıkardığını ve fizikçilerin günümüzde sorduğu temel soruların iyi anlaşılmasını sağlar. Modern bilim onun, gözlem ve kuramı birbirine uydurma çabaları sırasında ulaştığı, teknoloji, deney, kuram ve matematiksel formülleştirme gibi kavrayışlarının üzerinde yükseliyor. Galileo, evrenin fiziksel tanımını formülleştirirken, bütün bu elemanların birbirleriyle olan ilişkilerinin farkına varmıştı.

Bugün evrenin daha uzak bölgelerini keşfederken, Kopernik devriminin sürmesine olanak vererek ve olası ek boyutlar ya da alternatif evrenler konusunda kuramlar üreterek, daha özgürce düşünebiliriz. Yeni fikirler insanoğlunu hem genel hem de mecazi anlamlarda giderek merkezden daha fazla uzaklaştırmayı sürdürüyorlar. Gözlem ve deneyler sonucunda önerilerimiz ya kabul görecek ya da reddedilecektir.

Galileo'nun kullandığı dolaylı gözlem yöntemleri şimdilerde Büyük Hadron Çarpıştırıcısının ayrıntılı dedektörlerinde etkileyici bir biçimde ifadesini buluyor. Padua'daki sergideki son bir sunuş bilimin modern zamanlara kadar olan evrimini gösterdi, hatta LHC deneylerinden bazı parçalara da değindi. Rehberimiz, LHC'nin şimdiye kadar gözlenenlerden daha küçük uzaklıkları göz önüne seren, şimdiye kadar yapılmış en güçlü mikroskop olduğunu fark edinceye kadar, aklının çok karışık olduğunu itiraf etti.

Biz ölçüm ve kuramda yeni hassaslık bölgelerine girdikçe, Galileo'nun deneylerin nasıl tasarlanacağı ve yorumlanacağı üzerindeki görüşleri yankılanmayı sürdürecektir. Bizler çıplak gözle görülür olmaktan çok uzak olan görüntüler yarattıkça, bilimsel fikirleri deneylerle doğrular veya çürüterek onun düşüncelerini bilimsel yöntemlere uyguladıkça onun mirası da yaşamaya devam edecektir. Padua'daki konferansın katılımcıları, yakında bilginin yeni sınırlarını da aşacağımız umuduyla, yakınlarda neyin bulunabileceği ve bunun ne anlama gelebileceği üzerine düşünmeyi sürdürüyorlar. Bu arada ben, kapıyı çalmaya devam edeceğim.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MADDESEL BİR DÜNYADA YAŞAMAK

2008 Şubatında, her ikisi de Salt Lake City'deki Utah Üniversitesinden olan şair Katherine Coles ile biyolog ve matematikçi Fred Adler, konusu "Kum Tanesindeki Evren" olan, disiplinlerarası bir konferans düzenlediler. Toplantının konusu, değişik konuşmacı ve dinleyici gruplarına çok çeşitli yararlar sağlayabilecek bir tema olan, değişik disiplinlerde ölçeğin rolüydü. Gözlemlerimizi anlamlandırabileceğimiz, organize edebileceğimiz ve yeniden birleştirebileceğimiz farklı büyüklüklerde sınıflara ayırmak, bir fizikçi, bir mimar eleştirmen ve bir İngilizce profesöründen oluşan panelistlerin hepsinin, ilginç katkılarda bulunabileceği bir panelin konusuydu.

Açılış konuşmasında edebiyat eleştirmeni ve şair Linda Gregerson evreni "yüce" olarak niteledi. Bu sözcük evreni bu kadar olağanüstü ve aynı zamanda boş ve beyhude yapan özellikleri aynı anda ifade ediyordu. Çoğu şey bir yandan erişimimizin ve kavrayışımızın ötesindeymiş gibi, öte yandan bizi girip anlamaya cüret etme konusunda boşuna umutlandıracak kadar yakın görünür. Bilgiye bütün yaklaşma yollarının zorluğu, evrenin bu en az erişilebilir yanlarını daha yakın, daha anlaşılır ve sonuçta daha az yabancı hale getirmektir. İnsanlar doğanın kitabını okuyup anlamayı öğrenmek ve öğrendiklerini anlaşılır bir dünyayla bağdaştırmak istiyorlar.

İnsanlar yaşamın ve evrenin gizlerini aralamaya çalışırken farklı yöntemler kullanır ve çelişen amaçlara ulaşmaya çalışır. Her ne kadar ortak, yaratıcı itkileri olsa da sanat, bilim ve din, kavrayışımızdaki boşlukları doldurabilmek için birbirinden farklı araçlar ve yöntemler önerir.

O nedenle, modern fiziğin dünyasına geri dönmeden önce, kitabın bu kısmının geri kalanında çeşitli düşünme biçimleri karşılaştırılıyor, bilim-din çekişmesinin bazı tarihsel bağlamları veriliyor ve bu çekişmenin hiçbir zaman çözüme kavuşmayacak yanlarından en azından biri anlatılıyor. Bu konuları incelerken, bilimin, bilgiye bilimsel yaklaşımın temel bir özelliği olan maddesel ve mekanik önermelerini de keşfedeceğiz. Her olasılıkta, spektrumun uçlarında olanlar fikirlerini değiştirmeyeceklerdir ama bu tartışma yine de bu farkların kökenlerini net bir şekilde tanımlamamıza yardımcı olacaktır.

BİLİNMEYENİN ÖLÇEĞİ

Alman şair Rainer Maria Rilke yüceyle karşılaştığında "Çünkü güzellik, hâlâ zar zor dayanabildiğimiz bir korkunun başlangıcıdır ve bu güzellik bizi sakince yok etmek üzere, bizi aşağıladığı için korkarız,"[1] dediğinde, duygularımızın kalbindeki çelişkiye dramatik bir şekilde parmak basmıştır. Salt Lake City'deki konuşmasında Linda Gregerson yüceye daha üstü kapalı, aydınlatıcı ve daha az göz korkutucu sözlerle değindi. Immanuel Kant'ın "bizim bu evren için, onun da bizim için yaratıldığımıza inandıran" güzellik ile çok daha ürkütücü olan yüce arasında yaptığı ayrımın ayrıntılarına indi. Gregerson insanların nasıl "yüceyi görmekten endişe" duyduğunu, bunun nedeninin insan etkileşmeleri ve algılarına daha az uygun olduğunu anlattı.

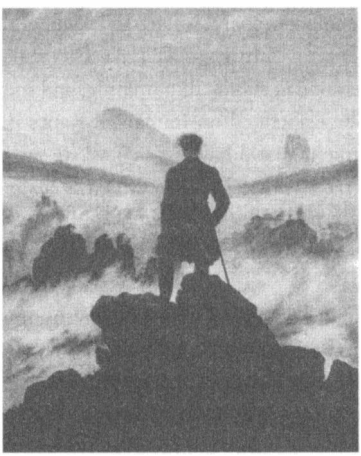
"Yüce" sözcüğü 2009'da, bu temaları konu alan fizik temelli bir opera üzerinde meslektaşlarımla müzik, sanat ve bilim konularında sohbet ederken yeniden ortaya çıktı. Orkestra şefimiz Clement Power'a göre, belirli müzik parçaları ara sıra eş zamanlı korku ve güzellik hissettirmek konusunda başarı sağlıyorlardı. Clement için yüce müzik onun genel algılarının ötesinde, hazır yorum ve açıklamaya karşı direnen bir zirveydi. Yüce, bizim entelektüel kapasitemizin ötesinde olabilecek ölçekler sunar ve sorular sorar. Bu nedenler

[1] Rilke, Rainer Maria, *Duino Elegies* (1922).

de hem korkutucu hem de zorlayıcıdır. Kendimizi rahat hissettiğimiz ölçeklerin alanı giderek büyürken, yücenin erimi de zamanla değişir. Ama verilen herhangi bir anda kolaylıkla kavrayabileceğimizden çok daha küçük veya çok daha büyük ölçeklerdeki davranışlar veya olaylar hakkında yine de fikir sahibi olmak isteriz.

Evrenimiz pek çok bakımdan yücedir. Merak uyandırır ama karmaşıklığıyla ürkütücü hatta korkutucu da olabilir. Yine de bileşenler mucizevi bir şekilde birbirini tamamlar. Sanat, bilim ve din insanların merakını yönlendirmeyi ve kavrayışımızın sınırlarını genişleterek bizi aydınlatmayı amaçlar. Kendilerine özgün, farklı yollarla bireysel deneyimlerin dar sınırlarının ötesine geçmeyi vaat eder ve yücenin dünyasına girip onu anlamamıza olanak verirler (Şekil 11).

Sanat evreni insan algıları ve duygularının süzgecinden geçirerek araştırmamıza olanak sağlar. Duyularımızın dünyaya nasıl erişeceğini ve bu etkileşmeden neler öğrenebileceğimizi sınarken insanların çevremizdeki dünyayı nasıl gözleyeceğini ve nasıl bir rol üstleneceğini vurgular. Sanat bize önsezilerimizin ve insan olarak dünyayı nasıl algıladığımızın daha açık bir görüntüsünü verdiği için fazlasıyla insan fonksiyonudur. Bilimden farklı olarak sanat, insan etkileşmelerinin ötesine geçen, nesnel gerçeklikleri bulmaya çalışmaz. Sanat, dış dünyaya verdiğimiz fiziksel ve duygusal tepkilerle ve bilimin hiçbir zaman ulaşamayabileceği deneyim, gereksinim ve kapasitelerle doğrudan ilgilidir.



ŞEKİL 11 Caspar David Friedrich'in *Wanderer Above the Sea of Fog* (1818) eseri, sanat ve müzikte tekrar tekrar ortaya çıkan, yücenin sembolik bir tablosudur.

Öte yandan bilim, dünya hakkında nesnel ve doğrulanabilir gerçekliği bulmaya

çalışır. Evreni oluşturan elemanlarla ve bu elemanların nasıl etkileştikleriyle ilgilenir. Her ne kadar hukuki araştırmaları kastediyor olsa da, Sherlock Holmes, Dr. Watson'a "Dedektiflik kesin bir bilimdir ya da olmalıdır; aynı soğukkanlı ve duygudan arınmış bir tavırla suçluyu ortaya çıkarma işi tam bir bilimdir ya da öyle olmalıdır. Siz işin içine romantizm karıştırmaya kalkışınca, sanki Öklit'in beşinci önermesine bir aşk öyküsü ya da sevgilisiyle kaçan bir kızın öyküsünü katmışsınız gibi olmuş" tavsiyesinde bulunduğunda bilimin metodolojisini hayranlık verecek bir şekilde, kendi benzersiz tarzıyla tanımlamaktadır. [2]

Sir Arthur Conan Doyle hiç kuşku yok ki Holmes'a evrenin gizlerini ortaya çıkarmanın metodolojisini de aynı şekilde ifade ettirirdi. Bilimin uygulayıcıları gerçekliği önyargısız bir biçimde kavramakta kendilerine güvenebilmek amacıyla, insan sınırlama ve önyargılarının büyük resmi bulanıklaştırmasını önlemeye çalışırlar. Bunu yaparken de mantıktan ve ortak gözlemlerden yararlanırlar. Bilim insanları işlerin nasıl olacağını ve hangi fiziksel çerçevenin gözledikleri şeyleri açıklayabileceğini nesnel bir şekilde ortaya çıkarmaya çalışırlar.

Bununla birlikte, bir ek bilgi olarak birisi Sherlock'a, kanıtları bir araya getirmeye çalışan çoğu dedektif ve bilim insanı gibi tümdengelim değil tümevarım mantığı kullandığını söylemeli. Bilim insanları ve dedektifler gözlemlerden başlayarak, tümevarım mantığıyla bütün ölçülen olaylara uyan tutarlı bir yapı ortaya koymak için uğraşırlar. Kuram bir kez ortaya konduğunda, dedektifler ve bilim insanları dünyadaki diğer olay ve ilişkileri öngörmek için tümdengelim mantığı da kullanırlar. Ama o zamana kadar, en azından dedektifler için, iş bitmiş olur.

Din, pek çok kimsenin, Gregerson'ın evrenin erişilmesi zor yanlarını ilişkilendirmekteki zorluk olarak tanımladığı şey olarak kullandığı bir başka yaklaşımdır. On yedinci yüzyılda yaşamış olan İngiliz yazar Sir Thomas Browne *Religio Medici*'de şöyle yazmıştı: "Aklımı yüksek bir seviyede izle-

[2] Doyle, Conan. ***The Sign of the Four*** (özgün olarak 1890'da Lippincott'un Aylık Dergisinde Bölüm 1'de basılmıştır.

mek için, kendimi bir gizemde kaybetmeyi severim."[3] Browne ve onun gibiler mantık ve bilimsel yöntemin bütün gerçekliğe erişim için yetersiz olduğuna inanırlar, bu konuda dine güvenirlerdi. Bilim ve din arasındaki temel fark, pekâlâ sordukları soruların karakteri olabilirdi. Din, bilimin alanına girmeyen sorular sorar. Din altta yatan bir amacı varsaymak anlamında "neden" diye sorarken bilim "nasıl" diye sorar. Bilim, hiçbir şekilde doğanın temelinde bulunan bir amaca dayanmaz. Bu bizim dine veya felsefeye bıraktığımız ya da tümüyle terk ettiğimiz bir sorgulama hattıdır.

Los Angeles'teki konuşmamızda senaryo yazarı Scott Derrickson, *The Day the Earth Stood Still*'de [*Dünyanın Durduğu Gün*] (1951 yapımının 2008 versiyonunu çekmişti) kendisini günlerce düşündüren bir cümle olduğunu söylemişti. Jennifer Connolly'nin canlandırdığı karakterin, kocasının ölümü hakkında konuşurken "evren rastgeledir" şeklinde yorum yapması gerekiyordu.

Scott bu sözlerden rahatsız olmuştu. Temel fizik yasaları rastgeleliği içerir ama buradaki bütün amaç düzenin kapsanması ve böylece evrenin en azından bazı yanlarının öngörülebilir olaylar olarak ele alınabilmesidir. Scott bana, o sözcüğün çıkarılmasından haftalar sonra aradığı sözcüğün birden aklına geldiğini anlattı: "kayıtsız." Aynı cümleyi TV dizisi *Mad Men*'de duyduğum zaman dikkat kesilmiştim. Başrol karakteri olan Don Draper tarafından kulağa tatsız gelecek bir şekilde söylenmişti.

Ama kayıtsız bir evren kötü bir şey değildir, hatta bu durumda iyi bir şeydir. Bilim insanları dinde çoğu zaman olduğu gibi olayların ardındaki gayeleri aramaz. Nesnel bilim, basit bir biçimde evrene kayıtsız olarak davranmamızı gerektirir. Aslında yansız duruşuyla bilim, çoğu zaman ahlaki değil, fiziksel kökenlerine işaret ederek insanın koşullarından kötülüğün lekesini siler. Örneğin artık akıl hastalıkları ve bağımlılıkların, bunları ahlaki çevreden bağışık hastalıklar kategorisine sokan, "masum" genetik ve fiziksel nedenleri olduğunu biliyoruz.

---

[3] Browne, Sir Thomas. *Religio Medici* (1643, pt 1, alt bölüm 9).

Yine de bilim bütün ahlaki konuları irdelemez (ama bazen iddia edildiği gibi bunları reddetmez de). Bilim evrenin davranışları konusunda soru sormaz veya insan ilişkilerinde ahlak ve maneviyat ögelerini sorgulamaz. Her ne kadar mantıklı düşünüş modern dünyayla ilgilenmekte yardımcı olsa ve günümüzde bazı bilim insanları ahlaki hareketlerin fizyolojik temellerini araştırıyor olsa da, genel anlamda bilimin amacı insanoğlunun ahlaki duruşunu çözümlemek değildir.

Ayrım çizgisi her zaman net değildir, teologlar bazen bilimsel sorular sorabilir ya da bilim insanları yönlerini başlangıçta kendilerine ilham veren dünya görüşlerinden yola çıkarak bulabilirler ki bu, dini bir bakış açısı bile olabilir. Dahası, bilim insanlar tarafından yapıldığı için, bilim insanlarının kuramlarını formülleştirdiği ara evreler çoğu zaman yanıtların var olduğuna inanmak veya belirli inançlar konusundaki duygular gibi, bilimsel olmayan insan içgüdülerini de kapsar. Ve bu durumun iki yönde de işlediğini söylemeye gerek bile yok: sanatçılar ve teologlar da gözlemleri ve dünyayı bilimsel kavrayışı kendilerine kılavuz edinebilirler.

Ama kimi zaman bulanık olabilen bu ayrımlar son amaçlardaki farkı ortadan kaldırmaz. Bilim her şeyin nasıl çalıştığını açıklayabilen, öngörülebilir fiziksel tasviri amaçlar. Bilim ve dinin yöntem ve amaçları yapısal olarak farklıdır; bilim fiziksel gerçeklikle ilgilenirken din insanların psikolojik veya sosyal arzuları veya gereksinimleriyle ilgilenir.

Ayrı amaçlar çatışma kaynağı olmamalıdır, aslına bakılırsa aralarında ilkesel olarak hoş bir işbölümü yaratılmış gibi görünüyor. Bununla birlikte, dinler her zaman amaç ya da huzur sorunlarına sadık kalmazlar. Birçok din evrenin fiziksel gerçekliğiyle de ilgilenme girişiminde bulunur. Bunu sözcüğün tanımında da bulabiliriz. *Amerikan Mirası Sözlüğü* (*American Heritage Dictionary*) bize dinin "evrenin yaratıcı(ları) ve yönetici(leri) olarak itaat edilen ve tapınılan, ilahi veya insanüstü kuvvete veya kuvvetlere inanç" olduğunu söyler. Dictionary.com'da ise din, "Evrenin nedenleri, doğası ve amacıyla ilgili, özellikle insanüstü fail ya da faillerin yaratısı olarak göz önüne alındığında, çoğu zaman ibadet ve

ritüel gözlemleri olan ve insan ilişkilerinin ahlaki taraflarını biçimlendiren ahlaki kodları üreten inançlar bütünü" olarak tanımlanıyor. Bu tanımlardaki din, insanların dünyayla sadece ahlaki, duygusal ya da tinsel ilişkileri değil, dünyanın kendisiyle ilgilidir. Bu durum, dini bakış açılarını da tahrif ve çarpıtmaya açık hale getiriyor. Bilim, dinin açıklamaya çalıştığı bilgi alanlarına girme girişiminde bulunduğunda anlaşmazlıklar çıkmaya mahkûmdur.

Herkesin paylaştığı bilgelik arzusuna karşın, soru sormak ve yanıtları bulmak için farklı yöntemler kullanan insanlar veya farklı amaçları olan insanlar her zaman birbirleriyle iyi geçinmemişlerdir. Gerçeği arayış her zaman uyuşmazlıktan kaçınan bir çizgi boyunca net olarak birbirinden ayrılmamıştır. İnsanlar doğal dünyaya dini inançları uyguladıklarında, doğa gözlemleri geriye itilebilir, o zaman bulunan sonuçları din açıklamak zorundadır. Bu, örneğin serbest iradeyi Tanrı'nın sonsuz gücüyle uzlaştırmış olan kilisenin ilk dönemlerinde olduğu kadar günümüzün dini düşünürleri için de doğrudur.

BİLİM VE DİN BAĞDAŞABİLİR Mİ?

Bilim ve din her zaman bu ikilemle karşı karşıya gelmez. Bilimsel devrimden önce din ve bilim barış içinde bir arada bulunabiliyorlardı. Ortaçağda Roma Katolik Kilisesi kutsal kitapların cömertçe yorumlanmasına rıza göstermişti, bu durum Reform hareketinin kilisenin üstünlüğünü tehdit etmesine kadar sürdü. Kopernik'in, kilisenin evren konusundaki iddialarıyla çelişen güneş merkezli kuramına Galileo'nun bulduğu kanıtlar, özellikle bu anlamda sorun yaratmıştır. Galileo'nun bulduğu sonuçların basılması kilisenin buyruklarına karşı koymakla kalmamış, kutsal kitapları yorumlamakta kilisenin tek otorite olması konusunu da açıkça sorgulamıştır. Bu nedenle ruhban sınıfı Galileo'dan ve iddialarından pek hoşlanmıyorlardı.

Daha yakın tarihlerde de bilim ve din arasında sayısız çatışma ortaya çıkmıştır. Dünyanın, düzensizliğin giderek arttığı bir duruma doğru gittiğini söyleyen termodinamiğin

ikinci yasası, Tanrı'nın ideal bir dünya yarattığına inanan insanları dehşete düşürebilir. Elbette evrim kuramı da son zamanlarda patlattığı akıllı tasarım üzerindeki tartışmalarda olduğu gibi, benzer sorunlar yaratabilir. Gerçi Büyük Patlama kuramını ilk olarak öne süren, Katolik bir papaz olan Georges Lemaitre'dir ama genişleyen bir evren fikri bile, mükemmel bir dünyada yaşadığımıza inanmak isteyenler için rahatsız edici olabilir.

İnancına ters düşmüş bilim insanlarının daha eğlenceli bir örneği İngiliz natüralist Philip Gosse'tur. On dokuzuncu yüzyılda, yerkürenin içinde artık yok olmuş canlıların fosillerinin bulunduğu katmanlarının, dünyanın sadece 6000 yaşında olabileceği fikriyle çeliştiğini gördüğünde bir açmazla karşı karşıya kalmıştı. Bu çelişkisini *Omphalos* adlı kitabında dünyanın aslında genç olduğunu ama hiçbir zaman yaşamamış olan hayvanların "kemikleri" ile "fosillerini" ve (aslında yaşanmamış olan) bir tarihin başka yanıltıcı işaretlerini barındırdığını öne sürerek çözmüştür. Gosse, işleyen bir dünyada hiç olmamış bile olsa, değişim işaretleri görülmesi gerektiğini belirlemiştir. Bu yorum kulağa aptalca gelebilir ama aslında teknik olarak işe yarar. Yine de bu yorumu başkalarının ciddiye aldığı söylenemez. Gosse de dinozor kemiklerinin ortaya çıkardığı can sıkıcı inanç sorunlarından kaçınmak için çalışma alanını deniz biyolojisi olarak değiştirdi.

Çok şükür ki en doğru bilimsel fikirler zamanla daha az radikal görünüşlü ve daha kabul edilebilir oluyorlar. Sonunda bilimsel keşifler üstün geliyor. Bugün hiç kimse güneş merkezli kuramı ya da evrenin genişlemesini sorgulamıyor. Ama kelimesi kelimesine yapılan yorumlar, bunları gereğinden fazla ciddiye alan inanç sahipleri için hâlâ Gosse'unki gibi sorunlar ortaya çıkarabiliyor.

Kutsal metinlerin daha gerçekçi okunması on yedinci yüzyıl öncesinde böyle çelişkilerin ortaya çıkmasını engellemiştir. Öğle yemeğinde konuşurken bilim insanı ve din tarihçisi Karen Armstrong din ve bilim arasında günümüzde gözlenen çelişkilerin nasıl olup da eskiden ortaya çıkmamış

olduğunu açıkladı. O zamanlar dini metinler birçok farklı düzeyde okunuyordu, o nedenle yorumlar tam anlamıyla kelimesi kelimesine ve dogmatik olmadığından, sonuç olarak fazla fikir ayrılığına neden olmuyordu.

Beşinci yüzyılda Augustine bu bakış açısını belirginleştirdi: "Hıristiyan olmayan biri, genelde dünya, gökyüzü ve dünyanın diğer bölümleri, yıldızların hareketleri ve yörüngeleri, hatta boyutları ve uzaklıkları konusunda bilgi sahibidir. Bu bilgiyi elbette mantık ve deneyimle kazanır. Bu nedenle inanmayan birine bir Hıristiyan'ın bu konularda konuştuğunu ve söylediklerini kutsal kitaba dayandırdığını duymak saldırganca ve utanç verici gelir. İnançsız birinin bir Hıristiyanda sadece cehalet görüp gülerek onu aşağılaması yanlıştır. Böylesi can sıkıcı durumlarla karşılaşmamak için elimizden geleni yapmalıyız."[4]

Augustine ustalıkla ve zekice daha ileri de gitmişti. Tanrı'nın kutsal metinlere, insanlara onları bulma zevkini bahşetmek üzere, bilerek bazı bilmeceler de yerleştirdiğini ileri sürmüştü. [5] Bunlara metaforik yorum gerektiren pasajlar ya da muğlak sözcükler özellikleri atfedilmiştir. Augustine görünüşe bakılırsa bu işin mantığı ve mantıksızlığıyla oynamaktan keyif alıyor ve temel çelişkileri yorumlamaya çalışıyordu. Nasıl olur da bir kimse, en azından zamanda yolculuğun olmadığı bir zamanda Tanrı'nın planlarını tam olarak anlayabilir ya da takdir edebilirdi?[6]

Galileo'nun kendisi de Augustine'in bu duruşuna katılıyordu. 1615'te Toskana Grand Düşesi Madame Christina of Lorraine'e yazdığı bir mektupta "Her şeyden önce, gerçek kastedilen anlaşıldığı sürece, İncil'de asla yanlış bir şey bulunmayacağını söylemenin sahte sofuluk olacağını düşünü-

---

4 Augustine. *The Literal Meaning of Genesis*, vol. 1, kitap 1–6, çeviri ve ed. By John Hammond Taylor, S. J (New York: Newmann Press, 1982). Kitap 1, bölüm 19, 38, s. 42–43.

5 Augustine. *On Christian Doctrine*, çev. D. W. Robertson (Basingstoke: MacMillan, 1958).

6 Augustine. *Confessions*, çev. R. S. Pine–Coffin (Harmondsworh: Penguin, 1961).

yorum" demişti.[7] Koprenik'in de benzer şeyler hissettiğini iddia etmiş, onun "İncil'i göz ardı etmediğini ama ortaya attığı doktrin kanıtlanırsa, doğru anlaşıldığı takdirde İncil'le çelişmeyeceğini çok iyi bildiğini" ileri sürmüştü.[8]

Galileo büyük bir şevkle Augustine'den şunları aktararak yazmıştı: "Eğer bir kimse kutsal emirlerin otoritesi ile açık ve belirgin mantığı karşı karşıya getirirse, ne yapmaya çalıştığının farkında değildir; çünkü anlayışının ötesinde olan İncil'in anlamına değil, kendi yorumundaki doğruluğa karşıdır; İncil'de olana değil, kendi içinde bulduğuna ve orada olduğunu hayal ettiği şeylere karşıdır."[9]

Augustine'in kutsal kitaplara daha az dogmatik yaklaşımı, metnin her zaman akılcı (rasyonel) bir anlamı olduğunu varsaymıştır. Dış dünya gözlemlerinde ortaya çıkan herhangi bir görünür çelişki, okuyucunun anlayışsızlığı anlamına geliyordu, bu açıklama açıkça ortaya koymamış bile olsa. Augustine İncil'e ilahi bir vahyin insanoğlu tarafından formülleştirilmesinin ürünü olarak bakıyordu.

İncil'in, yazarının öznel deneyimlerinin yansıması olarak, en azından bölüm bölüm oluşturulması, Augustine'in kutsal kitabı yorumlaması bazı bakımlardan bizim sanat tanımımıza çok yakındır. Augustine'in düşünüş tarzına göre bilimsel keşifler karşısında geri adım atması gerekmezdi.

Galileo bunu anlamıştı. Ona ve benzer şekilde düşünenlere göre, eğer sözcükler uygun şekilde yorumlanırsa, bilimle İncil arasında bir çelişkinin varlığı olası değildi. Görünürdeki çelişkiler bilimsel gerçeklerden değil, insan kavrayışından kaynaklanıyordu. İncil insanlara zaman zaman anlaşılmaz gibi gelebilir, gözlemlerimizle arasında yüzeysel bir çelişki varmış sanısı uyandırabilirdi. Ama Augustine'in yorumuna göre, İncil asla yanlış olamazdı. Dindar biri olan Galileo, mantığı tersini söylese bile, kutsal kitapla ters düşecek bir otorite olduğunu asla düşünmezdi. Yıllarca sonra Papa II.

---

7 Stillman, Drake. *Discoveries and Opinions of Galileo*, (Doubleday Anchor Books, 1957) s. 181.

8 *Age.*, s. 179–180.

9 *Age.*, s. 186

John Paul, Galileo'nun ona karşı çıkanlardan çok daha iyi bir teolog olduğunu söyleyecek kadar ileri gitti.

Ama Galileo keşiflerine de inanıyordu. Dini bir konuşma sırasında son derece öngörülü bir şekilde şu tavsiyelerde bulundu: "Teologlar, güneşin ve dünyanın sabitliğiyle ilgili önermeleri inanca bağlama arzunuzun, sonuçta dünyanın sabit, güneşin hareketli olduğunu söyleyenleri kâfir olarak mahkûm etme riskini ortaya çıkardığına dikkatinizi çekerim. Sonuç olarak böyle bir zamanda dünyanın hareket ettiğinin, güneşin ise sabit olduğunun fiziksel ya da mantıksal olarak kanıtlanabileceğini söylerim.[10]

Hıristiyan dinlerinin her zaman böyle bir felsefeyi savunmadığı açıktır, yoksa Galileo hapse atılmazdı ve bugün gazetelerde akıllı tasarım üzerine tartışmalar okumazdık. Her ne kadar dinle uğraşan birçok kimsenin inançları esnek olsa da, fiziksel olayların katı yorumlanması büyük olasılıkla sorun çıkarmaya adaydır. Kutsal kitapların kelimesi kelimesine yorumlanması, desteklenmesi riskli olan bir bakış açısıdır. Zamanla, teknoloji yeni rejimleri ölçeklendirmemize olanak verdikçe, bilim ve dinin alanları giderek daha fazla kesişecektir. Bu durumda potansiyel çelişkiler yalnızca artabilir.

Bugün, dünyanın dindar nüfusunun büyük bir oranı, inançlarını daha serbestçe yorumlayarak böyle çatışmalardan kaçınmayı amaçlıyor. Bu insanlar zorunlu olarak kutsal kitapların katı yorumlarına veya bir inancın dogmalarına bel bağlamıyorlar. Bir yandan kesin bilimin bulgularını kabul ederken diğer yandan manevi yaşamlarının gereklerini yerine getiriyorlar.

FİZİKSEL İLİŞKİLER

Yapısal sorun bilim ile din arasındaki çelişkilerin herhangi belirli bir sözcük ya da ifadeden daha derin olmasıdır. Herhangi bir metnin kelimesi kelimesine yorumlanması endişesi olmasa bile, dinin dış tanrısal varlık müdahaleleri yoluyla

[10] Galileo, 1632. *Science & Religion: Opposing Viewpoints*, ed. Janelle Rohr (Greenhaven Press, 1988), s. 21.

dünyamız ve varlığımıza ilişkin konularla ilgilendiğini göz önüne alacak olursak, din ve bilim birbiriyle bağdaşmayan mantıksal öğretilerdir. İster dağlara, isterse sizin bilincinize uygulanıyor olsun, ilahi eylemlerin bilim çerçevesinde yeri yoktur.

Yaşamsal karşıtlık, sosyal ya da psikolojik deneyim olarak dinle dış müdahaleler ile bizi veya dünyamızı etkin bir şekilde etkileyen Tanrı'ya dayalı olan din arasındadır. Sonuç olarak, kimileri için tümüyle kişisel bir girişimdir. Böyle hissedenler, benzer şekilde düşünen dini bir organizasyonun bir parçası olmanın getirdiği sosyal bağlantıların veya kendilerini daha büyük bir dünya bağlamında değerlendirmenin psikolojik avantajlarının tadını çıkarıyor olabilirler. Bu sınıftaki insanlar için inanç pratikle ve yaşamda seçtikleri yolla ilişkilidir. Ortak amaçların etrafında şekillenen bir rahatlık kaynağıdır.

Böyle birçok insan kendini dini değerlere önem veren, ruhani kimseler olarak değerlendirir. Din onların yaşamını zenginleştirir, bir topluluk duygusunun yanı sıra, içerik, anlam ve amaç sağlar. Din onların kişisel huşu ve keramet duygularına hitap eder, başkalarıyla ve dünyayla olan ilişkilerinde yardımcı olur. Böyle birçok insan din ve bilimin mükemmel bir biçimde bir arada var olabileceklerini iddia eder.

Ama din genellikle bir yaşam biçimi ya da felsefeden öte bir şeydir. Çoğu dinde insanların tanımlayabilecekleri ve bilimin içerdiğinin ötesine geçen mistik yollarla müdahalede bulunabilen tanrısal varlık kavramı vardır. Böyle bir inanç, bilimsel ilerlemeleri hoş karşılayan, daha açık fikirli, dindar kişilerin inancı bile olsa, kaçınılmaz olarak böyle etkinliklerin bilimin ilkeleriyle nasıl bağdaşacağı konusunda bir çatışmaya neden olur. Ana kuvvet olarak ilk zamanlarda etkilemiş olan Tanrı ya da tanrısal bir kuvvet kabul edilse bile, bilimsel bakış açısından Tanrı'nın yaptıklarının maddesel izini bırakmadan müdahalelerine devam ediyor olması anlaşılamaz bir şeydir.

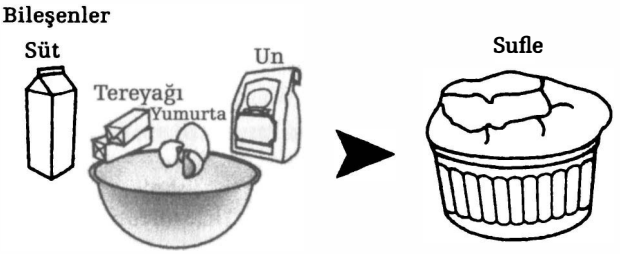
Bu çatışmayı ve bilimin doğasını daha iyi kavramak için, bize bilimin maddesel evrende uygulanabileceğini ve aktif etkilerin fiziksel ilişkileri olduğunu söyleyen bilimin ma-

teryalist bakış açısını daha iyi anlamamız gerekir. Bilimsel bakışla ortaya konan ve Birinci Bölümde sunulan fikir, maddenin bileşenlerini her yapı düzeyinde tanımlayabileceğimizdir. Daha büyük ölçeklerde ne olduğu, daha küçük ölçekteki malzemeden oluşturulur. Altta yatan fiziksel elemanların tümünü bilmekle büyük ölçekler hakkındaki her şeyi mutlaka açıklayamıyor olsak bile, yine de bu bileşenler gereklidir. Olayların bizi ilgilendiren maddi yapısı her zaman bu olayları açıklamak için yeterli olmaz ama fiziksel ilişkiler, bunların varlığı açısından etkilidir.

Bazı kimseler bilimin alanına girmediğini düşündükleri zor soruları yanıtlamak için dine başvururlar. Aslında materyalist bilimsel bakış açısı her şeyi anlayacağımızın garantisi olduğu anlamına gelmez. Sadece temel bileşenleri anlayarak bunu elbette yapamayız. Bilim insanları evreni ölçeklerle bölerken, bütün soruları, hemen yanıtlamamızın olası olmadığını ve her ne kadar temel yapı gerekli olsa da, bu temel yapının bütün sorularımızı mutlaka doğrudan yanıtlayamayacağını fark ettiler. Kuantum mekaniği biliyor olsak bile bir topun dünyanın kütleçekim alanında nasıl hareket edeceğini anlamak için hâlâ Newton yasalarını kullanıyoruz. Bunu atom yapısından başlayarak anlamaya çalışmak çok zor olurdu. Topun atomların varlığına ihtiyacı vardır ama her ne kadar bağdaşabilir olsa da atom yapısı, topun yörüngesini açıklamamıza pek yardımcı olmaz.

Bu ders hepimizin gündelik yaşantımızda karşılaştığımız birçok olay açısından genelleştirilebilir. Her ne kadar madde temel olsa da, temeli oluşturan yapı ayrıntılarını göz ardı ederiz. Bir otomobili sürmek için içinde nelerin olup bittiğini bilmemiz gerekmez. Yemek pişirirken balığın diriliğini kaybetmiş olduğunu, kekin ortasının kuruduğunu, yulaf ezmesinin peltemsi olduğunu veya suflenin kabarmış olduğunu değerlendiririz. Ama eğer moleküler gastronomiyle ilgilenmiyorsak, bu değişikliklere neden olan atom yapısındaki farklılaşmaları hemen hemen hiç önemsemeyiz. Bu yine de maddesiz yiyeceğin pek de tatmin edici olmadığı gerçeğini değiştirmez. Bir suflenin malzemesinin son ürünün görünü-

şüyle hiçbir ilgisi yoktur (Şekil 12). Her şeye karşın yemeğinizi oluşturan ve mutlu bir şekilde göz ardı ettiğiniz bileşenler ve moleküller, o yemeğin varlığının temelidir.



ŞEKİL 12 Bir sufle, onu oluşturan bileşenlerden çok farklıdır. Benzer şekilde, maddenin de onu oluşturan daha temel maddeden çok farklı özellikleri olabilir hatta farklı fizik yasalarına uyuyor gibi görünebilirler.

Benzer biçimde, müziğin ne olduğunu kesin bir biçimde söylemek çok zordur. Ama bu olayı tanımlamak için bulunulan herhangi bir girişim veya ona olan duygusal tepkimiz, neredeyse kesinlikle müziğe atom ve nöronlardan farklı bir düzeyde bakmamızı gerektirir. Kulaklarımız iyi akort edilmiş bir müzik aletinin yaydığı ses dalgalarını aldığında müziği kavrıyor olsak bile müzik, tek tek titreşerek ses üreten hava atomlarından veya kulaklarımızın ve beynimizin fiziksel tepkisinden çok daha fazlasıdır.

Ama materyalist bakış açısı hâlâ geçerlidir ve alt katman esastır. Müzik hava moleküllerinden ortaya çıkar. Kulağın maddesel olaylara mekanik tepkisi ortadan kaldırıldığında müzik de yok olur. (Ve uzayda hiç kimse sizin çığlığınızı duymaz.) Müziği algılayış ve kavrayışımız bir şekilde materyalist tanımın ötesine geçer. Eğer sadece titreşen moleküllere odaklanırsak, insan olarak müziği nasıl algıladığımız bize sorulamaz. Müziği anlamak akor ve armonileri ya da armoninin yokluğunu ölçüp tartmayı da içerir ki, buralarda moleküller veya titreşimlerden hiç söz edilmez. Ama yine de müzik bu titreşimleri ya da onların beyinlerimizde oluşturduğu duyusal izlenimlerin varlığını gerektirir.

Benzer biçimde, bir hayvanın temel parçalarını anlamak, hayatı oluşturan süreci anlamanın yalnızca bir adımıdır. Elimizde bu parçaların bir araya gelerek nasıl bize tanıdık gelen bir olay oluşturduğu konusunda daha kapsamlı bir bilgi olmaksızın her şeyi anlamamız neredeyse kesin olarak olanak dışıdır. Hayat, onu oluşturan temel parçaların ötesinde, *ortaya çıkan* bir olaydır.

Bilincin de büyük olasılıkla bu sınıftan olduğu ortaya çıkacaktır. Bilinç konusunda elimizde kapsamlı bir kuram olmamasına karşın, düşünce ve duyguların kökeni, nereden bakılırsa bakılsın beynin elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde gizlidir. Bilim insanları, her ne kadar bir araya getirip nasıl çalıştığını anlayamamış olsalar bile, beyinde düşünce ve duygularla ilgili maddesel ve mekanik olaylar gözleyebiliyorlar. Bu maddesel bakış dünyamızdaki bütün olayları anlamaya yeterli olmasa bile, son derece gereklidir.

Bilinci en temel birimler anlamında anlayabileceğimizin garantisi yoktur ama eninde sonunda ortaya çıkan yeni ölçeklerde uygulanan kimi daha büyük ve daha karmaşık olayları çözebiliriz. Gelecekteki bilimsel ilerlemelerle bilim insanları beyindeki temel elektriksel ve kimyasal kanalları daha iyi anlayacak, bunun sonucu olarak da temel işlevsel birimleri daha iyi kavrayacaktır. Büyük olasılıkla bilinç, bilim insanlarının doğru bileşik parçaları tanımlayıp inceleyerek tam olarak anlayabilecekleri bir olay olarak açıklanacaktır.

Bu, ilerlemede sadece temel beyin kimyasını inceleyen nörologların söz sahibi olmadıkları anlamına geliyor. Bir bebeğin düşünme sürecinin sizinkinden nasıl farklı olduğunu araştıran gelişimsel psikologlar[11] veya insanın düşüncesinin köpeğinkinden ne farkı olduğunu araştıranların da bu ilerlemeye katkıda bulunma şansları yüksektir. Nasıl müzik tek bir şey olmayıp birçok düzey ve katmandan oluşuyorsa, benim tahminim bilincin de böyle olduğu yolundadır. Daha yüksek düzeyde sorular sorarak hem bilincin kendisi hem de daha ileri gidip yapıtaşlarını, yani beynin kimyası ve fiziğini

[11] Örneğin *bkz.* Gopnik, Alison. *The Philosophical Baby* (Picador, 2010).

incelemek istediğimizde hangi soruları sormanın daha doğru olduğu konularında fikir sahibi olabiliriz. Tıpkı güzel bir suflede olduğu gibi, ortaya çıkan sistemleri de anlamalıyız. Yine de hiçbir insan düşünce veya eylemi, bedenimizin fiziksel bir bölümünü etkilemeden oluşamaz.

Her ne kadar bilinç kuramından belki daha az gizemli olsa da fizik, çeşitli ölçeklerdeki olayları inceleyerek ilerler. Fizikçiler benzeşmeyen boyutları ve farklı kümeleri incelerken farklı sorular sorarlar. Mars'a bir uzay aracı gönderilmesi konusunda sorduğumuz sorular, kuarkların nasıl etkileştiği konusunda sorduğumuz sorulardan çok farklıdır. Her ikisi de kurallara uygun sorulardır ama bunlardan birine bakarak diğerini tahmin edemeyiz ya da ona ulaşamayız. Bununla birlikte, uzaya gönderilen madde, sonuçta anlamayı umduğumuz temel bileşenlerden oluşur.

Zaman zaman bazı kimselerin, irdeleyemeyeceğimiz ya da irdelemeyeceğimiz olayları işaret ederek, parçacık fizikçilerinin benimsediği materyalist bakış açısıyla indirgemeci olarak alay ettiklerini duyuyorum. Bunlar kimi zaman beynin fonksiyonu olan fiziksel ya da biyolojik süreçler veya fırtınalar ve kimi zaman da insanların söylediklerine şaşırdığım ama hiçbir zaman irdelemeyeceğimize emin olduğum ruhsal olaylardır. Fizik kuramları hipotezlerini kurduğumuz yapıları en büyük ölçeklerden en küçüklerine kadar irdeler veya deneysel olarak çalışır. Zamanla gerçekliğin bir katmanının diğerinden nasıl çıkarılacağı konusunda tutarlı bir betimlemeye ulaşırız. Bu gerçeklik için temel bileşenler gereklidir ama iyi bilim insanları bildiklerinin kendi başlarına her şeyi açıklayacağını öne sürmezler. Açıklamalar daha ileri araştırmalar gerektirir.

Sicim kuramı kuantum kütleçekimi açıklıyor olsa bile, "her şeyin kuramı" berbat bir yanlış adlandırma olarak kalacaktır. Fizikçilerin her şeyi açıklayan, böyle bir temel kurama ulaşmaları her ne kadar olanaksız olsa da, böyle bir durumda daha büyük ölçeklerde, sadece temel bileşenleri bilerek yanıtlayamayacağımız pek çok soruyla karşı karşıya kalırız. Ancak bilim insanlarının basit sicimlerle tanımlananlardan

daha büyük ölçeklerde ortaya çıkan olayları anlamaları durumunda süper iletken malzemeyi, okyanustaki dev dalgaları ve hayatı anlamayı ümit edebiliriz. Bilim yapma sürecinde olayları ölçeklerine göre ele alacağız. Eğer her bileşenin izini sürmek istiyorsak, nesneleri ve olayları ele alabileceğimizden daha büyük ölçeklerde inceleyeceğiz.

Her ne kadar farklı soruları ele almak için gerçekliğin farklı katmanlarına odaklansak da, materyalist bakış açısı birinci derecede önemli değildir. Fizik ve öteki bilimler dünyada var olan maddenin incelenmesine dayanır. Bilimin temeli nesnelerin mekanik etkileşimi ve bunların etkileridir. Herhangi bir şey, üzerine kuvvet etkidiği için hareket eder. Bir makine işlevini enerji tüketerek yerine getirir. Gezegenler güneşin etrafında onun kütleçekim etkisiyle dolanırlar. Bilimsel bakış açısında göre, her ne kadar nasıl işlediğini hâlâ bilmiyor olsak bile, sonuçta insan davranışı da kimyasal ve fiziksel süreçleri gerektirir. Ahlaki seçeneklerimiz, sonuçta en azından kısmen de olsa, genlerimize, dolayısıyla da evrimsel geçmişimize bağlıdır. Hareketlerimizde fiziksel terkibin bir rolü vardır.

Bütün yaşamsal soruları bir anda cevaplayamayabiliriz ama bilimsel bir tanımda alt katman her zaman gereklidir. Bir bilim insanı için gerçekliğin tanımının altında maddesel mekanik elemanlar yatar. Buna ilişkin fiziksel bağlantılar dünyadaki bütün olaylarda birinci derecede önemlidir. Her şeyi açıklamakta yeterli olmasa bile, gereklidirler.

Bu materyalist bakış açısı bilimde iyi işler. Ama din dünyamızdaki insanların nasıl davrandığını açıklamak için Tanrı'ya ya da bir başka dış varlığa başvurduğunda kaçınılmaz olarak mantıksal açmazlar ortaya çıkar. Sorun, evrenin ya da insanın etkinliğini kontrol eden etmenler olarak hem bilime hem de Tanrı'ya veya herhangi bir dış ruha taraftar olmak için, bir insanın bu varlığın hangi noktalarda müdahalelerde bulunduğu ve bunu nasıl yaptığı sorusunu ele almak zorunda olmasıdır. Materyaliste, bilimin mekanik bakış açısına göre, eğer davranışımızı etkileyen genler bir türün evrilmesine olanak veren rasgele mutasyonların sonucu ise,

Tanrı bizim davranışlarımızdan ancak, görünüşe göre rasgele olan mutasyonun ortaya çıkması için fiziksel olarak müdahalede bulundu ise sorumlu olabilir. Bugün etkinliklerimizi yönlendirmek için, gelişmemizde kritik rol oynayan, görünüşe göre rasgele olan mutasyonları etkilemek zorundadır. Eğer etkilediyse, bunu nasıl yaptı? Bir kuvvet mi uyguladı yoksa bir enerji mi aktardı? Tanrı beyinlerimizdeki elektriksel süreçleri manipüle mi ediyor? Bizi belirli bir biçimde davranmaya mı itiyor veya belirli bir bireyin hedefine ulaşmasını engellemek için o bireye özel bir fırtına mı yaratıyor? Daha yüksek düzeyde, eğer Tanrı evrene bir amaç sağlıyorsa bu arzusunu nasıl uyguluyor?

Sorun sadece bu kadarının saçma görünmesi değil, bu soruların bilebildiğimiz kadarıyla bilimle tutarlı, akla uygun bir cevabının olmaması. Bu "Tanrı sihri" acaba nasıl işleyebilir?

Tanrı'nın onlara yardım etmek için veya bir noktada dünyayı değiştirmek üzere müdahalede bulunabileceğine inanmak isteyenlerin bilimsel olmayan düşünceye başvurmak zorunda kalacağı açıktır. Bilim bize bir şeyin neden olduğunu söylemiyor olsa bile, biz o şeylerin nasıl hareket ettiğini ve etkileştiğini biliriz. Eğer Tanrı'nın fiziksel etkisi yoksa bir şey hareket etmez. Sonuçta beynimizde hareket eden elektrik sinyallerine bağlı olan düşüncelerimiz bile etkilenmez.

Eğer böyle dış etkiler bir dinde yapısal olarak varsa, o zaman mantık ve bilimsel düşünce, bu etkinin bir iletim mekanizması olması gerektiğini söyler. Yine de insanın hareketini ve davranışını veya dünyanın kendisini etkileyen görünmez ve saptanamaz bir kuvveti içeren dinsel veya ruhsal bir inanç, inanç sahibinin inanmak ve mantıktan vazgeçmek dışında bir seçeneğinin olmadığı ya da buna aldırmadığı bir durum yaratır.

Bu uyuşmazlık yöntemlerdeki ve anlayıştaki kritik, mantıksal bir kördüğüm olarak dikkatimi çekiyor. Stephen Jay Gould'a atfedilen "nonoverlapping magisteria", yani deneysel evreni betimleyen bilim ve ahlaki sorunlara uzanan din de örtüşür ve bu ele avuca sığmaz çelişkiyle yüzleşir. Her

ne kadar inananlar bu ikincisini dine havale ediyor olsalar ve bilim insanlığı ilgilendiren bazı derin ve temel sorulara henüz cevap bulamamış olsa bile, madde ve hareketten söz ettiğimizde –ister beynin içinde isterse gök cisimlerinde olsun– bilimin alanına girmişiz demektir.

AKILCI ÇATIŞMALAR VE MANTIKSIZ KAÇIŞ KOŞULLARI

Yine de uyuşmazlık bütün inananlar için mutlaka sorun oluşturmaz. Uçakla Boston'dan Los Angeles'e giderken moleküler biyoloji eğitimi almış olup evrim konusunda bazı şaşırtıcı görüşleri olan, genç bir aktörün yanında oturuyordum. Aktörlük kariyerine başlamadan önce, üç yıl boyunca şehir okullarında bilim eğitiminin eşgüdümünde çalışmıştı. Onunla karşılaştığımda Başkan Obama'nın göreve başlama töreninden dönüyordu. Coşku ve iyimserlikle doluydu ve dünyayı daha iyi bir yer haline getirmek istiyordu. Tutkusu, bir yandan başarılı aktörlük kariyerini sürdürürken bir yandan da dünya çapında bilim ve bilim metodolojisi öğreten okullar açmaktı.

Konuşmamız sürpriz bir noktaya geldi. Planladığı ders programında din üzerine en az bir ders vardı. Şimdiye kadar din, hayatında önemli bir rol oynamıştı, o da insanlara kendi kararlarını vermeleri konusunda güvenmişti. Ama en büyük sürpriz bu değildi. Sözlerine insanoğlunun maymundan değil, Âdem'den geldiği yolundaki inancını açıklayarak devam etti. Biyoloji eğitimi almış birinin nasıl olup da evrime inanmadığını anlamamıştım. Bu tutarsızlık, daha önce sözünü ettiğim, maddesel evrene Tanrı'nın yaptığı müdahalelerin ortaya koyduğu ihlallerin de ötesine geçiyordu. Bilimi nasıl öğrenebilir, mantığı nasıl anlayabilirdi; bunlar insanın –artık insan derken neyi kastediyorsa– her şeyi bir araya getirmekte kullandığı araçlar değil miydi? Onun zihninde "insanın" mantıksal sonuçları bundan ibaret değildi.

Bu fikir alışverişi bilim ve dinin uyuşmazlığına ilişkin soruları cevaplamakta zorlanacağımız yolundaki görüşümü destekliyordu. Deneye dayanan ve mantıktan kaynaklanan

bilim ile inancın açığa vurucu doğası gerçekliğe ulaşmanın birbirinden tümüyle farklı yollarıydı. Bir çelişkiyi ancak kurallarınız mantıktan kaynaklanıyorsa fark edebilirsiniz. Mantık çelişkileri çözmeye çalışırken dini düşüncelerin çoğu bu çelişkilerden beslenir. Eğer açığa vurucu gerçekliğe inanıyorsanız, bilimin kurallarının dışına çıkmışsınız demektir, dolayısıyla ortada hiçbir çelişki olamaz. İnanan biri dünyayı, kendi bakış açısına göre bilimle uyumlu olan, "Tanrısal mucizeyi" kabul eden, mantığa ters bir yolla yorumlar. Veya benim uçaktaki komşum gibi, çelişkiyle birlikte yaşamaya istekli olmak gibi bir karar verebilir.

Ama her ne kadar Tanrı'nın mantıksal çelişkilerden kaçınma yolları varsa da, bilimin yoktur. Dünyanın işleyişi hakkında bilimsel olduğu kadar dini açıklamaları kabul etmek isteyen din taraftarları, bilimsel bulgularla görünmez, algılanamaz etkiler arasında mantıksal düşünceyle kapatılamayacak, derin bir uçurumla karşı karşıya gelmeye mahkûmdur. İnanç adına geçici olarak mantıksal yorumları terk etmek ya da çelişkiyi görmezden gelmekten başka seçenekleri yoktur.

Her iki şekilde de hâlâ başarılı bir bilim insanı olmak mümkündür. Ve gerçekten de din değerli psikolojik yararlar da sağlayabilir. Ama dini bütün bir bilim insanı, gündelik yaşamında inancının bilimsel zorluklarıyla yüzleşmek zorundadır. Beynimizin dini bölümü, bilimsel bölümü gibi çalışamaz. Sonuçta uyuşmazlık içindedirler.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YANITLARI ARAMAK

"Cennetin kapısını çalmak" deyimini ilk kez 1987'de California, Oakland'de Grateful Dead grubuyla verdiği konser sırasında Bob Dylan'ın söylediği şarkıda duymuştum. Kitabımın adında kastedilenin, Dylan ve Jerry Garcia'nın hâlâ zaman zaman kafamın içinde söylediklerini duyduğum şarkının sözlerinden farklı olduğunu söylemeye gerek bile yok. Her ne kadar evirip çevirmiş olsam da, bu deyim, İncil'deki kaynağından da farklı anlamlar içeriyor. Matta İncil'i şöyle diyor: "İsteyin, size verilecektir; araştırın, bulacaksınız; kapıyı çalın, size açılacaktır: Her isteyen alır; arayan bulur; kapı, çalana açılır."[1]

Bu sözlere göre insanoğlu bilgiyi arayabilir ama en son amaç Tanrı'ya ulaşmaktır. İnsanoğlunun dünyayı merak etmesi ve etkin bir biçimde araştırması yalnızca İlahi Varlığa ulaşmanın adımlarıdır, evrenin kendisi ikincil derecede önemlidir. Yanıtlar hazır olabilir ya da inanan biri yanıtları çok daha etkin bir biçimde arayabilir ama Tanrı olmaksızın bilginin peşine düşmenin bir değeri yoktur ya da o bilgi ulaşılamazdır. İnsanlar bunu kendi başlarına yapamazlar; son söz sahibi ya da belirleyici olamazlar.

Kitabımın adı bilimin farklı felsefe ve amaçlarına gönderme yapıyor. Bilimin edilgen kavrama ve inançla ilgisi yoktur. Evrenin gerçekliği kendi içinde bir amaçtır. Bilim insanları etkin olarak bilginin kapısına, bildiklerimizin sınırındaki bölgeye yaklaşırlar. Soru sorarız, araştırırız, gerçeklik ve mantık bakış açımızı değiştirmemizi söylediğinde değiştiririz. Sadece deneylerle doğrulayabildiğimiz sonuçla-

[1] Matta 7:7-8

ra ya da deneysel olarak doğrulanmış hipotezlerin çıkarımlarına güveniriz.

Bilim insanları evren konusunda çok şey bilir ama geride daha anlaşılması gereken çok şey olduğunu da biliriz. Pek çok şey şu andaki deneylerin, hatta hayalini kurduğumuz deneylerin bile erişiminin ötesindedir. Ama bu sınırlamalarımıza karşın her yeni keşif gerçekliğe doğru yükselen merdivende bir basamak daha yükselmemizi sağlıyor. Kimi zaman tek bir basamak, evreni kavrayışımız üzerinde devrimci bir etki yapabilir. Tutkulu isteklerimizin her zaman yerine gelmediğini itiraf etsek bile, bilim insanları teknolojideki ilerlemeler dünyanın daha çok sayıdaki bileşeninin görüş alanımıza girmesini sağladıkça, sarsılmaz bir kararlılıkla daha zengin bir kavrayışın peşine düşüyorlar. O zaman biz de, yeni ulaşılan bilgiyi barındırabilen, çok daha kapsamlı kuramları araştırıyoruz.

Bu durumda can alıcı soru şudur: kimin yanıtları arama kapasitesi veya hakkı vardır? İnsanlar kendi araştırmalarını mı yapmalı yoksa daha yüksek otoritelere mi güvenmelidirler? Kitabın bu bölümünde, fiziğin dünyasına girmeden önce bilimsel ve dini bakış açıları karşılaştırılarak bir sonuca varılıyor.

SORUMLU KİM?

On yedinci yüzyılda bilimsel düşüncenin yükselişinin, Hıristiyanların bilgiye yaklaşımını paramparça ettiğini ve farklı kavramsal yapılar arasında günümüze kadar gelen çatışmalara neden olduğunu gördük. Ama bilimle din arasındaki ikinci bölünme kaynağı otorite konusundaydı. Kilisenin gözünde Galileo'nun kendi hakkında düşünebildiğini ve evreni bağımsız olarak anlama kapasitesine sahip olduğunu öne sürmeye cüret etmesi, Hıristiyan dini inancından büyük bir sapışı temsil ediyordu.

Galileo bilimsel yönteme öncülük ederken, kendi gözlemlerini yapmak ve yorumlamak adına otoriteye körü körüne itaati reddediyordu. Bakış açısını gözlemlerle uyumlu olacak şekilde değiştirebilirdi. Bunu yaparken Galileo, dünya

konusundaki bilgiye ulaşmak için, doğayı daha iyi kavramaya ve onun üzerinde etkili olmaya yönelen, yepyeni bir yol açtı. Ama elde ettiği belli başlı ilerlemeleri yayımlamasına karşın (daha doğrusu bu nedenle) hapse atıldı. Güneş sistemi konusunda ulaştığı ve dünyanın merkezde olmadığını öne süren sonuç konusundaki açıklığı, zamanın dini güçleri ve onların kutsal metinler hakkındaki kesin yorumları açısından bir tehdit oluşturuyordu. Galileo ve bilimsel devrimi hazırlayan öteki bağımsız düşünce adamlarıyla doğanın, kökenlerin ve dünyanın davranışının herhangi bir resmi yorumu, çürütülebilir hale geliyordu.

Galileo'nun zamanlaması özellikle kötüydü çünkü öne sürdüğü radikal görüşler Reform karşıtlarının altın çağına, Katolik Kilisesinin Protestan mezhebine müdahalesine denk gelmişti. Katolik mezhebi kendini, o zamanlar Martin Luther'in öncülük yaptığı, kutsal metinlerin kilisenin yorumlarını sorgusuz sualsiz kabul etmek yerine doğrudan metinlere bakmak yoluyla yorumlanması düşüncesi nedeniyle tehdit altında görüyordu. Galileo, Luther'in fikirlerini desteklemekle kalmadı bir adım da öteye gitti. Otoriteyi reddetti ayrıca dini metinlerin yorumu konusunda Katoliklikle açıkça ters düştü.[2] Onun modern bilimsel yöntemleri, sonuçları açıklayabilecek en ekonomik hipotezlerle yorumlamaya çalıştığı, doğanın doğrudan gözlemlerine dayanıyordu. Galileo Katolik Kilisesine bağlı olmakla birlikte, araştırmacı fikir ve yöntemleri ruhban sınıfının gözünde Protestan düşüncesiyle çok fazla benzerlik gösteriyordu. Galileo yanlışlıkla dini bir bölge elde etme savaşına girmişti.

Ne gariptir ki, Reform Karşıtları yine de, istemeden de olsa, Kopernik'in güneş merkezli evreninin kabullenilmesine zemin hazırlamışlardı. Katolik Kilisesi kendi takviminin kutlamaların yılın uygun dönemlerinde yapılacağı ve törenlerin uygun biçimde sürdürüleceği ölçüde güvenilir olduğunu kabul ettirmek istiyordu. Kopernik, Kilisenin Julian takviminde gezegenlerin ve yıldızların hareketleriyle daha uyumlu

[2] Blackwell, Richard J, *Galile, Bellarmine, ve the Bible* (University of Notre Dame Press, 1991).

hale getirilmesi amacıyla reform yapmaya çalışmaları için başvurduğu gökbilimcilerden biriydi. Onu gözlem yapmaya iten ve bu radikal sonuçlara ulaşmasını sağlayan, işte bu araştırmaydı.

Luther'in kendisi Kopernik'in kuramını kabul etmedi. Ama Galileo'nun daha ileri gözlemlerine ve Newton'ın kütleçekim kuramı sonradan doğrulayıncaya kadar zaten hiç kimse kabul etmiyordu. Bununla birlikte Luther, astronomi ve tıpta doğanın açık fikirli yorumuyla tutarlı bulduğu diğer ilerlemeleri kabul ediyordu. Büyük bir bilimsellik savunucusu değildi ama Reform hareketi yeni görüşlerin tartışılıp kabul edildiği bir atmosfer ve modern bilimsel yöntemlerin cesaretlendirildiği bir düşünüş şekli yaratmıştı. Matbaanın gelişmesiyse dini olduğu kadar bilimsel fikirlerin de daha hızlı yayılmasını sağlayarak, kısmen de olsa Katolik Kilisesinin otoritesinin zayıflatılmasına yardımcı oldu.

Luther, seküler bilimsel uğraşların da potansiyel olarak dini olanlar kadar değerli olduğunu savunuyordu. Büyük gökbilimci Johannes Kepler gibi bilim insanları da böyle düşünüyordu. Kepler, daha önce Tübingen'de hocası olan Michael Maestlin'e şöyle yazmıştı: "Teolog olmak istiyordum, uzun bir süre huzursuzluk içinde yaşadım. Şimdi ise Tanrı'nın astronomideki çabalarımı kutsadığını görüyorum."[3]

Bu bakış açısından bilim, Tanrı'nın ve onun yarattıklarının harikulade niteliklerini, dünyanın işleyişinin ne kadar zengin ve çeşitli olduğu gerçeğini kabullenmek demekti. Bilim Tanrı'nın akılcı ve düzenli evrenini daha iyi anlamanın ve dahası, bu yolla insanlığa hizmet etmenin bir yolu olmuştu. Özellikle dini reddetmekten uzak olan ilk modern bilim insanları, araştırmalarını Tanrı'nın yarattıklarının kutsanması şeklinde nitelendiriyorlardı. Doğanın kitabına ve Tanrı'nın kitabına ahlakı yükseltme ve aydınlanmanın yolları olarak bakıyorlardı. Bu bakışa göre doğanın incelenmesi bir tür şükran ve yaradanın kabullenilmesiydi.

---

[3] Gerald Holton'un "Johannes Kepler's Universe: Its Physics ve Metaphysics," *American Journal of Physics* 24 (Mayıs 1956): 340-351 adlı makalesinde geçiyor.

Bu bakış açısına çok daha yakın zamanlarda da ara sıra tanık oluyoruz. Pakistanlı fizikçi Abdus Salam, parçacık fiziğindeki Standart Modelin geliştirilmesine yaptığı katkılardan dolayı layık görüldüğü 1979 Nobel Fizik Ödülünü alırken yaptığı konuşmada, "Peygamberimiz, kadın olsun erkek olsun bütün Müslümanlara bilgi ve bilimi aramayı zorunlu kılmıştır. İlim Çin'de bile olsa gidip öğrenmelerini öğütlemiştir. Bunu söylerken dini değil, bilimsel bilgiyi amaçlıyor ve bilimsel arayışta uluslararasılığı vurguluyordu," demişti.

İNSANLAR NEYE ÖNEM VERİRLER?

Bir önceki bölümde tanımlanan temel farklılıklara karşın, bazı dini inanç sahipleri beyinlerinin dini ve bilimsel kısımlarını ayrı ayrı kullanmak ve doğayı anlamanın Tanrı'yı anlamanın bir yolu olduğu şeklindeki bakışı sürdürmekten mutludur. Etkin olarak bilimle uğraşmayan pek çok kimse de bilimin özgürce gelişmesinden mutlu olur. Yine de Amerika Birleşik Devletleri ve dünyanın başka bölgelerindeki insanlar için bilimle din arasındaki anlaşmazlık sürüyor. Bu anlaşmazlık zaman zaman şiddete yol açıyor veya en azından eğitime müdahale ediyor.

Dini otoritenin bakış açısından dine bilim gibi meydan okuyanlar, kimileri gerçeklik ve mantıkla ilgisi olmayan pek çok nedenle kuşku altındadır. Sorumlular her zaman kendi görüşlerini doğrulamak üzere, son koz olarak Tanrı'yı yardıma çağırabilir. Herhangi bir türden bağımsız araştırma açıkça potansiyel bir tehlikedir. Ayrıca Tanrı'nın sırlarını gözetlemek kilisenin ve seküler yöneticilerin moral gücünü zayıflatabilir. Böyle bir sorgulama alçak gönüllülüğü ve toplumdaki sadakati etkileyebilir hatta Tanrı'nın öneminin unutulmasıyla bile sonuçlanabilir. Dini otoritelerin zaman zaman endişelenmelerinde şaşılacak bir şey yok.

Peki, bireyler nasıl olur da böyle bir bakış açısına yönelirler? Bana göre gerçek soru din ve bilim arasındaki farklar değildir. Bunlar, bir önceki bölümde gördüğümüz gibi mantıklı bir biçimde tanımlanabilir. Yanıtlanması önemli olan sorular şunlardır: İnsanlar buna neden bu kadar önem

veriyor? Neden bu kadar çok insan bilimsel ilerlemeden ve bilimle uğraşanlardan kuşkulanıyor? Otorite konusundaki çatışma neden bu kadar sık patlak veriyor ve neden günümüzde bile sürüyor?

Bir nedenle Harvard ile MIT üyeleri arasında bir tartışma dizisi olan Bilim, Sanat ve Din konulu Cambridge Yuvarlak masasının elektronik posta listesine girmişim. Katıldığım ilk toplantı –ki konusu on yedinci yüzyılda yaşamış olan şair George Herbert ve Yeni Ateistlerdi– bu soruların bazılarına ışık tutar nitelikteydi.

Edebiyat kökenli hukuk profesörü olan Stanley Fish, toplantının çağrılı konuşmacısıydı. Konuşmasına Yeni Ateistlerin görüşlerini ve dini inançla olan husumetini özetleyerek başladı. Yeni Ateistler, aralarında Christopher Hitchens, Richard Dawkins, Sam Harris ve Daniel Dennett'in de olduğu, çok satan kitaplarında dine kaba ve kritik sözlerle saldıran yazarlardı.

Görüşlerini kısaca açıkladıktan sonra Fish konuşmasını bu yazarlardaki din anlayışının yokluğunu eleştirerek sürdürdü. Bu görüş, dinleyicilerin çoğunluğunun fikirleriyle örtüşüyor gibiydi. Bense inanmayan biri olarak toplantıdaki azınlığın içindeydim. Fish Yeni Ateistlerin, dini inanç sahiplerinin mücadele etmek zorunda kaldıkları özgüven zorluklarını göz önüne almış olsalar, davalarının daha güçleneceğini ileri sürdü.

İnanç, etkin sorgulama gerektirir ve birçok din, kendisine itaat edenden bunu ister. Ama aynı zamanda pek çok din –ki aralarında Protestanlığın bazı kolları da vardır– bağımsız iradenin reddedilmesini veya bastırılmasını da ister. Calvin'in sözleriyle: "İnsanın doğası yanıltıcı kendini beğenmişliğe eğilimlidir. O nedenle, Tanrı'nın gerçekliği, kendimizi sorgularken şunu aramamızı gerektirir: kendi yeteneklerimize güvenmekten mahrum edecek, böbürlenmelerimizden yoksun bırakacak ve teslimiyete yöneltecek türden bilgiye gerek duyarız."[4]

---

[4] Calvin, John. *Institutes of Christian Religion*, çev. F. L. Battles in *A Reformation Reader*, Denis R. Janz, ed. (Minneapolis: Fortress Press, 1999).

Bu özel sözler öncelikle ahlaki sorunlara uygulanıyordu. Ama dışarıdan kılavuzluk gerektiği inancı bilimsel değildir ve çizginin çekileceği yeri belirlemek zordur.

Bilgilenmek arzusu ve insan gösterişine güvensizlik arasındaki mücadele, aralarında Fish ve Yuvarlak Masa katılımcılarının tartıştığı Herbert'in şiirleri de olmak üzere, dini edebiyatın her aşamasında yankılanır. Cambridge konuşmaları Herbert'in bilgiyle ve Tanrıyla olan ilişkileri hakkındaki iç çelişkilerinin ayrıntılarına girdi. Herbert'e göre kendiliğinden olan kavrayış, günahkâr bir gururun simgesiydi. Benzer uyarılar John Milton'ın yazılarında da vardır. Her ne kadar sağlıklı entelektüel soruşturmanın gerekliliğine inanmış olsa da, yine *Paradise Lost*'ta [*Yitik Cennet*], Raphael'in Adam'a, yıldızların hareketleri konusunda çok meraklı olmamasını söyletmiş, çünkü "onların sizin inancınıza ihtiyacı yoktur" dedirtmiştir.

Şaşırtıcı olan (en azından benim için) şu ki, yuvarlak masa olayına katılan Harvard ve MIT profesör grubunun dikkate değer temsilcileri, birisinin kendi kişiliğini bastırarak kendini daha büyük bir kuvvetin egemenliğine bırakmanın iyi bir şey olduğuna inanarak Herbert'in denemelerinin bir tür feragat olduğunu kabul ediyorlardı. (Harvard ve MIT profesörlerini tanıyan biri bu sözüm ona egonun inkârı konusunda da şaşkınlık yaşayabilirler.)

Belki de insanların kendi gerçekliklerine erişip erişemeyecekleri sorusu, din/bilim çekişmesinin merkezinde yatan konu olabilir. Bilime karşı bugün işitmekte olduğumuz olumsuz yaklaşımların kısmen de olsa, gerçekte Herbert ve Milton tarafından ifade edilen uç inançlardan kaynaklanıyor olması mümkün müdür? Her şeyi kimin çözeceği ve kimin çözümlerine güvenmemiz gerektiğini tartıştığımız kadar, dünyanın nasıl bu duruma geldiğini tartıştığımızdan kuşkuluyum.

Evren bizi alçak gönüllü olmaya iter. Doğa en ilginç gizlerinden çoğunu bizden saklar. Ama bilim insanları bu gizleri çözeceğimize inanacak kadar kibirlidir. Cevapları aramak kâfirlik midir yoksa sadece küstahlık mıdır? Nobel Ödüllü fizikçi David Gross kadar Einstein da bilim insanlarını, doğa-

nın işleyişi konusundaki önemli soruların yanıtlarını bulabilmek için Tanrı'yla güreştiklerini düşünen insanlar olarak tanımlamıştır. David elbette bunu edebi anlamda (ve elbette tevazuyla) kastetmemiştir. Üzerinde yaşadığımız dünyaya ait her şeyi sezme konusundaki mucizevi yeteneğimizin farkına varmıştı.

Mizahta, filmlerde ve günümüzün politikalarının çoğunda gördüğümüz üzere, her şeyi kendi adımıza çözme yeteneğimize güvenmeme mirası diğer hususlarda da sürer. Samimiyet ve gerçeklere saygı, alaycı ve çoğunlukla anti-entelektüel çağımızda bir anlamda modası geçmiş kavramlar olmuştur. Bazı kimselerin bilimin başarısını inkâr etmek için yaptıkları şaşırtıcı olabilir. Bir zamanlar bir toplantıda son derece cesurca, bilime inanmadığı konusunda ısrar eden bir kadınla tanışmıştım. Ona on birinci kata kadar benim de kullandığım asansörü kullanıp kullanmadığını sordum. Telefonu çalışıyor muydu? Elektronik davet kendisine nasıl ulaşmıştı?

Çoğu kimse hâlâ gerçekler ve mantık konusunda samimi olmayı can sıkıcı veya en azından tuhaf bulur. Entelektüel olmayan, bilime karşı düşüncenin bir kaynağı, kendini dünyanın üstesinden gelecek kadar güçlü hisseden bir insanın kendini beğenmişliğine karşı bir hassaslık olabilir. Devasa zorluklarla boy ölçüşmenin hakkımız olmadığı düşüncesinde olanlar, bunların bizim sahip olduklarımızdan daha büyük kuvvetlerin alanında olduğuna inanırlar. Bu olağandışı karşı-ego ve ilerleme karşıtı eğilimler hâlâ okul bahçelerinde ve golf kulüplerinde işitilir.

Bazıları için dünyanın şifrelerini çözebileceğiniz düşüncesi bir iyimserlik kaynağı olup daha büyük bir kavrayış ve etki duygularına yol açar. Ama diğerlerine göre bu teknik alanlarda daha bilgili ve becerili olan bilim ve bilimsel otoriteler korku kaynaklarıdır. İnsanlar, bilimsel uğraşlarla ilgilenebilecek, bilimsel sonuçları değerlendirebilecek kadar nitelikli olduğunu hissedenler ve bilimsel düşünce nezdinde dışarıda kaldığını, güçsüz olduğunu hisseden ve bu nedenle böyle uğraşları ego tatmini olarak görenler olarak gruplara ayrılırlar.

Çoğu kimse güçlü olduğunu hissetmek ve bir aidiyet duygusu yaşamak ister. Her bireyin yüz yüze geldiği soru, dinin mi yoksa bilimin mi dünya üzerinde daha büyük bir kontrol duygusu uyandırdığıdır. Güveni, rahatlığı ve kavrayışı nerede buluyorsunuz? İşleri kendinizin yoluna koyabileceğinize inanmayı mı tercih ediyor yoksa bu işleri kotarmaları için arkadaşlarınıza mı güveniyorsunuz? İnsanlar henüz bilimin sağlayamadığı yanıtları ve kılavuzluğu istiyorlar.

Yine de bilim bize evrenin nelerden oluştuğu ve nasıl işlediği konusunda çok şey söyledi. Bildiklerimizin hepsini bir araya getirdiğimizde, bilim insanlarının zaman içinde ortaya koyduğu tablo, yerine mucizevi bir şekilde iyi oturuyor. O nedenle bazılarımız bilimin otoritesine güveniyor, pek çoğumuzsa çağlar boyunca bilimin ortaya koyduğu dersleri kabul ediyoruz.

Hemen erişemediğimiz bölgeleri keşfederken sürekli olarak insan önsezilerinin dışına çıkıyoruz ama henüz tanımladığımız dünyada insanın merkezi rolünü geri getirecek keşifler yapamadık. Bilimsel görüşe göre rastgele işliyormuş gibi görünen bir evrende, rastgele bir yerde, rastgele boyuttaki birçok cisim dizisinden biri olduğumuzu fark ederken Kopernik Devrimi, tutarlı bir şekilde kendini yineliyor.

İnsanoğlunun merakı ve bilgiye karşı bu açlığını giderme yolunda ilerleme yeteneği insanlığı gerçekten çok özel kılıyor. Soru sorma ve konuyu sistematik olarak küçülterek yanıtları bulma yeteneğiyle donatılmış olan bir türüz. Soruyoruz, etkileşiyoruz, iletişim kuruyoruz, hipotezler üretiyoruz, soyutlamalar yapıyoruz ve sonunda evren ve onun içindeki yerimiz konusunda daha zengin bir anlayışa ulaşıyoruz.

Bu, bilimin bütün soruları mutlaka yanıtlayacağı anlamına gelmiyor. Bilimin insanlığın bütün sorunlarını çözeceğini düşünenler de, büyük olasılıkla yanlış iz üzerindeler. Ama bu, bilimle uğraşmanın yapmaya değer bir iş olduğu ve olmaya devam edeceği anlamına geliyor. Henüz bütün yanıtları bilmiyoruz. Dini inancı olsun olmasın, bilime eğilimli bütün insanlar açılan evreni gözetleyip bu yanıtları bulmaya çalışıyor. Kısım II'de şimdiye kadar nelerin bulunduğunu ve ufukta nelerin yeni yeni görünmeye başladığını göreceğiz.

Kısım II
MADDENİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

BEŞİNCİ BÖLÜM

SİHİRLİ GİZEM TURU

Her ne kadar Yunan filozofu Demokritos 2500 yıl önce atomların varlığını öngörerek doğru yolda yola koyulmuş olsa da, maddenin gerçek temel yapısının ne olduğunu hiç kimse tam doğru olarak tahmin edemezdi. Küçük ölçeklerde uygulanan fiziksel kuramların bazıları önsezilere o kadar terstir ki, eğer bilim insanları deneylerin yeni ve şaşırtıcı sonuçlarını kabullenmek zorunda kalmamış olsa, en yaratıcı ve açık fikirli kimseler bile bunları hayal edemezdi. Geçen yüzyılda bilim insanları atom ölçeğinde inceleme yapma olanağına kavuştuktan sonra, maddenin içyapısının beklentileri tekrar tekrar boşa çıkarttığını gördüler. Parçalar yerlerine ve birbirlerine, sahnede gördüğümüz herhangi bir şeyden çok daha mucizevi bir şekilde uyuyordu.

Herhangi bir kimse, günümüzde parçacık fizikçilerinin ilgilendiği minik ölçeklerde olup bitenlerin kesin görsel bir tarifini yapmakta zorlanır. Birleşerek madde olarak tanımladığımız şeyi oluşturan temel bileşenler, duyularımız yoluyla algılayabildiklerimizden çok farklıdır. Bu bileşenler bize yabancı gelen fizik yasalarına uyarlar. Ölçek küçüldükçe madde, neredeyse başka evrenlerde uygulandıkları düşünülebilecek kadar farklı özellikler tarafından yönetilmeye başlar.

Bu tuhaf içyapıyı anlamaya çalışırken karşılaşılan karışıklıkların çoğu, farklı ölçeklerde ortaya çıkan bileşenlerin ve farklı kuramların güçlük çekilmeden uygulanabildiği boyutların çeşitliliğinden kaynaklanır. Fiziksel dünyayı tam olarak anlayabilmek için, nelerin var olduğunu ve farklı ku-

ramların tanımladığı boyut ve ölçekleri anlamlandırabilmemiz gerekir.

Daha sonra, son sınır olan uzaya ilişkin farklı boyutları da mercek altına alacağız. Bu bölümde bilindik ölçeklerden başlayıp maddenin en derinlerine, yani son sınıra ulaşılarak önce içe bakılıyor. En sık karşılaştığımız uzunluk ölçeklerinden (kuantum mekaniğinin gerekli olduğu) atomun içlerine, (kütleçekim kuvvetinin de diğer kuvvetler kadar önemli olduğu) *Planck ölçeğine* kadar bildiklerimizi kontrol edecek ve taşların nasıl yerine oturduğuna bakacağız. Şimdi girişimci fizikçilerin ve diğerlerinin zaman içinde şifrelerini çözdüğü bu olağanüstü iç manzaraya doğru bir geziye çıkalım.

EVRENİ ÖLÇEKLENDİRMEK

Yolculuğumuz insan ölçeklerinde, her gün gördüğümüz ve dokunduğumuz ölçeklerle başlıyor. Örneğin metrenin milyonda birinin ya da on bin metrenin değil de, sadece metrenin kabaca insanın ölçeği olması rastlantı değildir. Metre, bir bebeğin boyunun yaklaşık iki katı, yetişkin bir insanın boyununsa yine yaklaşık yarısıdır. Sıradan ölçümlerde kullandığımız birimin Samanyolu'nun boyutunun yüzde biri veya bir karıncanın bacağının boyu olması tuhaf kaçardı.

Yine de, belirli bir insana dayanarak tanımlanan bir standart fiziksel birim çok da yararlı olmaz çünkü ölçmede kullanılan uzunluk biriminin üzerinde herkesin anlaştığı ve herkesin anladığı bir uzunluk olması gerekir.[1] Bu nedenle 1791'de Fransız Bilimler Akademisi bir standart ortaya koydu. Bir metre, yarı-periyodu bir saniye olan bir sarkacın uzunluğu veya bir çeyrek daire (yani Ekvatordan Kuzey Kutbuna olan uzaklık) boyunca yerkürenin meridyen uzunluğunun on milyonda biri olarak tanımlandı.

Her iki tanımın da biz insanlarla pek bir ilgisi yoktur. Fransızlar sadece üzerinde fikir birliği edeceğimiz ve içimize sinecek, nesnel bir ölçü bulmaya çalışıyorlardı. Yerküre üze-

[1] Örneğin, Antik Yunan'da kullanılan stadia'nın, farklı bölgelerdeki farklı gövde kısımlarının, farklı zamanlardaki uzunluğuna dayandığından, sabit bir uzunluğu yoktur.

rinde çeşitli noktalarda hafifçe değişen kütleçekimin getireceği belirsizlikleri bertaraf etmek amacıyla, daha çok ikinci tanım üzerinde birleştiler.

Bu tanım keyfiydi. Bir metrenin üzerinde herkesin anlaşacağı şekilde kesin ve standart olması için tasarlanmıştı. Ama on milyonda bir, rastlantı değildi. Resmi Fransız tanımı sayesinde bir metre çubuğu elimizde tutabileceğimiz bir şeye dönüşmüştü.

Çoğumuzun boyu yaklaşık olarak iki metre olarak kabul edilebilir, ama hiçbirimizin boyu on ya da üç metre bile olamaz. Bir metre, insan ölçeğidir; cisimler bu boyutta olduğunda kendimizi, en azından bu cisimleri gözleme ve onlarla etkileşme açısından, oldukça rahat hissederiz (ama bir metre uzunluğundaki timsahlardan uzak dururuz). Günlük yaşantımızda tanık olduğumuz için, uygulanan fizik kurallarını biliriz. Önsezilerimiz, boyutları mantıklı bir şekilde metre cinsinden tanımlanan cisimleri, insanları ve hayvanları ömür boyu gözlememize dayanır.

Bazen kendimizi rahat hissettiğimiz bölgenin ne kadar sınırlı olduğunu dikkate değer buluyorum. NBA basketbol oyuncusu Joakim Noah kuzenimin arkadaşıdır. Ben ve diğer aile bireyleri onun boyu konusunda konuşmaktan asla yorulmayız. Kapı pervazında onun çeşitli yaşlardaki boyunu gösteren işaretlere veya fotoğraflara bakar, kendinden daha kısa bir oyuncunun şutuna blok koymasına hayret ederiz. Joakim'in boyu insanı ipnotize edecek kadar uzundur. Ama gerçek şudur ki Joakim'in boyu, normal bir insandan sadece yüzde on beş kadar uzundur ve vücudu da az çok normal insanlarınki gibi işler. Tam orantılar farklı olabilir, bazen mekanik bir avantaj sağlayabilir, bazen sağlamaz. Ama onun kemik ve kasları da tıpkı bizimkiler gibi çalışır.

1687'de formüle edilen Newton yasaları hâlâ verilen bir kütleye kuvvet uyguladığımızda ne olacağını söyler. Bizim vücudumuzdaki kemiklere de uygulanır, Joakim'in atışlarına da. Bu yasalarla yeryüzünde havaya attığımız bir topun yörüngesini hesaplayabilir, güneşin çevresinde dolanan Merkür gezegeninin izleyeceği yolu tahmin edebiliriz. Bütün

bu durumlarda Newton yasaları, cisim üzerine bir kuvvet uygulanmadığında, hareketin aynı hızda süreceğini bildirir. Uygulanan kuvvet cismi, kütlesine bağlı olarak ivmelendirir. Bir etki, aynı büyüklükte fakat ters bir tepki yaratır.

Newton yasaları hayranlık uyandıracak bir şekilde iyi anlaşılmış uzunluklar, süratler ve yoğunluk çeşitliliğinde geçerlidir. Eşitsizlikler sadece kuantum mekaniğinin kuralları değiştirdiği çok küçük uzaklıklarda, görelilik kurallarının uygulandığı çok yüksek hızlarda veya bir kara deliğin içinde olduğu gibi, yönetimi genel göreliliğin devraldığı çok büyük yoğunluklarda ortaya çıkar.

Newton yasalarının yerini alan bu yeni kuramlardan herhangi birinin etkileri, sıradan uzaklık, sürat ve yoğunluklarda gözlenemeyecek kadar küçüktür. Ama kararlılık ve teknoloji sayesinde bu sınırlamalarla karşılaştığımız rejimlere erişebiliriz.

İÇERİDEKİ YOLCULUK

Yeni fiziksel bileşenler ve yeni fizik yasalarıyla karşılaşmak için içeriye doğru oldukça uzun bir yolculuk yapmamız gerekir. Ama metre ile atom büyüklüğü arasındaki ölçeklerde epeyce şey olup biter. Hayatın kendisinde olduğu kadar günlük yaşantımızda ilişkide olduğumuz nesnelerden birçoğu sadece farklı davranışlar veya altyapıların öne çıktığı daha küçük sistemleri araştırdığımızda dikkatimizi çeken önemli özelliklere sahiptir. (Bu bölümde atıfta bulunduğumuz bazı ölçekler için *bkz.* Şekil 13.)

Elbette bize tanıdık gelen ve birkaç ayrıntısı ya da içyapı özellikleriyle ilgilendiğimiz nesnelerin pek çoğu, tek bir temel birim birçok kez bir araya getirilerek oluşturulur. Bu *kapsamlı sistemler* bir duvardaki tuğlalar gibi çoğalır. Duvarları daha fazla tuğla ekleyip çıkararak büyütebilir ya da küçültebiliriz ama temel işlevsel birim daima aynıdır. Yüksek bir duvar pek çok bakımdan alçak bir duvara benzer. Bu tür ölçeklendirme, yinelenen temel bileşenlerin sayısıyla büyüyen birçok büyük sistemde örneklenir. Bu, örneğin, birbirinin benzeri olan büyük sayıda transistörden oluşan

bilgisayar bellek yongalarının yanı sıra birçok büyük örgütlenmeye de uygulanır.

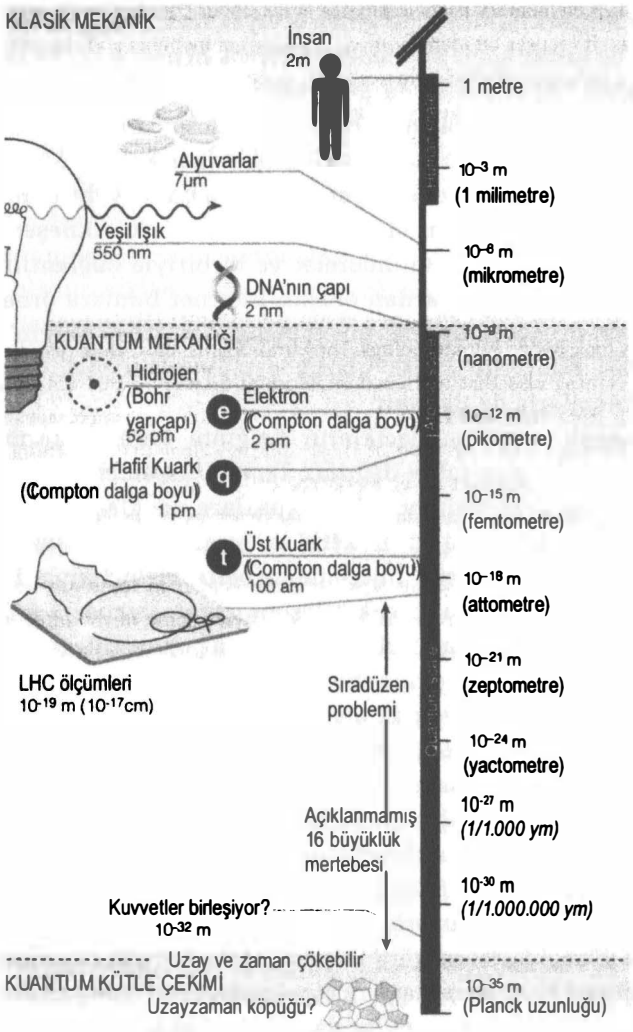
Büyük sistemlerin diğer türlerine uygulanan farklı tür bir ölçeklendirme, bir sistemin davranışını temel elemanlar yerine bağlantılar belirlediğinde ortaya çıkan üstel büyümedir. Her ne kadar böyle sistemler de birçok benzer birimin eklenmesiyle büyüyor olsa da, sistemlerin davranışı sadece temel birimlerin sayısıyla değil, bağlantıların sayısına bağlıdır. Bu bağlantılar, tuğlalarda olduğu gibi yalnız komşu parçalara değil, sistemin içindeki diğer parçalara da ulaşabilir. Birçok sinaptik bağlantıdan oluşan sinir sistemleri, etkileşen birçok proteinden oluşan hücreler ve birbiriyle bağlantılı büyük sayıda bilgisayardan oluşan İnternet bunlara örnektir. Bu, kendi içinde değerli bir çalışma alanı olup fiziğin bazı kolları bunlarla ilişkili olarak ortaya çıkan makroskopik davranışlarla da ilgilenir.

Ancak temel parçacıkların fiziğinin konusu karmaşık çoklu-birim sistemleri değildir. Temel bileşenleri belirlemeye ve bunların uyduğu fiziksel yasalara odaklanır. Parçacık fiziği temel fiziksel niceliklerle ve bunların etkileşmeleriyle ilgilenir. Bu küçük bileşenler elbette birbirleriyle ilginç şekillerde etkileşen birçok bileşeni içeren karmaşık fiziksel davranışlara ilişkindir. Burada en küçük temel bileşenlere ve onların davranış biçimlerine odaklanacağız.

Teknoloji ve biyolojik sistemlerle büyük sistemlerin tek tek bileşenlerinin de içyapıları vardır. Ne de olsa bilgisayarlar mikro işlemcilerden, onlar da transistörlerden yapılmıştır. Doktorlar insanların içyapılarını anlamak üzere ameliyat yaptıklarında insan vücudunun sadece ileri teknoloji yardımıyla görülebilen DNA ile hücrelerden oluşan organlar ve kan damarları buluyorlar. Bu iç elemanların operasyonu sadece yüzeyi izlerken gördüklerimiz gibi değildir. Bu elemanlar küçük ölçeklerde değişir. Bu elemanların uyduğu kurallar için yapılan en iyi tanımlar da bu değişiklikleri izler.

Fizyoloji çalışmalarının tarihi bazı bakımlardan fizik yasalarının incelenmesine benzediğinden ve insanların bazı ilginç uzunluk ölçeklerini kapsadığından, fiziğe ve dış dün-

yaya dönmeden önce durup kendimize dönelim ve vücudumuzun çok daha bilindik iç işleyişinin bazı yönlerinin nasıl anlaşıldığını düşünelim.



ŞEKİL 13 Küçük ölçeklere ve onları tanımlamakta kullanılan uzunluk ölçülerine bir gezinti.

Köprücük kemiği, işlevin sadece iç açımlamayla anlaşıldığı ilginç bir örnektir.* Adını yüzeyden bakıldığında yakaya benzemesinden alır. Ama bilim insanları, insan vücudunun içini incelediklerinde, bu kemiğe bizim de kullandığımız bir başka adını veren (klavikula), anahtara benzeyen bir parçasını buldular.

On yedinci yüzyılın başlarında William Harvey hayvanlarda ve insanlarda kalp ve dolaşım sisteminin ayrıntılarını araştırmak üzere titiz deneyler yapana kadar hiç kimse kan dolaşımını ve damarları birbirine bağlayan kılcal damar sistemini anlamamıştı. İngiliz olmasına karşılık Harvey, Padua Üniversitesinde tıp okudu ve kan akışıyla ilgileniyor olmasına karşın damarların ve kapakçıkların rollerini yanlış anlamış olan hocası Hieronymus Fabricius'tan çok şey öğrendi.

Harvey yalnızca bu sistemdeki gerçek bileşenlere bakışımızı değiştirmekle kalmadı –ki söz konusu sistemde giderek daha küçülen ölçeklerde dallanan kılcal damarlar ağına kan taşıyan atar ve toplardamarlar vardır– aynı zamanda bir süreci de keşfetti. Kan, gerçekten bakıncaya kadar hiç kimsenin beklemediği bir şekilde hücreler arasında aktarılır. Harvey'in keşfettiği bir katalogdan daha fazlasıydı; o yepyeni bir sistem keşfetti.

Bununla birlikte Harvey henüz kılcal damar sistemini fiziksel olarak inceleyebilecek aletlere sahip değildi; bu işi ancak 1661 yılında Marcello Malpighi başaracaktır. Harvey'in önerileri arasında, çok daha sonraları deneylerle doğrulukları kanıtlanacak olan kuramsal argümanlara dayanan hipotezler de vardı. Her ne kadar Harvey ayrıntılı çizimler yapmışsa da, sonraları aralarında Leeuwenhoek'in de bulunduğu, mikroskop kullanan araştırmacıların ulaştığı çözünürlükleri elde etmekten çok uzaktı.

Dolaşım sistemimizde alyuvar adını verdiğimiz kırmızı kan hücreleri vardır. Bu iç elemanların boyutu sadece yedi mikrometre, yani kabaca bir metrenin sadece yüz binde biri kadardır. Bu da bir kredi kartının kalınlığının yüzde biri,

* Köprücük kemiğinin adı İngilizcede "yaka kemiği" anlamına gelen "collarbone" sözcüğü ile karşılanır –çn.

yani bir sis taneciğinin boyutu olup çıplak gözle görebildiğimiz en küçük şeyden on kat daha küçüktür (insan saçının kalınlığından daha az).

Kanın akışı ve kan dolaşımı elbette doktorların zaman içinde şifrelerini çözdüğü, insana ilişkin tek süreç değildir. İnsanın içyapısının keşfi mikrometre ölçeğinde de durmamıştır. İnsanlarda ve cansız sistemlerde, giderek daha küçülen ölçeklerde tümüyle yeni eleman ve sistemlerin keşfi o günden bu yana sürmektedir.

Bir mikronun onda biri boyutuna indiğimizde –ki bu, bir metrenin yaklaşık on milyonda birine karşılık gelir– DNA'ya yani canlıların genetik bilgilerinin kodlarını taşıyan temel yapı taşına ulaşırız. Bu boyut ise hâlâ atomdan 1000 kat daha büyük olup, moleküler fiziğin (yani kimyanın) önemli bir rol oynadığı bir ölçektir. Her ne kadar tam olarak anlaşılmamış olsa da, yerküreyi kaplayan yaygın hayat biçimlerinin temelinde, DNA içinde ortaya çıkan moleküler süreçler yatar. DNA molekülleri milyonlarca nükleotid içerir, o nedenle kuantum mekaniksel atom bağlarının önemli rolü şaşırtıcı olmamalıdır.

DNA'nın kendisi farklı ölçeklerde sınıflandırılabilir. Bükülmüş sarmal şeklindeki molekül yapısıyla insan DNA'sının toplam uzunluğu metrelerle ölçülebilir. Ama DNA iplikçikleri bir mikronun binde ikisi ya da iki nanometre kalınlığındadır. Bu da bir mikro işlemcinin şu andaki en küçük transistör kapısının büyüklüğü olan 30 nanometreden biraz daha küçüktür. Tek bir nükleotidin uzunluğu 0,33 nm olup bir su molekülünün boyutuyla karşılaştırılabilir. Bir gen yaklaşık 1000-100.000 nükleotid uzunluğundadır. Bir genin en yararlı tanımı, tek tek nükleotidler konusunda sorduklarımızdan çok daha farklı sorular içerecektir. Bu nedenle DNA farklı uzunluk ölçeklerinde farklı şekillerde çalışır. DNA konusunda bilim insanları farklı sorular sorar ve farklı ölçeklerde farklı tanımlar kullanırlar.

Küçük birimlerin büyük ölçeklerde gördüğümüz yapıları oluşturması anlamında biyoloji fiziğe benzer. Ama biyoloji yaşayan sistemlerin tek tek elemanlarını anlamaktan çok

daha fazlasını içerir. Biyolojinin hedefleri çok daha tutkuludur. Her ne kadar sonuçta insan vücudundaki süreçlerde fizik yasalarının işlediğine inanıyor olsak da, işlevsel biyolojik sistemler çok daha karmaşık ve hassas olup, beklenmeyen sonuçlar ortaya koyabilirler. Temel birimleri ve karmaşık geri besleme mekanizmalarını çözmek olağanüstü zor olup genetik şifrelerin kombinasyonları tarafından daha da karmaşık hale getirilir. Temel birimlerin bilgilerine sahip olsak bile, kendiliğinden ortaya çıkan ve özellikle de hayatın kendisinden sorumlu olan, son derece karmaşık bilimi çözmek gibi çok zor bir görevimiz var.

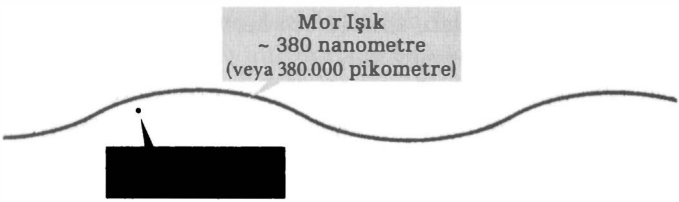
Fizikçiler de tek tek alt birimlerin yapısını anlamak yoluyla daha büyük ölçeklerdeki süreçleri anlayamazlar ama çoğu fizik sistemi bu bakımdan biyolojik sistemlerden çok daha basittir. Her ne kadar bileşik yapı karmaşık olup küçük birimlerden daha farklı özelliklere sahip olsa da geri besleme mekanizmaları ve evrilen yapı genelde daha az rol oynar. Fizikçiler için en basit, en temel bileşeni bulmak önemli bir amaçtır.

ATOMİK ÖLÇEKLER

Yaşayan sistemlerin mekaniğinden uzaklaşarak temel fiziksel elemanların kendilerini anlamak üzere ölçeği küçülttüğümüzde, anlık olarak durmamız gereken ikinci ölçek bir metreden 10 milyon kat daha küçük olan 100 pikometredir. Çekirdek çevresinde dolanan elektronlar hiçbir zaman durağan olmadıklarından, bir atomun kesin boyutlarının saptanması çok zordur. Bununla birlikte, elektronun çekirdekten olan ortalama uzaklığını sınıflandırmak ve bunu atomun boyutu olarak kabul etmek geleneksel bir uygulamadır.

İnsanlar bu küçük ölçeklerdeki fiziksel süreçleri açıklamak için birtakım görüntüleri hayal ederler ama bunlar zorunlu olarak bazı benzetmelere dayanır. Garip ve sezgilerle yakalanamayan davranışlar sergileyen, tümüyle farklı bir yapıyı tanımlayabilmek için, sıradan ölçeklerde deneyimlediğimiz, bilindik tanımları uygulamaktan başka seçeneğimiz de zaten yoktur.

Bir atomun içyapısını, sahip olduğumuz fizyolojiyle, yani duyularımız ve insani becerilerle, aslına uygun bir biçimde resmetmek olanaksızdır. Örneğin görüşümüz, elektromanyetik dalgalardan oluşan ışıkla görünür hale getirilen olaylara dayanır. Bu ışık dalgalarının, yani optik spektrumda olanların dalga boyları 380 ve 750 nanometre arasında değişir. Bu da bir nanometrenin onda biri kadar olan bir atomun boyutundan çok daha büyüktür (Şekil 14).



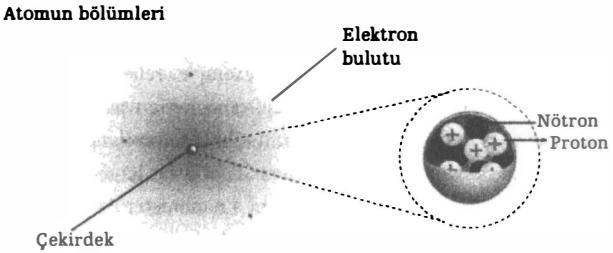
ŞEKİL 14 Bir atom, görülür ışığın en kısa dalga boyuyla bile karşılaştırıldığında sadece bir noktadır.

Bu da atomu görülür ışık yardımıyla, doğrudan kendi gözlerimizle görmeye çalışmanın, elimizde tek parmaklı eldiven varken bir dikiş iğnesine iplik geçirmek kadar olanaksız olduğu anlamına gelir. Buradaki dalga boyları, bu aşırı uzun dalga boylarının hiçbir zaman çözümleyemeyeceği bu kısa dalga boylarını kaybedeceği anlamına gelir. Yani, sözcük anlamıyla bir kuarkı, hatta bir protonu "görmek" istediğimizde, yapısal olarak olanaksız olan bir şeyi istiyoruz demektir. Orada ne olduğunu tam olarak görselleştirme kapasitesine sahip değiliz.

Ama olayları resmetme yeteneğimizi bu olayların gerçekliği konusundaki özgüvenimizle karıştırmak, bilim insanlarının yapmayacağı bir hatadır. Zihinsel bir görüntüyü görmemek ya da böyle bir görüntüye sahip olmamak, bu ölçeklerde ortaya çıkan süreçleri veya fiziksel elemanları ortaya çıkaramayacağımız anlamına gelmez.

Atom ölçeğine kendi varsayımsal bakış açımızdan dünya inanılmaz görünür çünkü fizik kuralları, bilindik boylardaki metre çubuklarının üzerine işaretlediğimiz ölçektekilerden

son derece farklıdır. Atomun dünyasının maddeyi düşündüğümüzde gözümüzde canlanan görüntüyle hiçbir ilgisi yoktur (Şekil 15).



ŞEKİL 15 Bir atom merkezi bir çekirdeğin etrafında dolanan elektronlardan, çekirdekse her birinin yükü bir olan, pozitif yüklü protonlar ve yükü sıfır olan, yüksüz nötronlardan oluşur.

Bir kimsenin yapacağı belki de ilk ve en çarpıcı gözlem atomun temel olarak boşluktan oluştuğudur.[2] Atomun merkezi olan çekirdeğin yarıçapı elektron yörüngelerinin yarıçapından yaklaşık 10.000 kat daha küçüktür. Ortalama bir çekirdeğin boyutu 10^{-14} m yani 10 femtometredir. Bir hidrojen çekirdeği bundan 10 kat daha küçüktür. Bir atomun yarıçapıyla karşılaştırıldığında bir çekirdeğin boyutu, güneş sistemiyle karşılaştırıldığında güneşin yarıçapı kadardır. Atom çoğunlukla boşluktan oluşur. Çekirdeğin hacmi, atom hacminin sadece trilyonda biridir.

Kapıya yumruk attığımızda veya pipetle soğuk bir içecek içtiğimizde gözlediğimiz veya hissettiğimiz şey bu değildir. Duyularımız maddenin sürekli olduğunu düşünmeye sevk eder. Oysa atom ölçeklerinde maddenin elle tutulur herhangi bir şeyden yoksun olduğunu anlarız. Maddenin katı ve sürekli görünmesinin nedeni, duyularımızın küçük boyutlar üzerinden ortalama almasıdır. Küçük ölçeklerde böyle değildir.

Maddenin atom ölçeğinde şaşırtıcı olan tek yanı hemen hemen boşluktan oluşması değildir. Fizikçilerin olduğu ka-

[2] Elbette elektromanyetik alan da vardır ama hemen hemen hiç gerçek madde yoktur.

dar fizikçi olmayanların da kafasını karıştıran şey, Newton fiziğinin en basit öngörülerinin bu küçük uzaklıklarda çökmesidir. Kuantum fiziğinin temel elemanları olan maddenin dalga yapısı ve belirsizlik ilkesi, atomdaki elektronları anlamak için kritik öneme sahiptir. Genellikle çizilmiş olduğunu gördüğümüz belirgin yolları tanımlayan basit eğrileri izlemezler. Kuantum mekaniğine göre hiç kimse bir parçacığın konumunu ve momentumunu aynı anda, kesin olarak ölçemez ki bu, bir cismin yörüngesinin zamanla değişimini izlemenin ön koşuludur. 1926 yılında Werner Heisenberg tarafından geliştirilen Heisenberg belirsizlik ilkesi bize, konumun bilinme hassasiyetinin momentumu ölçebileceğimiz maksimum hassasiyeti sınırlayacağını anlatır.[3] Eğer elektronlar klasik yörüngeler izleseler di, verilen bir anda elektronun tam olarak nerede olduğunu, hangi yöne ve hangi hızla hareket ettiğini bulabilirdik ki, daha sonraki herhangi bir anda tam olarak nerede olacağını bilmemiz anlamına gelirdi. Bu da Heisenberg ilkesiyle çelişirdi.

Kuantum mekaniği, elektronların atomda klasik betimlemede ileri sürüldüğü gibi sabit yerler işgal etmediğini söyler. Bunun yerine olasılık dağılımları elektronların uzayın belirli herhangi bir bölgesinde hangi olasılıkla bulunabileceğini bildirir ve tüm bilebileceğimiz bu olasılıklardır. Bir elektronun ortalama konumunu zamanın fonksiyonu olarak hesaplayabiliriz ama bütün ölçümler belirsizlik ilkesiyle sınırlıdır.

Dağılımların rastgele olmadığını aklınızdan çıkarmamalısınız. Elektronlar eskiden olduğu gibi herhangi bir enerji ya da olasılık dağılımına sahip olamazlar. Bir elektronun yörüngesini tanımlamanın klasik hiçbir yolu yoktur; bu yörünge sadece olasılık terimleriyle tanımlanabilir. Ama olasılık fonksiyonları aslında kesin ve hassas fonksiyonlardır. Kuantum mekaniğinin yardımıyla bir elektronun dalga çözümünü tanımlayan bir denklem yazabiliriz ve bu fonksiyon bize bu

[3] Momentum düşük hızlarda yaklaşık olarak kütle ile hızın çarpımı olarak alınırsa da, göreli hızlarda hareket eden cisimler için enerjinin ışık hızına bölümüne eşittir.

elektronun uzayda belirli bir noktada bulunma olasılığını verir.

Atomun klasik bir Newton fizikçisinin bakış açısından dikkate değer bir başka özelliği de, bir atomdaki elektronların sadece kesikli, sabit enerji düzeylerine bulunabilmeleridir. Elektronların yörüngeleri enerjilerine bağlı olup bu belirli enerji düzeyleri ve bunlara ilişkin olasılıklar kuantum mekaniğinin kurallarıyla tutarlı olmalıdır.

Atomu anlamak açısından elektronların kesikli düzeyleri esastır. Yirminci yüzyılın başlarında ortaya çıkan ve klasik kuralların temelden değişmek zorunda olduğunu gösteren önemli bir ipucu, klasik olarak çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşan atomun kararlı olmamasıydı. Öyle olsaydı, elektronların enerji yayarak çabucak merkeze doğru düşmeleri gerekirdi. Bu, atoma benzeyen bir şey olmamakla kalmaz, bildiğimiz, kararlı atomlardan oluşan madde yapısına da uygun değildir.

Niels Bohr 1912'de zor bir seçimle yüz yüze geldi: ya klasik fizikten vazgeçecekti, ya da gözlediği gerçekliğe olan inancından. Bohr akıllıca birincisini tercih etti ve atomun içinde elektronların işgal ettiği çok küçük uzaklıklarda klasik yasaların geçerli olmadığını varsaydı. Bu, kuantum mekaniğinin gelişmesine yol açan, önemli önsezilerden biriydi.

Bohr Newton yasalarından, en azından bu sınırlı rejim içinde bir kez vazgeçtikten sonra, öne sürdüğü, *yörünge açısal momentumu* adını verdiği bir niceliği de kapsayan bir kesiklilik koşuluna göre elektronların sabit enerji düzeylerini işgal ettiklerini varsayabilirdi. Bohr'a göre, bulduğu kesiklilik kuralı atom ölçeğinde geçerliydi. Bu kurallar, dünyanın güneş etrafında dönmesinde olduğu gibi, makroskopik ölçeklerde kullandıklarımızdan farklıydılar.

Teknik olarak, kuantum mekaniği bu büyük sistemlere de uygulanır. Ama etkileri ölçemeyeceğimiz ya da dikkatimizi çekmeyecek kadar küçüktür. Dünyanın yörüngesini ya da herhangi bir makroskopik cismi gözlüyorsanız, kuantum mekaniği göz ardı edilebilir. Bütün bu tür ölçümlerde bu etkilerin ortalaması alınır ve yaptığınız hesap klasik fizikle

uyumlu hale gelir. Birinci bölümde incelendiği gibi, makroskopik ölçeklerdeki ölçümlerde genel olarak klasik öngörüler son derece iyi yaklaştırımlar olarak kalırlar; bu yaklaştırımlar o kadar iyidir ki, aslında daha derindeki temel yapıyı yöneten kuantum mekaniğini fark etmezsiniz bile. Klasik öngörüler son derece yüksek çözünürlüklü bir bilgisayar ekranındaki sözcükler ve görüntüler gibidir. Altyapılarında kuantum mekaniksel altyapıya benzer birçok piksel vardır. Ama görme ihtiyacı duyduğumuz (ya da görmek istediğimiz) sadece sözcükler ve görüntülerdir.

Kuantum mekaniği sadece atom ölçeğinde görünür olan bir paradigma değişimi oluşturur. Radikal varsayımına karşın Bohr, önceden bilinenlerden vazgeçmek zorunda değildi. Klasik Newton fiziğinin yanlış olduğunu varsaymış değildi. Sadece klasik yasaların bir atomdaki elektronlara uygulanamayacağını varsaymıştı. Kuantum etkilerinin yalıtılamayacağı kadar çok sayıda atomdan oluşan makroskopik madde, en azından herhangi bir kimsenin öngörülerini başarılı bir şekilde ölçeceği düzeyde Newton yasalarına uyar. Newton yasaları yanlış değildir. Uygulandıkları rejimde onlardan vazgeçmeyiz. Ama atom ölçeğinde Newton yasaları başarısız olmak zorundadır. Ve kuantum mekaniğinin yeni yasalarının geliştirilmesine yol açacak, gözle görülür ve çarpıcı bir şekilde başarısız olmuşlardır.

NÜKLEER FİZİK (ÇEKİRDEK FİZİĞİ)

Yolculuğumuza atom çekirdeğinin kendisine doğru, ölçeği küçülterek devam edersek, farklı tanımların, farklı temel bileşenlerin ve hatta farklı fizik yasalarının çıktığını görmeye devam ederiz. Ama temel kuantum mekaniksel paradigma bozulmamış olarak kalır.

Şimdi atomun içinde, yaklaşık 10 femtometre, yani bir nanometrenin yüz binde biri boyutlarındaki çekirdek ölçeğindeki içyapıyı inceleyeceğiz. Şimdiye kadar ölçmek zorunda kaldıklarımızın arasında elektronlar temeldir, yani elektronların daha küçük bileşenleri yokmuş gibi duruyor. Öte yandan çekirdek, temel bir cisim değildir. Nükleon adı veri-

len, daha küçük bileşenlerden oluşur. Nükleonlar ya proton ya da nötrondurlar. Protonlar pozitif elektrik yüküne sahip olup nötronlar yüksüzdür.

Proton ve nötronların yapısını anlamanın bir yolu, bunların ikisinin de temel olmadığını bilmektir. Büyük bir nükleer fizikçi ve popüler bilimci olan George Gamow, proton ve nötronların keşfiyle o kadar heyecanlandı ki, bunun son "öteki sınır" olduğunu düşündü: başka bir altyapı olduğunu düşünmedi. Şöyle diyordu:

"Klasik fiziğin büyük sayıdaki 'bölünemez' atomlarının yerine, elimizde üç temel farklı eleman var; proton, elektron ve nötron... Böylelikle maddenin yapısını oluşturan temel elemanların araştırılmasında gerçekten dibi bulmuşuz gibi görünüyor."[4]

Bu biraz dar görüşlülük olmuştu. Daha doğrusu, yeterince kısa görüşlülük olmamıştı. Proton ve nötronun altyapısı, yani onları oluşturan daha temel bileşenler varsa da, bu temel elemanların ortaya çıkarılması son derece zordur. Bunun için Gamow'un bu yanlış öngörüde bulunduğu günlerde var olmayan, daha yüksek enerjiler ve daha hassas sondalar gerektiren, proton ve nötronun boyutlarından çok daha küçük ölçeklerde çalışılabilmesi gerekiyordu.

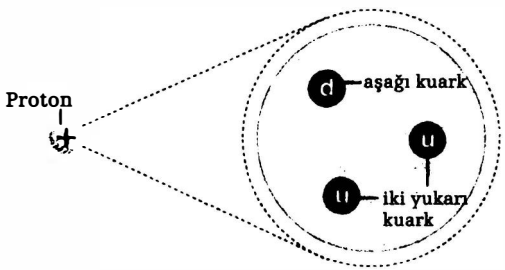
Şimdi, eğer boyutları yaklaşık bir fermi, yani çekirdeğin kendisinden on kat küçük olan nükleon ve protonları görmek için çekirdeğin içine girersek, Murray Gell-Mann ve George Zweig'in nükleonların içinde var olduklarından kuşkulandıkları cisimlerle karşılaşırız. Gell-Mann son derece yaratıcı bir şekilde bu altyapı birimlerine *kuark* adını vermişti. Söylediğine göre bu adı koyarken James Joyce'un *Finnegan's Wake*[*] adlı eserinden esinlenmişti ("Muster Mark için üç kuark"). Bir nükleonun içinde bulunan kuarklar, boyutları daha küçük olan daha temel cisimler olup (Şekil 16'da bir nükleonun içinde bulunan iki *yukarı*, bir *aşağı* kuark görülüyor) *yeğin nükleer kuvvet* adı verilen bir kuvvet bunları proton

---

[4] Gamow, George. *One, Two, Three...Infinity: Facts and Speculations of Science* (Viking Adult; September, 1947).

[*] *Finneganınvahı*, çev: Umur Çelikyay, Aylak Adam Yayınları, 2015

ve nötron oluşturmak üzere bir arada tutar. Genelleyici adına karşın yeğin kuvvet, bilinen diğer temel kuvvetler olan elektromanyetizma, kütleçekim ve ileride göreceğimiz zayıf nükleer kuvveti tamamlayan, doğadaki kuvvetlerden biridir.



ŞEKİL 16 Protonun yükü üç değerlik kuarkı, iki yukarı ve bir aşağı kuark tarafından taşınır.

Yeğin kuvvete yeğin denmesinin nedeni gerçekten yeğin olmasıdır; bu meslektaşım olan bir fizikçinin söylediği gerçek bir cümledir. Kulağa saçma geliyor olsa bile, aslında doğrudur. Kuarkların her zaman, yeğin kuvvetin doğrudan etkisinin nötrleştiği proton ve nötron gibi cisimlerin içinde, birleşik olarak bulunmalarının nedeni budur. Yeğin kuvvet o kadar güçlüdür ki, başka etkiler olmasa, yeğin olarak etkileşen parçacıklar hiçbir zaman birbirinden ayrılamaz.

Hiç kimse tek bir kuarkı soyutlayamaz. Sanki bütün kuarklar, büyük uzaklıklarda yapışkan hale gelen bir yapıştırıcı taşıyor gibidir (bu nedenle yeğin kuvvetle iletişim kuran parçacıklara yapıştırıcı anlamında *gluon* adı verilir). Çekici kuvveti sadece gerdiğinizde ortaya çıkan, elastik bir bant gibi düşünebilirsiniz. Proton ve nötronun içinde kuarklar hareket etmekte özgürdür. Ama bu kuarklardan birini diğerlerinden kayda değer bir mesafeye kadar uzaklaştırmak için ek enerji gerekir.

Her ne kadar bu tanım tam olarak doğru ve makul olsa da, yorumlarken dikkatli olunmalıdır. İnsan elinde olmadan kuarkları, etraflarında aşamayacakları maddi bir bariyer olmak üzere bir çuvalın içinde bir aradaymış gibi düşünüyor. Aslında, nükleer sistemlerdeki bir modelde proton ve nöt-

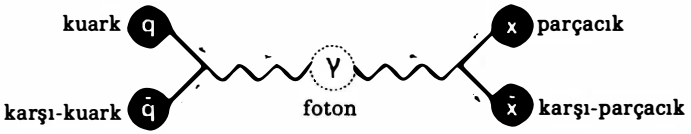
ronlar temel olarak böyle düşünülür. Ama o modelde, ileride göreceklerimizden farklı olarak, nelerin olup bittiği konusunda bir hipotez yer almaz. Amacı sadece kuvvetlerin çok büyük olması nedeniyle bilindik yöntemlerin uygulanamadığı uzaklık ve enerji aralıklarında hesap yapabilmektir.

Proton ve nötronlar sosis değildir. Bir protondaki kuarkların etrafında sentetik bir kılıf yoktur. Proton, yeğin kuvvet tarafından bir arada tutulan üç kuarkın dengeli ve kararlı bir birlikteliğidir. Yeğin etkileşmeler nedeniyle üç hafif kuark uyumlu bir şekilde tek bir cisim olarak, nötron ya da proton gibi davranırlar.

Yeğin kuvvetin ve kuantum mekaniğinin bir başka önemli sonucu, proton ve nötronun içinde *sanal* (*virtual*) parçacıkların, yani uzun süre yaşamayan ama verilen herhangi bir anda enerjiye katkı yapan parçacıkların kolayca yaratılabiliyor olmasıdır. Bir proton ya da nötronun içindeki kütle ve Einstein'ın $E = mc^2$ denklemine göre enerji sadece kuarkların kendileri tarafından değil, onları birbirlerine bağlayan bağlar tarafından da taşınır. Yeğin kuvvet, iki topu birbirine bağlayan ve kendisi de enerji taşıyan esnek bir banda benzer. Depolanmış olan enerjinin alınması yeni parçacıkların yaratılmasına olanak verir.

Yeni parçacıkların net yükü sıfır olduğu sürece, protonun içindeki enerjiden yeni parçacıkların yaratılması bilinen herhangi bir fizik yasasını ihlal etmez. Örneğin, sanal parçacıklar yaratıldığında pozitif yüklü olan proton, yüksüz bir cisme dönüşmez.

Bu ise, sıfırdan farklı yük taşıyan her kuark yaratıldığında, kütlesi kuarkla aynı olup onunla ters yük taşıyan bir *karşı-kuark*ın oluşması gerektiği anlamına gelir. Gerçekte kuark/karşı-kuark çiftleri hem yaratılabilir hem de yok olabilir. Örneğin bir kuark ve karşı-kuark çifti bir foton (elektromanyetik kuvveti ileten parçacık) üretebilir, bu fotonsa hemen bir başka parçacık/karşı-parçacık çifti yaratabilir (Şekil 17). Toplam yükleri sıfır olduğundan parçacık çiftlerinin ortaya çıkması ve yok olmasıyla bile protonun içindeki yük değişmeyecektir.



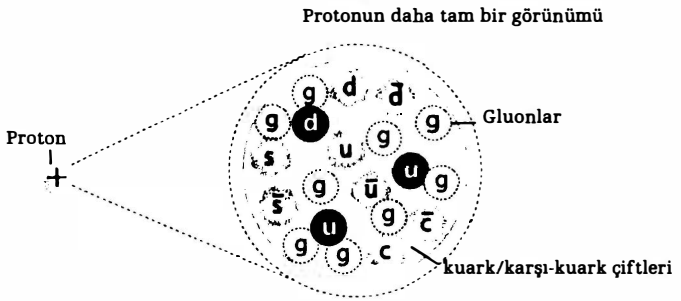
Şekil 17 Yeterince yüksek enerjili kuark ve karşı-kuarklar yok olarak enerjiye dönüşebilir, bu enerji ise başka parçacık ve karşı-parçacık çiftleri yaratabilir.

Kuark ve karşı-kuarklara ek olarak, yaratılan sanal parçacıklardan oluşan *proton denizi* de (bu teknik bir terimdir) *gluon* içerebilir. Gluonlar yeğin kuvveti ileten ya da taşıyan parçacıklardır. Elektromanyetik etkileşimi yaratmak için elektrik yüklü parçacıklar arasında değiş tokuş edilen fotona benzerler. Gluonlar (sekiz farklı türü vardır) yeğin nükleer kuvveti iletmek üzere, benzer şekilde davranırlar. Yeğin kuvvetin etki ettiği yükleri taşıyan parçacıklar arasında değiş tokuş edilirler ve bunların değiş tokuşuyla kuarklar birbirine bağlanır veya birbirinden uzaklaşır.

Bununla birlikte, elektrik yükü taşımayan ve bu nedenle elektromanyetik kuvvetten doğrudan etkilenmeyen fotonların aksine, gluonlar yeğin nükleer kuvvetten etkilenir. O nedenle fotonlar kuvvetleri devasa uzaklıklara iletirken (bu sayede televizyonumuzu açtığımızda kilometrelerce uzakta üretilmiş olan sinyalleri alabiliriz), gluonlar, tıpkı kuarklar gibi, etkileşmeden çok uzağa gidemezler. Gluonlar cisimleri bir protonun boyutuyla karşılaştırılabilecek, küçük ölçeklerde birbirine bağlar.

Eğer fotona kabaca bakar ve sadece protonun yükünü taşıyan elemanlara odaklanırsak, protonun esas olarak üç kuarktan oluştuğunu söyleriz. Bununla birlikte proton, iki yukarı kuark ve bir aşağı kuarktan oluşan, protonun elektrik yüküne katkıda bulunan üç *değerlik* kuarkından çok daha fazlasını içerir. Protonun yükünden sorumlu olan üç kuarka ek olarak, protonun içinde kuark/karşı-kuark çiftleri ve gluonlardan oluşan bir sanal parçacıklar denizi vardır. Protona daha yakından baktığımızda, daha fazla sanal kuark/karşı-

kuark çifti ve gluon buluruz. Tam dağılım, protonu incelemek için kullandığımız enerjiye bağlıdır. Günümüzde protonların birbirleriyle çarpıştırıldıkları enerjilerde, protonların enerjilerinin çok büyük bir kısmının farklı türlerdeki sanal gluonlar, kuark ve karşı-kuarklar tarafından taşındığını görürüz. Bunlar elektrik yükünün belirlenmesinde önemli değildir –bütün bu sanal parçacıkların elektrik yüklerinin toplamı sıfırdır– ama ileride göreceğimiz gibi, bir protonun içinde ne olduğunu ve enerjisini neyin taşıdığını tam olarak bilmek istediğimiz proton çarpışmaları hakkında öngörülerde bulunmak istediğimizde önem kazanır. (Bir protonun içindeki daha karmaşık yapıyı görmek için *bkz.* Şekil 18.)



ŞEKİL 18 LHC'de protonlar çarpıştırılır. Bu protonların her biri, üç değerlik kuarkıyla birlikte bu çarpışmalarda rol alabilen birçok sanal kuark ve gluon içerebilir.

Şimdi nükleer kuvvetler tarafından bir arada tutulan kuarkların ölçeğine kadar indiğimize göre, size daha da küçük ölçeklerde neler olduğunu da anlatabilmek isterim. Acaba kuarkın içinde de bir yapı var mı? Ya elektronun içinde? Şimdilik bu konuda elimizde bir ipucu yok. Şimdiye kadar yapılan hiçbir deneyde daha alt düzeyde bir yapının kanıtlarına rastlanmadı. Maddenin içindeki yolculuk açısından, kuarklar ve elektronlar şimdilik yolun sonu gibi.

Bununla birlikte, LHC'de şimdi protonun kütlesiyle ilişkili olanlardan 1000 kat daha yüksek enerji düzeyleri, dola-

yısıyla 1000 kat daha küçük uzaklıklar araştırılıyor. LHC'de proton demetleri son derece yüksek, şimdiye kadar dünyada elde edilmiş olanlardan çok daha yüksek enerji düzeylerine ulaştırıldıktan sonra çarpıştırılıyor. LHC'deki proton demetleri, yeraltındaki bir tünelde minik paketçikler halinde yoğunlaşmış, aynı hizada hızla hareket eden 100 milyarlık birkaç bin grup biçiminde dolanıyor. Elektrik alanlarıyla protonlar çok yüksek enerjilere kadar ivmelendirilirken, halka şeklindeki tünelin etrafına yerleştirilmiş 1232 adet süper iletken elektromıknatısla da bu protonlar demet borusunun içinde tutuluyor. Diğer mıknatıslar da (tam olarak söylemek gerekirse 392 adet) demetlerin aynı hizaya getirilip çarpıştırılmasını sağlıyor.

Daha sonra –ki her şeyin olup bittiği yer burasıdır– mıknatıslar bu iki proton demetini son derece hassas bir şekilde yönlendirerek çapı insan saçının kalınlığından daha büyük olmayan bir bölgede çarpıştırılmalarını sağlıyor. Bu çarpışma sırasında ivmelendirilen protonların enerjisinin bir kısmı, Einstein'ın ünlü $E = mc^2$ formülünün belirttiği gibi enerjiye dönüşecektir. Bu çarpışmalar ve serbest kalan enerjiyle şimdiye kadar gözlenenlerden çok daha ağır, yeni temel parçacıklar yaratılabilir.

Protonlar karşılaştığında, kuark ve gluonlar ara sıra çok küçük bir bölgede büyük bir enerjiyle çarpışırlar. Bu, içinde gizli çakıl taşları olan iki balonun çarpıştırılmasına benzer. LHC o kadar yüksek enerji sağlar ki, ilgilendiğimiz olaylarda birbirlerine çarpan protonların bileşenleri çarpışır. Bunların arasında protonun yükünden sorumlu olan iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark da vardır. Ama LHC'nin sağladığı enerjilerde, sanal parçacıklar da protonun enerjisinin önemli bir bölümünü taşır. LHC'de protonun yüküne katkıda bulunan üç kuarkla birlikte sanal parçacıklar "denizi" de çarpışır.

Bu gerçekleştiğinde –ki bütün parçacık fiziğinin anahtarı buradadır– parçacıkların tür ve sayıları değişebilir. LHC'den elde edilen yeni sonuçlar, daha küçük uzaklıklar ve boyutlar konusunda bize daha çok şey öğretmelidir. Olası bir altyapının yanı sıra, küçük uzaklıklarda gerçekleşen fiziksel olay-

ların diğer yönleri konusunda da bilgi vermelidir. LHC'deki enerjiler, en azından bir süre için, kısa mesafelerdeki deneysel sınırı belirlemektedir.

TEKNOLOJİNİN ÖTESİNDE

Şimdi artık zamanımızdaki hatta hayal edebileceğimiz teknolojiyle ulaşabildiğimiz küçük ölçeklerdeki tanıtıcı yolculuğumuzu bitirmiş bulunuyoruz. Ama araştırma yeteneğimizin şu andaki insani sınırları gerçekliğin doğasını bağlamaz. Çok daha küçük ölçekleri keşfetmek için teknoloji geliştirmekte zor zamanlar yaşayacak gibi görünüyor olsak da, kuramsal ve matematiksel argümanlarla bu ölçeklerdeki yapıları ve etkileşmeleri ortaya çıkarmaya çalışabiliriz.

Eski Yunanların zamanından bu yana çok yol katettik. Şimdi artık anlamak istediğimiz bu minik ölçeklerde deneysel kanıt olmaksızın ne olup bittiğinden emin olmanın olanaksız olduğunu fark ediyoruz. Yine de, yeterli ölçümlerin yokluğunda bile, kuramsal ipuçları araştırmalarımızı yönlendirebilir ve bu minik ölçeklerde maddenin ve kuvvetlerin nasıl davrandığı konusunda öneriler ortaya koyabilir. Temel bileşenler doğrudan erişilebilir olmasa bile, ölçülebilir ölçeklerde ortaya çıkan olayları açıklamamıza ve birbirleriyle ilişkilendirmemize yardımcı olacak olasılıkları araştırabiliriz.

Tartışmaya açık görüşlerimizin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini veya hangilerinin gerçekleşebileceğini henüz bilmiyoruz. Fakat çok küçük uzaklıklara deneysel olarak doğrudan erişemiyor bile olsak, gözlediğimiz ölçekler, tutarlı bir şekilde var olabilecekleri sınırlar çünkü sonuçta gördüğümüzü açıklamak temelde olan kuramın görevidir. Yani, daha büyük uzaklık ölçeklerinde bile olsa, deneysel sonuçlar olasılıkları sınırlar ve bazı belirli yönlerde tahminlerde bulunmak için bizi cesaretlendirir.

Henüz bu enerjileri araştırmamış olduğumuzdan, bu konularda çok şey bilmiyoruz. İnsanlar LHC'de elde edilenler ile çok daha küçük uzaklıklar ya da yüksek enerjiler arasında, ilginç uzaklıkların yokluğundan ya da bir *çölden* bile söz ediyorlar. Büyük olasılıkla bu hayal gücünden yoksunluk ya

da işleyen verilerin yokluğu nedeniyle olabilir. Ama çoğu kimse için, sonraki ilginç ölçek *birleştirme*yle ilgili olandır.

Kısa mesafeler hakkındaki en etkileyici ve merak uyandıran spekülasyonlardan biri de kısa mesafelerde kuvvetlerin birleşmesine ilişkindir. Bu, hem bilimsel hem de popüler hayal gücünü ateşleyen bir kavramdır. Bu senaryoya göre, çevremizde gördüğümüz dünya bilinen bütün kuvvetleri (ya da en azından kütleçekim dışındaki bütün kuvvetleri) kapsayan temel kuramı bütün güzelliği ve basitliğiyle ortaya çıkarmaktan uzaktır. Birçok fizikçi böyle bir birleşmeyi birden fazla kuvvetin varlığının ilk olarak anlaşıldığı zamandan bu yana büyük bir ciddiyetle aramaktaydı.

Böyle spekülasyonların en ilginç olanlarından biri 1974'te Howard Georgi ve Sheldon Glashow tarafından ortaya atıldı. Georgi ve Glashow, her ne kadar düşük enerjilerde kütleçekim dışında farklı yeğinliklerde üç kuvvet (elektromanyetik, yeğin ve zayıf nükleer kuvvetler) gözlüyor olsak da, çok daha yüksek enerjilerde sadece tek bir kuvvetin var olacağını ileri sürdüler. (Şekil 19)[5] Bu tek kuvvete, her üç kuvveti de kapsadığından, birleşik kuvvet adı verildi. Georgi ve Glashow bunun komik olduğunu düşündükleri için bu spekülasyona *Büyük Birleşik Kuram* (*Grand Unified Theory, GUT*) adı verildi.

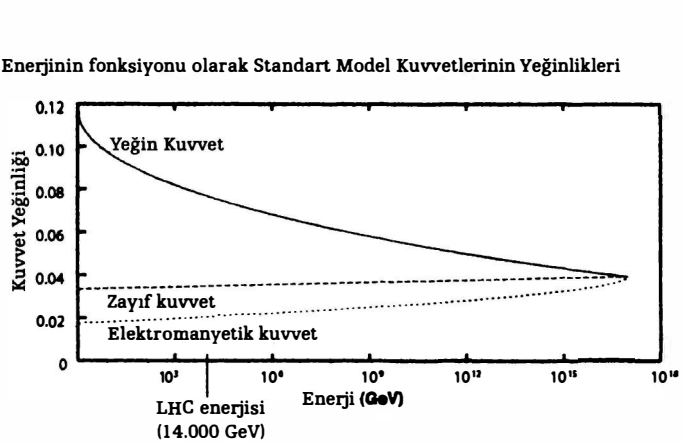
Kuvvetlerin birbirine yaklaşan yeğinlikleri, yararsız bir spekülasyonun ötesindeymiş gibi görünüyor. Kuantum mekaniği ve özel görelilik kullanılarak yapılan hesaplamalar, durumun gerçekten de böyle olduğunu gösteriyor.[6] Ama bunun ortaya çıkacağı enerji ölçeği, çarpıştırıcı deneyleriyle inceleyebileceğimiz düzeyin çok üzerindedir. Birleşik kuvvetlerin etkili olabileceği uzaklıklar yaklaşık 10^{-30} cm dola-

---

[5] Bu şeklin, çizgilerin birbirine yaklaşmakla birlikte hiçbir zaman kesişmediği özgün Georgi-Glashow birleşme kuramı için doğru olandan daha kesin bir versiyona karşılık geldiğine dikkat ediniz. Bu hatalı birleşme, sonraları, kuvvetlerin etkileşme yeğinliklerinin daha iyi ölçülmesiyle ispatlandı.

[6] Her ne kadar yaklaşmış olsa da, artık Standart Modelde bir birleşme olmayacağını biliyoruz. Bununla birlikte birleşme, On Yedinci Bölümde ele alınan süpersimetrik modeller gibi Standart Modelin değiştirilmiş versiyonlarında ortaya çıkabilir.

yındadır. Her ne kadar bu boyut doğrudan gözleyebileceğimizin çok ötesinde olsa da, birleşmenin dolaylı sonuçlarını araştırabiliriz.



ŞEKİL 19 Yüksek enerjilerde kütleçekim dışında bilinen üç kuvvet aynı yeğinliğe sahip olabilir, dolayısıyla tek bir kuvvet altında birleşebilir.

Bu olasılıklardan biri proton bozunumudur. Kuarklarla leptonlar arasında yeni etkileşmeler öneren Georgi ve Glashow'un kuramına göre protonlar da bozunmalıdır. Bu önerinin kendine has özellikleri verildiğinde fizikçiler bu bozunumun hangi hızda ortaya çıkması gerektiğini hesaplayabilirler. Şimdiye kadar birleşmenin herhangi bir kanıtına rastlanmadı ki bu da öneriyi bir anlamda geçersiz kılıyor. Bu durum birleşmenin mutlaka yanlış olduğu anlamına gelmez. Kuram, onların önerdiğinden çok daha incelikli olabilir.

Birleşme çalışmaları bilgimizi gözleyebildiğimiz ölçeklerin ötesinde nasıl geliştirebileceğimizi gösteriyor. Deneysel olarak doğruladıklarımızı bu kuramla henüz erişemediğimiz enerjilere kadar genişletmeyi deneyebiliriz. Kimi zaman şansımız yaver gider ve bu genişletmenin eldeki verilerle uyumlu veya bir şekilde çok naif olup olmadığını sınayan zekice tasarlanmış deneyler kendilerini dayatır. Büyük Birleşme Kuramları durumunda proton bozunumu deneyleri, bilim

insanlarına doğrudan gözlenemeyecek kadar küçük uzaklıklardaki etkileşmeleri dolaylı olarak inceleme olanağı verdi. Bu deneyler bilim insanlarına bu öneriyi sınama olanağı sundu. Bu örnekten çıkarılacak sonuçlardan biri, zaman zaman başlangıçta ilgisiz gelebilecek kadar uzak olan uzaklık ölçeklerinde spekülasyon yaparak madde ve kuvvetler konusunda yeni kavrayışlar kazanabileceğimiz, hatta yaptığımız deneylerin çıkarımlarını çok daha yüksek enerjilere ve daha genel olaylara doğru genişletebileceğimizdir.

Kuramsal yolculuğumuzdaki bir sonraki (ve son) durak, *Planck uzunluğu* olarak bilinen uzunluk, yani 10^{-33} cm'dir. Bunun ne kadar küçük bir uzunluk olduğu konusunda bir fikir vermek için şunu söyleyebiliriz: bir protonun Rhode Island'ın genişliğine oranı neyse, bu uzunluğun da bir protonun boyutuna oranı odur. Bu ölçekte uzay ve zaman gibi en temel kavramlar olarak bildiğimiz şeyler bile anlamsızlaşır. Planck uzunluğundan daha küçük uzaklıklara nasıl erişebileceğimiz konusunda varsayımsal deneyleri hayal bile edemiyoruz. Büyük olasılıkla bu, hayal edebileceğimiz, olası en küçük ölçektir.

Planck uzunluğundaki deneysel sondaların olmayışı bizim hayal gücümüzün, teknolojimizin ve hatta mali kaynaklarımızın ötesinde bir şey olabilir. Küçük uzaklıkların erişilebilir olmayışı fizik yasalarının koyduğu bir sınırlama olabilir. Önümüzdeki bölümde göreceğimiz gibi, kuantum mekaniği bize küçük sondaların yüksek enerji gerektirdiğini bildirir. Ama eğer küçük bir bölgede çok büyük miktarda enerji birikirse, madde çökerek kara deliğe dönüşür. Bu noktada olayları kütleçekim ele alır. Tıpkı bizim daha alışık olduğumuz, kuantum mekaniğinin son derece sınırlı bir rol oynadığı, makroskopik durumlarda olduğu gibi, daha yüksek enerji kara deliği daha da büyütür, küçültmez. Planck uzunluğundan daha küçük uzaklıkları incelemek için ne yapmak gerektiğini bilmiyoruz. Daha yüksek enerjinin bir yararı olmaz. Çok büyük olasılıkla, uzay hakkındaki geleneksel görüşler artık bu küçük boyutlarda geçerli değildir.

Son zamanlarda verdiğim bir konferansta parçacık fiziğinin günümüzdeki durumunu anlatıp ek boyutlar hakkında önerilerimizi sıraladıktan sonra, birisi bana uzayzaman kavramımızın olası sınırlılığına ilişkin olarak söylemiş ve uzun zamandır unutmuş olduğum bir sözümü hatırlattı. Bana ek boyutlar hakkındaki spekülasyonlarla uzayzamanın bozulması düşüncesini nasıl uzlaştırdığımı sordu.

Uzayın ve olasılıkla zamanın bozulması hakkındaki spekülasyonlar, gözlenemeyecek kadar küçük olan Planck uzunluklarında geçerlidir. Hiç kimse 10^{-17} cm'den daha küçük uzunlukları gözlememiş olduğundan, ölçülebilir uzunluklardaki düzgün, pürüzsüz geometri gerekliliği ihlal edilmez. Planck ölçeğinde uzay kavramının kendisi bozulsa bile, bu bizim araştırdığımız uzunluklardan çok daha küçüktür. Büyük, gözlenebilir ölçekler üzerinden ortalama aldığımızda düzgün, tanımlanabilir bir yapı ortaya çıktığı sürece bir tutarsızlık yoktur. Ne de olsa genelde farklı ölçekler farklı davranışlar sergiler. Ama küçük ölçeklerde Einstein'ın fikirleri de çökebilir; özellikle ölçekler çok küçük olduğu, ölçülebilir uzunluklarda göz ardı edilebilir etkiler yarattığı ve çok daha temel bileşenler gözleyebileceğimiz, fark edilebilir etkiler yaratmadığı sürece.

Uzayzamanın çöküp çökmemesinden bağımsız olarak Planck uzunluğunun, denklemlerin bize kesinlikle doğru olduğunu söylediği, kritik bir özelliği, bu uzunlukta ölçebildiğimiz uzaklıklarda temel parçacıklar üzerindeki etkileri çok küçük olan kütleçekimin, yeğinliği bildiğimiz diğer kuvvetlerinkiyle karşılaştırılabilen bir kuvvet haline gelmesidir. Planck uzunluğunda Einstein'ın görelilik kuramına göre formüle ettiğimiz kütleçekim artık etkili olmaz. Ölçümlerle uyuşan tahminlerin nasıl yapılacağını iyi bildiğimiz daha büyük uzaklıkların tersine, bu minik rejimde genelde kullandığımız kuramları uygularken kuantum mekaniği ve genel görelilik tutarsız ve çelişkilidir. Nasıl tahmin yapmaya çalışacağımızı bile bilmeyiz. Genel görelilik pürüzsüz, klasik uzay geometriye dayanır. Planck uzunluğunda kuantum dalgalanmaları kütleçekiminin geleneksel formülasyonu için çok fazla yapısı olan bir uzayzaman köpüğü yaratabilir.

Planck ölçeğindeki fiziksel tahminlere değinmek için, kuantum mekaniği ile kütleçekimi *kuantum kütleçekim* adı verilen çok daha kapsamlı bir kuramda birleştiren, yeni kavramsal bir yapıya ihtiyacımız vardır. En etkili olarak Planck ölçeğinde işleyen fizik yasaları, gözlenebilir ölçeklerde başarılı olduğu kanıtlanmış olan yasalardan çok daha farklı olmalıdır. Bu ölçeğin anlaşılması büyük olasılıkla klasik mekanikten kuantum mekaniğine geçiş kadar temel olan bir paradigma kayması içerecektir. Bu minik ölçeklerde ölçümler yapamıyor olsak bile, giderek daha ileri kuramsal spekülasyonlar yoluyla temel kütleçekim, uzay ve zaman kuramı hakkında bir şeyler öğrenme şansımız vardır.

Böyle bir kuram için en popüler aday *sicim kuramı*dır. Özgün sicim kuramı temel parçacıkların yerine temel sicimleri koyan bir kuram olarak formüle edilmiştir. Artık sicim kuramının sicimlerden başka temel cisimler (bunlar hakkında On Yedinci Bölümde daha çok şey öğreneceğiz) içerdiğini ve adının da kimi zaman daha geniş (ama daha az tanımlı) *M kuramı* olarak değiştirildiğini biliyoruz. Bu kuram şu anda kuantum kütleçekime ilişkin en ümit verici öneridir.

Bununla birlikte sicim kuramı devasa kavramsal ve matematiksel zorluklar barındırıyor. Henüz hiç kimse sicim kuramının, kuantum kütleçekim kuramının irdelemesini istediğimiz bütün soruları yanıtlayacak şekilde nasıl formüle edilebileceğini bilmiyor. Dahası, 10^{-33} cm ölçeğindeki bir sicim büyük olasılıkla, düşünebileceğimiz herhangi bir deneyin erişiminin ötesinde olacaktır.

Bu nedenle sicim kuramının araştırılmasının zaman ve para harcamaya değer olup olmadığı mantıklı bir sorudur. Bana bu soru sık sık sorulur. Bir kimse neden deneysel sonuçları olma olasılığı çok düşük olan bir kuramı çalışır? Bazı fizikçiler matematiksel ve kuramsal tutarlılığı yeterli neden olarak görüyorlar. Bu insanlar Einstein'ın, büyük oranda kuramsal ve matematiksel araştırmalara dayanan genel görelilik kuramını geliştirirken elde ettiği başarıyı tekrarlayabileceklerini düşünüyorlar.

Ama sicim kuramını araştırmanın bir başka dürtüsü –ki ben çok önemli olduğunu düşünüyorum– ölçülebilir ölçeklere uygulanabilen düşünceler hakkında yeni düşünüş yolları sağlamış ve sağlayacak olmasıdır. Bu düşüncelerden ikisi, On Yedinci Bölümde inceleyeceğimiz *süpersimetri* ve *ek boyutlar* kuramlarıdır. Bu kuramlar eğer parçacık fiziğinin problemleriyle ilgileniyorlarsa deneysel sonuçlar verirler. Aslında, eğer belirli ek boyut kuramlarının doğruluğu kanıtlanır ve LHC enerjilerinde olayları doğru olarak açıklarlarsa, sicim kuramı çok daha düşük enerjilerde bile ortaya çıkabilir. Süpersimetrinin veya ek boyutların keşfi sicim kuramının ispatı olmayacaktır. Ama bu, doğrudan deneysel sonuçları olmasa bile, soyut fikirler üzerinde çalışmanın verimliliğinin doğrulanması olacaktır. Bu, aynı zamanda başlangıçta soyut görünen düşünceleri irdelemenin yararlılığının da bir ifadesi olacaktır.

ALTINCI BÖLÜM

"GÖRMEK" İNANMAKTIR

Bilim insanları ancak maddenin içine bakabilecekleri aletler geliştirildiğinde maddenin nelerden oluştuğunu anlayabilirlerdi. Buradaki "bakmak" sözcüğüyle doğrudan gözlem değil, insanların çıplak gözle göremeyecekleri minik boyutları incelemekte kullandıkları dolaylı yöntemler kastediliyor.

Bu genelde kolay bir iş değildir. Ama zorluklara ve deneylerin kimi zaman sergilediği sağduyuya ters sonuçlara karşın gerçeklik gerçektir. Fizik yasaları küçük ölçeklerde dahi, sonuçta daha zekice tasarlanmış araştırmaların erişebileceği, ölçülebilir sonuçlar verir. Madde ve maddenin nasıl etkileştiği hakkındaki şu anki bilgimiz, çeşitli deneysel sonuçları tutarlı bir biçimde yorumlamamıza olanak veren ve yıllar süren önseziler, yenilikçi çabalar ve kuramsal gelişmelerin zirvesidir. Yüzyıllar önce Gallileo'nun öncülük ettiği dolaylı gözlemler yoluyla fizikçiler maddenin yapısında nelerin olduğunu buldular.

Şimdi, bulunduğumuz noktaya varmamızı sağlayan parçacık fiziğinin, kuramsal önsezilerin ve deneysel keşiflerin günümüzdeki durumunu inceleyeceğiz. Ben maddeyi oluşturduğunu bildiğimiz bileşenleri ve nasıl keşfedildiklerini sayarken, bu tarif kaçınılmaz olarak bir listeyi andıracaktır. Bu farklı ölçeklerdeki çeşitli bileşenlerin çok farklı davranışlarını hatırladığımızda bu liste çok daha ilginç hale gelir. Üzerinde oturduğunuz sandalye sonuçta bu bileşenlere indirgenebilir ama bunun anlaşılması için uzun bir dizi oluşturan deneylerin yapılması gerekti.

Richard Feynman'ın kuramlarından biri hakkında konuşurken rahat bir tavırla açıkladığı gibi, "Eğer beğenmiyor-

sanız, başka bir yere gidebilirsiniz, belki de kuralların daha basit olduğu bir başka evrene... Ben size, anlamak için bütün güçleriyle ellerinden geleni yapmaya çalışan insanlara nasıl göründüğünü anlatacağım. Eğer beğenmezseniz, çok kötü."[1] Gerçek olduğuna inandığımız şeylerden bir kısmının kabul etmek istemeyeceğiniz kadar çılgınca ya da elverişsiz olduğunu düşünebilirsiniz. Ama bu, doğanın işleyiş şeklini değiştirmeyecektir.

KÜÇÜK DALGA BOYLARI

Küçük dalga boyları bize yabancı olduğundan garip gelir. Küçük ölçeklerde ne olup bittiğini gözlemek için minik sondalara gerek duyarız. Şu anda okumakta olduğunuz sayfa (ya da ekran) maddenin temelinde bulunanlardan çok farklı görünür. Bunun nedeni görme eyleminin görülür ışıkla yapılıyor olmasıdır. Bu ışık atomların merkezindeki çekirdeğin etrafında yörüngelerinde dolanan elektronlar tarafından salınır. Şekil 14'te görüldüğü gibi, bu ışığın dalga boyu hiçbir zaman çekirdeğin içine nüfuz etmeye yetecek kadar kısa olamaz.

Bir çekirdeğin içinde ne olup bittiğini saptamak için daha zeki veya durumu nasıl gördüğünüze bağlı olarak daha acımasız ve gaddar olmamız gerekir. Küçük dalga boyları gereklidir. Buna inanmak çok zor olmamalı. Dalga boyu evrenin büyüklüğüne eşit olan hayali bir dalga düşünelim. Bu dalganın hiçbir etkileşimiyle evrendeki herhangi bir şeyin yerinin saptanması olası değildir. Bu dalganın içinde evrenin yapısını çözümleyebileceğimiz, daha küçük dalgalar olmadığı sürece, bu devasa dalga boyunu kılavuz alarak herhangi bir şeyin evrende belirli herhangi bir yerde olduğunu bulmamızın hiçbir yolu yoktur. Bu, bir eşya yığınının üzerini bir ağla örterek, cüzdanınızın bu yığının altında nerede olduğunu sormanıza benzer. İçeriye daha küçük ölçeklerde bakabilecek çözünürlüğünüz olmadığı sürece cüzdanı bulamazsınız.

---

[1] Feynman, Richard. The QED Lecture at University of Auckland (New Zealand, 1969). See also: *Richard Feynman Lectures, Proving the Obviously Untrue.*

Dalgaların yardımıyla bir şeyin nerede olduğunu ya da boyut ve biçiminin ne olduğunu anlayabilmek için dalga tepeleri ve çukurları arasındaki uzaklığın uygun olması yani çözümlemek istediğiniz uzunluklara yakın olması gerekir. Dalga boyunu ağın boyutu olarak düşünebilirsiniz. Eğer bütün bildiğim, ağın içinde bir şey olduğu ise, kendimden emin olarak tek söyleyebileceğim, bu şeyin onun etrafını saran ağın boyutuyla sınırlı bölgenin içinde olduğudur. Bundan daha fazlasını söyleyebilmek için ya ağ daha küçük olmalı ya da daha duyarlı bir ölçekteki değişimleri araştırabilecek bir yolumuz olmalıdır.

Kuantum mekaniği bize dalgaların bir parçacığın verilen bir bölgede bulunma olasılığını betimlediğini bildirir. Bu dalgalar ışık dalgaları da olabilir. Ya da kuantum mekaniğinin herhangi bir parçacığın gizli olarak taşıdığını söylediği dalgalar da olabilir. Bu dalgaların dalga boyları, küçük uzaklıkları araştırmak için parçacık ya da ışınım kullandığımızda elde etmeyi ümit edebileceğimiz olası çözünürlüğü bildirir.

Kuantum mekaniği bize, kısa dalga boylarının daha yüksek enerji gerektirdiğini de söyler. Bunun nedeni kuantum mekaniğinde enerjinin frekansa bağlı olması ve dalga boyları en kısa, frekansları ise en yüksek olan dalgaların en yüksek enerjiye sahip olmasıdır. Dolayısıyla kuantum mekaniği yüksek enerjiyi kısa dalga boyuyla ilişkilendirir ve bize sadece yüksek enerjili deneylerin maddenin içyapısına nüfuz edebileceğini anlatır. Maddenin temel içyapısını araştırmak için, parçacıkları yüksek enerjilere kadar ivmelendirecek makinelere gereksinme duymamızın temel nedeni budur.

Kuantum mekaniğindeki dalga ilişkileri bize, yüksek enerjilerin oradaki minik uzaklıklara ve etkileşmelere nüfuz etme olanağı verdiğini bildirir. Bu küçük uzaklıkları sadece yüksek enerjiler ve dolayısıyla kısa dalga boylarıyla inceleyebiliriz. Küçük uzaklıkların yüksek momentumla ilişkili olduğunu, genel göreliliğin sağladığı enerji, kütle ve momentum arasındaki ilişkilerle birleştiren kuantum mekaniksel belirsizlik ilkesi bu bağlantıları kesin bir şekilde ortaya koyar.

Bunun üzerine Einstein bize bir de enerji ve kütlenin birbirine dönüşebilir olduğunu öğretti. Parçacıklar çarpıştığında kütleleri enerjiye dönüşebilir. Dolayısıyla, $E = mc^2$ olduğundan, daha yüksek enerjilerde daha yüksek kütleli parçacıklar üretilebilir. Bu denklem, daha yüksek E enerjisinin m kütlesi daha büyük olan, daha "ağır" parçacıkların yaratılmasına olanak vereceği ve enerjinin, kinematik açıdan olanaklı olduğu sürece herhangi bir tür parçacığın yaratılmasına yeterli olmak anlamında evrensel olduğu anlamına gelir.

Bu, bize şu anda araştırdığımız yüksek enerjilerin bizi daha küçük boyutlara götürdüğünü ve yaratılan parçacıkların bu ölçeklerde uygulanan temel fizik yasalarını anlamamızda anahtar rol üstlendiğini anlatır. Küçük uzaklıklarda ortaya çıkan yüksek enerjili parçacıklar ve bunların etkileşmeleri, maddenin en temel bileşenleri ve bunların etkileşmeleri konusundaki şu andaki kavrayışımızı tarif eden parçacık fiziğinin Standart Modelinin altında yatanların şifrelerine ilişkin ipuçlarını barındırır. Şimdi birkaç önemli Standart Model keşfini ve bilgilerimizi biraz daha geliştirmek için kullandığımız yöntemleri göz önüne alacağız.

ELEKTRONUN VE KUARKIN KEŞFİ

Atomun içine doğru yaptığımız başlangıç turumuzdaki hedeflerimizden her biri, yani çekirdeğin etrafında dolanan elektronlar ve protonlarla nötronların içinde gluonların yardımıyla bir arada tutulan kuarklar, giderek daha yüksek enerjili, dolayısıyla da daha küçük uzunluklara nüfuz edebilen araştırmalarla, deneysel olarak keşfedilmiştir. Atomda elektronların çekirdeğe, taşıdıkları ters elektrik yüklerinden kaynaklanan karşılıklı çekim kuvvetleriyle bağlı olduğunu görmüştük. Bu çekici kuvvetler elemanları birbirlerine bağlı olan bu sisteme, yani atoma, yüklü elemanlarının kendi başlarına bulundukları duruma göre daha yüksek enerji sağlar. Bu nedenle, elektronları incelemek üzere yalıtabilmek için atoma yeterli enerji vererek onu *iyonlaştırmalı*, yani elektronları yörüngelerinden koparark serbest hale getirmeliyiz.

Yalıtıldıktan sonra fizikçiler, yük ve kütle gibi özelliklerini inceleyerek elektron hakkında daha fazla bilgi sahibi olabilirler.

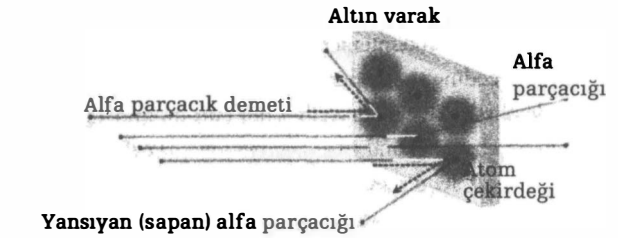
Atomun diğer parçası olan çekirdeğin keşfi çok daha şaşırtıcıydı. Günümüzde yapılan parçacık deneylerine benzer bir deneyle Ernest Rutherford ve öğrencileri, ince bir altın varak üzerine Helyum çekirdekleri (o zamanlar çekirdek henüz keşfedilmemiş olduğundan alfa parçacıkları olarak adlandırılıyorlardı) göndererek çekirdeğin varlığını keşfettiler. Alfa parçacıklarının enerjisinin Rutherford'un çekirdeğin içindeki yapıyı da anlaması için yeterli olduğu ortaya çıktı. Rutherford ve çalışma arkadaşları altın varak üzerine gönderdikleri alfa parçacıklarının bazen beklenenden çok daha büyük açılarla saçıldığını buldular (Şekil 20). Kâğıt peçeteden saçılmayı andıran saçılmalar beklerken sanki içeride alfa parçacıklarını sektiren bilyeler varmış gibi bir durum olduğunu gördüler. Rutherford'un bu konudaki kendi sözleri şöyle:

"Bu, kesinlikle benim hayatımda o zamana kadar gerçekleşen en inanılmaz olaydı. Sanki kâğıt peçeteye attığınız 40 cm'lik bir merminin geri sekip sizi vurması kadar şaşırtıcıydı. Düşününce bu geri sekmenin tek bir çarpışmanın sonucu olduğunu fark ettim ve hesap yaptığımda, atomun kütlesinin büyük bir bölümünün küçük bir çekirdekte yoğunlaşmış olması dışında, bu büyüklükte bir saçılma açısının olası olmadığını gördüm. İşte o zaman bende, merkezinde yüklü ve büyük kütleli bir çekirdek olan atom fikri ortaya çıktı."[2]

Proton ve nötronların içindeki kuarkların deneysel keşfinde da bazı bakımlardan Rutherford'unkine benzer olmakla birlikte, o deneyde kullanılan alfa parçacıkların enerjilerinden çok daha yüksek enerjiler gerektiren yöntemler kullanılmıştır. Bu yüksek enerjiler elektronları ve onların saldığı fotonları yeterince yüksek enerjilere kadar ivmelendirebilecek parçacık hızlandırıcılarını gerekli kılmıştır.

---

[2] Örneğin, Richard Rhodes'un *The Making of Atomic Bomb* (Simon& Schuster, 1986) adlı kitabında bu sözler vardır.



ŞEKİL 20 Rutherford'un deneyinde alfa parçacıkları (artık onların Helyum çekirdekleri olduğunu biliyoruz) altın bir varaktan saçılıyordu. Bazı alfa parçacıklarının beklenenden daha büyük açılarla saçılması atomların merkezinde yoğun bir maddenin, yani atom çekirdeğinin varlığını gösteriyordu.

İlk dairesel parçacık hızlandırıcısın, parçacıkların hızlandırıldığı yolların dairesel olması nedeniyle *siklotron* adı verilmişti. İlk siklotron 1932'de California Üniversitesinde Ernest Lawrence tarafından yapıldı. Çapı 30 cm'den küçük olan bu cihaz, modern standartlara göre çok güçsüzdü. Kuarkların keşfi için gereken enerjinin yanından bile geçemiyordu. Bu, sadece hızlandırıcı teknolojisindeki bir dizi gelişmeyle birlikte bir kilometre taşı olarak değerlendirilebilirdi (bu keşif, önemli başka keşiflere de yol açtı).

Kuarkların ve çekirdeğin içyapısının araştırılabilmesinden çok önceleri Emilio Segrè ve Owen Chamberlain, 1955'te Lawrence Berkeley Laboratuvarındaki *Bevatron*'da karşı-protonları keşfettikleri için 1959'da Nobel Ödülünü kazandılar. Siklotrondan daha karmaşık bir hızlandırıcı olan Bevatron protonlara durağan kütlelerinin altı katı kadar bir enerji kazandırabiliyordu ki bu, proton/karşı-proton çiftlerinin yaratılması için gereken enerjiden daha fazlaydı. Bevatron'daki proton demeti hedefleri ($E= mc^2$ formülünün mucizevi gücüyle) döverek, içinde karşı-proton ve karşı-nötronların da bulunduğu egzotik maddenin ortaya çıkmasını sağlıyordu.

İngiliz fizikçi Paul Dirac, karşı-maddeyi ilk olarak, elektronu tanımlayan denklemi bulmaya çalışırken 1927 yılında matematiksel olarak "keşfetti". Bilinen simetri ilkeleriyle tutarlı olarak yazabildiği tek denklem, kütlesi aynı fakat elekt-

rik yükü ters olan ve daha önce hiç kimsenin görmediği bir parçacığın varlığını ima ediyordu.

Dirac bu denkleme teslim olup bu gizemli parçacığın varlığını kabul edinceye kadar zihnini epeyce zorlamıştı. Amerikalı fizikçi Carl Anderson 1932'de pozitronu keşfederek Dirac'ın "Denklem benden daha akıllı çıktı", sözünü doğrulamış oldu. Önemli ölçüde daha büyük kütleli olan karşı-proton ise ancak yirmi yıldan daha uzun süre sonra keşfedilecekti.

Karşı-protonun keşfi sadece varlığının belirlenmesinden dolayı değil, evrenin işleyişi açısından temel olan madde/karşı-madde simetrisini göstermesi bakımından da önemliydi. Sonuçta dünya, karşı-maddeden değil, maddeden oluşuyor. Bildiğimiz maddenin kütlesinin çoğu proton ve nötron tarafından oluşturuluyor, bunların karşı-parçacıkları tarafından değil. Bilindiği kadarıyla bu madde/karşı-madde asimetrisi dünyamızda kritik öneme sahiptir. Ama bunun nasıl ortaya çıktığını henüz bilmiyoruz.

KUARKIN KEŞFİ

1967 ile 1973 yılları arasında Jerome Friedman, Henry Kendall ve Richard Taylor proton ve nötronların içinde kuarkların varlığını belirleyen bir dizi deney yaptılar. Bu deneyler, daha önceki dairesel siklotron ve Bevatronlardan farklı olarak, elektronları düz bir doğru üzerinde ivmelendiren doğrusal bir hızlandırıcıda yapıldı. Palo Alto'da bulunan hızlandırıcı merkezinin adı SLAC'dı (Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi anlamına gelen Stanford Linear Accelerator Center sözcüklerinin baş harflerinden oluşuyor). SLAC'da hızlandırılan elektronlar foton salıyordu. Bu yüksek enerjili –dolayısıyla küçük dalga boylu– fotonlar da çekirdeklerin içindeki kuarklarla etkileşiyordu. Friedman, Kendall ve Taylor, çarpışma enerjisini artırarak etkileşme hızındaki değişimi ölçüyorlardı. İçyapı olmasa, bu hızın azalması beklenirdi. İçyapı olduğu için hız gene azalıyordu ama çok daha yavaş bir şekilde. Yıllar önce, Rutherford'un çekirdeği keşfinde olduğu gibi, fırlatılan cisimler (bu durumda foton) protonun yapı içermeyen bir cisim olmasına göre farklı saçılıyorlardı.

Bununla birlikte, gerekli enerjide yapılan deneylerle bile, kuarkların tanımlanması çok basit bir süreç değildi. Hem teknolojinin, hem de kuramın, deneysel ipuçlarının beklenmesi ve anlaşılması noktasına kadar ilerlemesi gerekiyordu. James Bjorken ve Richard Feynman adlı kuramsal fizikçiler tarafından yapılan kavrayışlı deneyler ve kuramsal analizler, hızların çekirdeğin içindeki yapıya dayanan hesaplara uyduğunu gösterdi; bu durumda proton ve nötronların içindeki yapı, yani kuarklar keşfedilmiş oluyordu. Friedman, Kendall ve Taylor bu keşiflerinden ötürü 1990'da Nobel Ödülü aldılar.

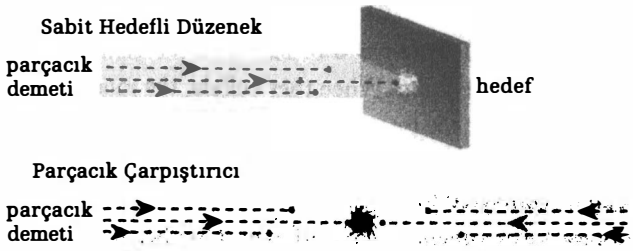
Hiç kimse gözleriyle, doğrudan bir kuarkı veya onun özelliklerini gözlemeyi bekleyemezdi. Yöntem, zorunlu olarak dolaylı idi. Her şeye karşın, ilk planda kuark hipotezinin açıklayıcı doğası ile birlikte hesaplarla ölçülen özelliklerin birbirini tutması kuarkın varlığını belirledi.

Fizikçi ve mühendisler zamanla, giderek daha yüksek enerjilerde çalışan, parçacıkları daha yüksek enerjilere kadar hızlandıran, farklı ve daha iyi hızlandırıcı türleri geliştirdiler. Daha büyük ve daha iyi hızlandırıcılar, giderek daha küçülen uzunlukları incelemekte kullanılan, daha yüksek enerjili parçacıklar ürettiler. Bu hızlandırıcılarda yapılan keşiflerle her bileşeni keşfedilen Standart Model kuruldu.

SABİT HEDEFLİ DENEYLER VE PARÇACIK ÇARPIŞTIRICILARI

Kuarkların keşfedildiği, hızlandırılan bir elektron demetinin durağan maddeye doğru yönlendirildiği deney *sabit hedefli* deney olarak bilinir. Bu deneyde maddeye yöneltilen, tek bir elektron demeti bulunur. Madde hedef ise kolay bir hedeftir.

Günümüzdeki çok yüksek enerjili hızlandırıcılar farklıdır. Her ikisi de yüksek enerjilere kadar hızlandırılan iki parçacık demetinin çarpışması kullanılır (Şekil 21). Hayal edilebileceği gibi, bu demetler çarpışmayı garantilemek üzere çok küçük bir bölgeye odaklanırlar. Bir demetin bir madde parçasıyla etkileşmesi bir başka demetle etkileşmesinden daha olası olduğundan, bu durumda beklenen çarpışmaların sayısı daha azdır.



ŞEKİL 21 Kimi parçacık hızlandırıcılarında parçacık demetleri ile sabit hedefler arasında etkileşme gerçekleşir. Diğerlerindeyse, iki parçacık demeti çarpıştırılır.

Bununla birlikte demet-demet çarpıştırıcılarının büyük bir avantajı vardır. Bu çarpışmalarda çok daha yüksek enerjilere erişilir. Çarpıştırıcıların sabit hedefli deneylere üstün olmasının nedenini Einstein size söyleyebilirdi. Bu, sistemin *değişmez kütlesi* olarak bilinen şeyle bağlantılıdır. Her ne kadar Einstein ünlü "görelilik" kuramıyla ünlenmiş olsa da, "Invariantentheorie"nin (değişmez kuram) çok daha uygun bir isim olacağını düşünüyordu. Araştırmasının gerçek hedefi, belirli bir referans sisteminin yanıltmalarından kaçınmanın bir yolunu bulmak ve bir sistemi niteleyen değişmez nicelikleri belirlemekti.

Bu düşünce büyük olasılıkla size, uzunluk gibi uzaysal nicelikler açısından daha tanıdık gelecektir. Durağan bir nesnenin uzunluğu, uzayda nasıl durduğuna bağlı değildir. Bir nesnenin uzunluğu sizin gözlemlerinizden bağımsız olarak sabittir ama koordinatları, rasgele seçtiğiniz eksen takımına ve yöne göre değişir.

Benzer biçimde Einstein olayların gözlemcinin konumundan ya da hareketinden bağımsız olarak nasıl betimleneceğini gösterdi. Değişmez kütle, toplam enerjinin bir ölçüsüdür. Sisteminizdeki enerjiyle ne kadar büyük kütleli bir cisim yaratılabileceğini bildirir.

Değişmez kütlenin miktarını belirlemek için daha iyi bir soru şudur: eğer sisteminiz yerinde duruyorsa, yani toplamda bir hızı ya da momentumu yoksa içerdiği enerji ne ka-

dardır? Eğer sistemin momentumu yoksa Einstein'ın $E=mc^2$ denklemi uygulanır. Bu yüzden, durmakta olan bir sistemin enerjisini bilmek, değişmez kütlesini bilmekle eşdeğerdir. Sistem durağan olmadığında, bu formülün hem momentum hem de enerjiye bağlı olan, daha karmaşık biçimini kullanmak zorundayız.

Enerjileri eşit, momentumları ise eşit ve ters olan iki demeti çarpıştırdığımızı varsayalım. Çarpıştıklarında, toplam momentumları sıfır olur. Bunun anlamı, toplam sistemin zaten hareketsiz olduğudur. Bu yüzden, bütün enerji, bu iki demetteki bütün parçacıkların toplam enerjisi kütleye dönüştürülebilir.

Bir sabit hedefli deney ise çok farklıdır. Demetin momentumu çok büyük, hedefinkiyse sıfırdır. Demet ve hedeften oluşan toplam sistem hâlâ hareketli olduğundan, enerjinin tamamı yeni parçacıkların üretilmesinde kullanılamaz. Sistemin hareket halinde olması nedeniyle çarpışmanın tüm enerjisi yeni parçacıkların üretimine gidemez çünkü enerjinin bir kısmı sistemin kinetik enerjisi olarak kalır. Bu enerji, demetin ve hedefin enerjilerinin çarpımının kareköküyle orantılıdır. Bunun anlamı, örneğin, eğer bir proton demetinin enerjisini 100 kat artırır ve bu demeti durağan bir protonla çarpıştırırsak, yeni parçacıkların üretimine gidecek olan enerjinin sadece 10 kat artacak olmasıdır.

Bu durum bize sabit hedefli ve demet-demet çarpışmaları arasında büyük bir fark olduğunu bildirir. Demet-demet çarpışmalarının enerjisi çok daha fazladır, olasılıkla demet-hedef çarpışmalarının iki katı olarak tahmin edebileceğiniz miktardan bile çok daha fazladır. Bu tahmin Newton düşünce tarzına dayalı olacağından demetin içinde neredeyse ışık hızıyla hareket etmekte olan göreli parçacıklara uygulanmaz. Sabit hedef ve demet-demet çarpışmalarının net enerjileri arasındaki fark, basit bir tahminle bulabileceğinizin çok ötesindedir çünkü ışık hızının yakınlarında görelilik devreye girer. Yüksek enerjiler elde etmek istediğimizde, demetleri çarpıştırmadan önce hızlandırarak enerjilerini yükselten parçacık çarpıştırıcılarından başka seçeneğimiz yoktur. İki

demetin birden hızlandırılması çok daha yüksek enerjiler ve dolayısıyla çok zengin çarpışmalar demektir.

LHC bir çarpıştırıcı örneğidir. Mıknatıslar iki parçacık demetini birbirlerine doğru yönlendirerek çarpıştırır. LHC gibi bir çarpıştırıcının olanaklarını belirleyen temel parametreler, çarpıştırdıkları parçacıkların türü, hızlandırıldıktan sonraki enerjileri ve makinenin *ışıma gücü*dür (*lüminozite*). Bu kavram çarpışan demetlerin yoğunluğunu ve ortaya çıkacak olayların sayısını gösterir.

ÇARPIŞTIRICI TÜRLERİ

Bir kez iki demetli çarpıştırıcıların sabit hedefli deneylerden daha yüksek enerji sağladıklarına (ve dolayısıyla daha küçük uzaklıklara nüfuz ettiklerine) karar verdikten sonra, bir sonraki soru nelerin çarpıştırılacağıdır. Burada bazı ilginç seçenekler ortaya çıkar. Özellikle çarpıştırılmak üzere hangi parçacıkların hızlandırılacağına karar vermemiz gerekir.

Yeryüzünde bulunabilen bir maddeyi kullanmak iyi bir fikirdir. İlke olarak, hızla elektronlara bozunan *müon* adı verilen kararsız parçacıkları veya başka hafif madde türlerine bozunan *üst kuark* gibi ağır kuarkları çarpıştırmayı deneyebilirdik.

Bu durumda, bu parçacıklar normal koşullarda bulunmadığından, önce bir laboratuvarda bu parçacıkları üretmemiz gerekirdi. Ama bu parçacıkları bozunmalarına fırsat vermeden üretip hızlandırabilsek bile, bozunmadan kaynaklanan ışınımın güvenli bir biçimde yönlendirilmesini sağlamamız gerekirdi. Bu sorunlardan hiçbiri aşılmaz değildir, özellikle de parçacık demeti olarak kullanılmalarının olabilirliği günümüzde araştırılan müonlar açısından. Ama bu parçacıklar, kararlı parçacıklarda karşılaşmadığımız bazı ek zorlukları da birlikte getirir.

O zaman en kolay seçeneği deneyelim: yeryüzünde bulunan ve bozunmayan, kararlı parçacıklar. Bu da hafif parçacıklar veya en azından hafif parçacıkların proton gibi bağlı, kararlı yapılandırmaları anlamına gelir. Elektrik alanları yardımıyla hızlandırabilmek için bu parçacıkları elektrik

yüklü olmalarını da isteriz. Bu durumda seçenekler olarak bol miktarda bulunabilen proton ve elektronlar öne çıkıyor.

Hangisini seçmeliyiz? Her ikisinin de artıları ve eksileri var. Elektronların güzel, temiz çarpışmalar yapmak gibi bir avantajı bulunmakta. Ne de olsa elektronlar temel parçacıklardır. Elektronu başka bir şeyle çarpıştırdığınızda, enerjisinin belirli bir bölümünü altyapıya bölünmez. Bildiğimiz kadarıyla, elektronun altyapısı yoktur. Elektron bölünemediğinden, herhangi başka bir şeyle çarpıştığında ne olup bittiğini net olarak izleyebiliriz.

Bu durum protonlar için doğru değildir. Protonun, Beşinci Bölümde incelediğimiz gibi, yeğin nükleer kuvvetlerle bir arada tutulan üç kuarktan oluştuğunu, kuarklar arasında değiş tokuş edilen gluonların bütün yapıyı bir arada tuttuğunu hatırlayalım. Bir proton yüksek enerjide çarpıştığında, ilgilendiğimiz, ağır bir parçacık yaratabilecek olan etkileşme genelde sadece protonun içinde bulunan, kuark gibi tek bir parçacığı içerir.

Bu kuark elbette protonun bütün enerjisini taşımayacaktır. O nedenle, protonun enerjisi çok yüksek olsa bile, kuarkın enerjisi genel olarak çok daha düşük olacaktır. Elbette bir miktar enerjisi vardır ama bu, protonun bütün enerjisini tek bir kuarka aktarması durumundaki kadar yüksek olmaz.

Üstüne üstlük, proton çarpışmaları karmakarışıktır. Bunun nedeni, ilgilenmekte olduğumuz süper yüksek enerjili çarpışmada rol almıyor bile olsa, protonun içindeki diğer şeylerin de ortalıkta olmasıdır. Geriye kalan bütün parçacıklar hâlâ yeğin etkileşmeler aracılığıyla etkileşirler ki, bu da ilgilenmekte olduğumuz etkileşmenin etrafında bir etkileşmeler sağanağı olduğunu gösterir.

Bu durumda protonların çarpıştırılması neden istenir? Bunun nedeni protonun elektrondan daha ağır olmasıdır. Gerçekten de protonun kütlesi elektronunkinin yaklaşık 2000 katıdır. Protonu yüksek enerjilere kadar hızlandırmak istediğimizde bunun iyi bir şey olduğu görülür. Bu devasa enerjilere ulaşmak için elektrik alanları parçacıkları bir çember etrafında döndürerek, her turda hızlarını giderek artıracak

şekilde ivmelendirir. Ama ivmelenen parçacıklar ışınım yayarlar ve ne kadar hafif iseler o kadar fazla ışınım yayarlar.

Bunun anlamı, her ne kadar elektronları çarpıştırmak istiyor olsak bile bunun hemen gerçekleşmeyeceğidir. Elektronları çok yüksek enerjilere kadar hızlandırabiliriz ama yüksek enerjili elektronlar bir çember üzerinde ivmelenirken enerjilerinin oldukça büyük bir bölümünü ışınım olarak yayar. (California, Palo Alto'daki California Doğrusal Hızlandırıcı Merkezindeki çarpıştırıcının doğrusal olmasının nedeni budur.) Böylece, enerji ve keşif potansiyeli açısından yarışı proton kazanır. Protonlar, yapılarındaki kuark ve gluon bileşenleri bile hızlandırılmış bir elektrondan daha fazla enerjiye sahip olacak ölçüde hızlandırılabilirler.

Aslına bakılırsa fizikçiler hem çarpışan protonlardan hem de çarpışan elektronlardan, parçacıklar konusunda epey şeyler öğrendiler. Elektron demetlerinin kullanıldığı çarpıştırıcılar yüksek enerjili proton demetlerinin eriştiği enerjilerde çalışamazlar. Ama elektron demetlerinin kullanıldığı çarpıştırıcılarda yapılan deneylerdeki ölçümler, proton çarpıştırıcılarındaki insanların ancak rüyalarında görebilecekleri hassaslıklara ulaşır. Özellikle 1990'larda SLAC ve CERN'deki Büyük Elektron-Pozitron çarpıştırıcısında (LEP) (bu isimlerin tatlılığı beni hep eğlendiriyor) yapılan deneylerde parçacık fiziğinin Standart Modelinin hesaplarının doğrulanmasında olağanüstü bir hassaslığa ulaşıldı.

Bu *hassas elektrozayıf ölçüm* deneyleri, elektrozayıf etkileşmelerin bilgisiyle öngörülebilecek pek çok farklı süreçten yararlanmıştır. Örneğin, bu deneylerde zayıf kuvvet taşıyıcılarının kütleleri, farklı parçacık türlerine bozunma hızları ve zayıf etkileşmeler hakkında çok daha fazla şey anlatan dedektörlerin ilerideki ve gerideki kısımlarındaki asimetriler ölçüldü.

Hassas elektrozayıf ölçümlere etkin kuram düşüncesi açık bir şekilde uygulanır. Fizikçiler Standart Modeldeki bütün kuvvetlerin etkileşme yeğinlikleri gibi birkaç parametresini saptamak üzere yeterli deneyler yaptıktan sonra, geriye kalan her şey hesaplanabilir. Fizikçiler bütün ölçüm-

lerin tutarlılığını kontrol ederler ve bize bir şeyin eksik olup olmadığını bildirecek olan sapmaları ararlar. Şu ana kadar ölçümlerden Standart Modelin olağanüstü iyi işlediği görülüyor, öyle ki, şu anda ortada olanların ötesinde bilmemiz gereken ipuçlarına hâlâ sahip değiliz, LEP enerjilerindeki etkileri küçük olmalı.

Bu bize daha ağır parçacıklar ve daha yüksek enerji etkileşmeleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak için, LEP ve SLAC'da ulaştıklarımızdan epeyce daha yüksek enerjilerdeki süreçleri doğrudan incelememiz gerektiğini anlatır. Elektron çarpışmalarıyla parçacıkların neden kütleleri olduğu ve kütlelerin neden o kadar olduğunu belirlemek için ihtiyacımız olduğunu düşündüğümüz enerjilere, en azından yakın gelecekte erişme olanağımız yoktur. Bunu ancak proton çarpışmalarından öğrenebiliriz.

Fizikçilerin 1980'lerde LEP'i barındırmak üzere inşa edilen tünelde elektronları değil, protonları hızlandırmaya karar vermiş olmalarının nedeni budur. CERN sonunda yeni dev girişiminin, LHC'nin hazırlıkları için LEP'in çalışmalarını sonlandıracaktır. Protonlar ışınımla dışarıya çok enerji vermediklerinden, LHC protonları yüksek enerjilere çok daha etkili bir şekilde ulaştırır. Proton çarpışmaları elektronlarınkinden daha karışık olup deneysel zorlukların sayısı çok fazladır. Ama proton demetleriyle bizi onlarca yıldır aradığımız yanıtlara doğrudan ulaştırabilecek ölçüde yüksek enerjilere ulaşma şansımız vardır.

PARÇACIKLAR MI YOKSA KARŞI-PARÇACIKLAR MI?

Neleri çarpıştıracağımıza karar vermeden önce yanıtlamamız gereken bir soru daha var. Sonuçta çarpışmalar iki demetle meydana gelir. Yüksek enerji gereksinmesi nedeniyle bu demetlerden birinin protonlardan oluşması gerektiğine karar verdik diyelim. Acaba diğer demetteki parçacıklar, protonlardan mı, yoksa karşı-parçacıklar, yani karşı-protonlardan mı oluşmalıdır? Proton ve karşı-protonlar aynı kütleye sahip olduklarından aynı hızda ışıma yaparlar. Hangisini seçeceğimize karar verebilmek için başka ölçütler kullanmalıyız.

Protonların sayısı açıkça çok daha fazladır. Etrafta çok fazla karşı-proton görmüyoruz çünkü bunlar çok sayıdaki protonlarla etkileşip yok olarak enerjiye veya başka türdeki parçacıklara dönüşürler. O zaman neden karşı-parçacık demeti düşünülüyor? Kazanılacak olan şey nedir?

Bu soruların çok sayıda yanıtı var. Birincisi, aynı manyetik alan protonları bir yöne, karşı-protonları ise tam ters yöne göndereceği için hızlandırma işlemi daha basittir. Ama en önemli neden, üretilecek parçacıklarla ilgilidir.

Parçacık ve karşı-parçacıkların kütleleri eşit, yükleriyse terstir. Bu da birlikte hareket eden parçacık ve karşı-parçacığın taşıdığı toplam yükün, saf enerjinin taşıdığıyla aynı, yani sıfır olması demektir. $E = mc^2$ formülüne göre, parçacık ve karşı-parçacığı enerjiye dönüşebilir ve sonra, çok ağır olmamaları ve başlangıçtaki parçacık/karşı-parçacık çiftiyle yeterince yeğin etkileşmemeleri koşuluyla bir başka parçacık/karşı-parçacık çiftine dönüşebilirler.

Yaratılan bu parçacıklar ilke olarak, yükleri Standart Modeldeki parçacıklardan farklı olan yeni ve egzotik parçacıklar olabilirler. Çarpışan bir parçacık ve onun karşı-parçacığının net yükü sıfırdır ve hiçbiri egzotik bir parçacık veya onun karşı-parçacığını yaratamaz. O nedenle egzotik parçacığın yükleri Standart Modeldekilerden farklı olabilse bile, bir parçacık ve onun karşı-parçacığının toplam yükü sıfır olup ilke olarak üretilebilirler.

Bu mantığı elektronlara uygulayalım. Eğer iki elektron gibi aynı yükü taşıyan parçacıkları çarpıştırırsak, yükleri sadece etkileşime giren parçacıkların yüküne eşit olan parçacıklar üretilebilir. Böyle bir çarpışmada ya yükü iki olan tek bir parçacık, ya da elektron gibi her birinin yükü bir olan iki parçacık ortaya çıkabilir. Bu da sınırlayıcı bir durumdur.

Aynı yükü taşıyan iki parçacığın çarpıştırılması son derece sınırlayıcıdır. Öte yandan, parçacık ve karşı-parçacığının çarpıştırılması, sadece parçacıkların çarpıştırıldığı durumlarda mümkün olamayacak, yeni kapılar açar. Olası son durumların sayısının çokluğu nedeniyle elektron-pozitron çarpışmalarının potansiyeli, elektron-elektron çarpışmala-

rına göre çok daha yüksektir. Örneğin elektronlarla karşı-parçacıklarının, yani pozitronların çarpışması *Z ayar bozonu* gibi yüksüz parçacıklar (LEP böyle çalışıyordu) olduğu kadar, yaratılabilecek kadar hafif parçacık/karşı-parçacık çiftleri yaratmıştır. Bulundurulmalarının zorluğu nedeniyle çarpışmalarda karşı-parçacık kullanırken ödenen fiyatın yüksek olmasına karşın, keşfetmeyi umduğumuz egzotik parçacıkları düşündüğümüzde, kazancımız da büyük olur.

Yakın zamanlarda en yüksek enerjili çarpıştırıcılarda bir proton ve bir karşı-proton demeti kullanılıyordu. Bu da elbette karşı-protonların üretilmesi ve stoklanmasının bir yolunun bulunmasını gerektirmiştir. Karşı-protonların etkin biçimde stoklanması CERN'de elde edilen temel kazanımlardan biridir. Daha önceleri, CERN'de LEP adı verilen elektron-pozitron çarpıştırıcısı yapılmadan önce, laboratuvarda yüksek enerjili proton ve karşı-proton demetleri üretiliyordu.

CERN'deki proton/karşı-proton çarpışmaları sırasında yapılan en önemli keşifler, Carlo Rubbia ve Simon van der Meer'in 1984'te Nobel Ödülü aldıkları, elektrozayıf kuvveti ileten elektrozayıf ayar bozonlarıydı. Diğer kuvvetlerde olduğu gibi, elektrozayıf kuvvetler de parçacıklarla iletilir. Bu durumda bu parçacıklar *zayıf ayar bozonları* –pozitif veya negatif yüklü *W* ve yüksüz *Z vektör bozonları*– olup bu üç parçacık zayıf nükleer kuvvetten sorumludur. Ben hâlâ bu *W* ve *Z*'leri, o zaman aralarında benim de bulunduğum ziyaretçi fizikçilerin ve yaz dönemi öğrencilerinin kaldığı yurtlara içkili halde girerken İngiliz bir fizikçinin yüksek sesle söylediği gibi "kahrolası vektör bozonları" olarak görüyorum. Bu fizikçi Amerika'nın bu konulardaki üstünlüğünden endişeleniyordu ve Avrupa'nın ilk büyük keşfini bekliyordu. 1980'lerde CERN'de *W* ve *Z* bozonları keşfedildiğinde, zayıf kuvvetin önemli bir bileşeni olduğu Standart Model, deneysel olarak kanıtlanmıştı.

Bu deneylerin başarısındaki kritik nokta, Van der Meer'in karşı-protonları stoklamak için bulduğu yöntemdi. Karşı-protonlar, yok olmak için protonlardan başka bir şey aramadıklarından, bu başlı başına zor bir işti. Van der Meer'in

stokastik soğutma olarak bilinen sürecinde, bir grup parçacığın elektrik sinyalleri özellikle yüksek momentuma sahip olan parçacıkları demetten çıkaran ve sonuçta bütün grubu soğutan ve böylece parçacıkların hemen kaçmamasını ya da kaba çarparak karşı-protonların bile stoklanabilmesini sağlayan bir aleti çalıştırıyordu.

Proton/karşı-proton çarpıştırıcısı Avrupa'yla sınırlı değildi. Bu türden en yüksek enerjili çarpıştırıcı Illinois, Batavia'da kurulmuş olan *Tevatron*'du. Tevatron 2 TeV enerjiye ulaşabiliyordu (ki bu, protonun durağan enerjisinin yaklaşık 2000 katıdır).[3] Protonlar ve karşı-protonlar çarpıştırılarak ayrıntılı olarak inceleyebileceğimiz başka parçacıkları üretiyorlardı. Tevatron'daki en önemli keşif, Standart Modelde bulunması beklenen son ve en ağır parçacık olan *üst* kuark idi.

Yine de LHC, hem CERN'deki ilk çarpıştırıcıdan hem de Tevatron'dan farklıdır. (Çarpıştırıcı türlerinin bir özeti için *bkz.* Şekil 22.) LHC'de proton ve karşı-protonlar yerine iki proton demeti çarpıştırılır. LHC'de proton ve karşı-proton demetleri yerine iki proton demeti seçilmesinin nedeni, güç algılanır olmakla birlikte anlamaya çalışmaya değer. En büyük fırsatlarla dolu olan çarpışmalar gelen parçacıkların toplam yükünün sıfır olduğu çarpışmalardır. Şimdiye kadar söz ettiğimiz çarpışmalar bu türdendi. Net yükünüz sıfır olduğunda (yeterince enerjiniz olduğu varsayılırsa) herhangi bir parçacığı ve onun karşı-parçacığını üretebilirsiniz. Eğer gelenler iki elektronsa, üretilen parçacıkların net yükü eksi iki olur ki, bu da pek çok olasılığın dışlanması demektir. İki protonu çarpıştırmanın da aynı derecede kötü bir fikir olduğunu düşünebilirsiniz. Ne de olsa iki protonun toplam yükü ikidir ve bu da büyük bir gelişmeyi getirmez.

Eğer protonlar temel parçacıklar olsaydı, bu kesinlikle doğru olurdu. Ama Bölüm 5'te gördüğümüz gibi, proton, alt birimlerden oluşur.

---

[3] Parçacık fizikçileri enerjiyi elektronvolt cinsinden ölçerler, ben de kitapta bu birimi kullanacağım. Bir elektronvolt (eV) serbest bir elektronun bir voltluk bir elektrik potansiyel farkı altında ivmelendikten sonra kazandığı enerjidir. Daha genel olarak ben bir milyar elektron volt olan GeV ve bir trilyon elektron volt olan TeV birimlerinden söz edeceğim.

FARKLI ÇARPIŞTIRICILARIN ÇARPIŞTIRILMASI

İVMELENDİRİCİ/ ÇALIŞMAYA BAŞLADIĞI YIL LAB@KONUM	ÇARPIŞAN PARÇACIKLAR	ŞEKİL	ENERJİ BÜYÜKLÜĞÜ
Stanford Doğrusal Hızlandırıcı (SLC)1989 *SLAC@Menlo Park, CA*	elektron&pozitron	Doğrusal e^- >< e^+	**100 GeV** 3,2 km
Tevatron 1983 *Fermilab@ Btavia, Illinois*	proton&karşı-proton	Dairesel p><p^-	**1960 GeV** 6,3 km
Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı(ları) (LEP/LEP2)* 1989/2000 *CERN@* Cenevre, İsviçre	elektron&pozitron	Dairesel e^- >< e^+	**90 GeV/209 GeV** 26,6 km
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) 2008 *CERN@ Cenevre, İsviçre*	proton&proton	Dairesel p><p	**7000GeV-14000 GeV** 26,6 km

ŞEKİL 22 Farklı çarpıştırıcıların enerjilerini, neleri çarpıştırdıklarını ve hızlandırıcının şeklini gösteren bir karşılaştırma.

Proton, gluonlarla bir arada tutulan kuarklar içerir. Böyle olsa bile, eğer protonun içindekilerin tümü, protonun yükünü taşıyan üç *değerlik* kuarkı –iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark– olsa, bu da iyi bir şey olmaz: iki değerlik kuarkının yüklerinin toplamı hiçbir zaman sıfır olmaz.

Bununla birlikte, protonun kütlesi, içerdiği kuarkların kütlesinden gelmez. Protonun kütlesi esas olarak protonları bir arada tutan enerjiden gelir. Hızla hareket eden bir protonun enerjisi oldukça yüksektir. Bütün bu enerji sayesinde proton, yükünden sorumlu olan üç değerlik kuarkına ek olarak bir kuark, karşı-kuark ve gluon "denizi" içerir. Yani, yüksek enerjili bir protonun içine bakabilseydiniz, sadece üç değerlik kuarkı değil, toplam yükleri sıfır olan bir kuark, karşı-kuark ve gluon denizi bulurdunuz.

Bu nedenle, proton çarpışmaları göz önüne alındığında, mantık olarak elektronlarla olduğundan biraz daha dikkatli olmalıyız. İlginç olaylar, bu alt birimlerin çarpışmalarından kaynaklanır. Çarpışmalar protonların değil, alt birimlerin yüklerini kapsar. Protonun içinde potansiyel olarak bulunan "deniz-kuarklar" ile gluonlar, protonun net yüküne katkıda bulunmasa bile, yapısına katkıda bulunurlar. Protonlar çarpıştığında, protonun içindeki üç değerlik kuarkından biri bir başka değerlik kuarkına çarpabilir ve çarpışmadaki net yük sıfır olmaz. Olaydaki net yük sıfır olmadığında, doğru yük toplamını içeren ilginç olaylar ara sıra ortaya çıkabilir ama böyle bir çarpışma, net yükün sıfır olduğu geniş olasılık kapasitesine sahip olmaz.

Yine de, "sanal deniz" nedeniyle birçok ilginç çarpışma olacaktır, bu durumda bir kuarkın bir karşı-kuarkla veya bir gluonun bir karşı-gluonla karşılaşarak net yükü sıfır olan çarpışmalar ortaya çıkarması olasıdır. Protonlar çarpıştığında, her zaman böyle olmamakla birlikte, bir protonun içindeki kuark, diğerinin içindeki karşı-kuarkla çarpışabilir. LHC'de ne olup bittiğini sorguladığımızda, aralarında "deniz parçacıklarının" çarpışmasının da olduğu, ortaya çıkabilecek bütün olası süreçler de rol oynar. Protonlar yüksek enerjilere kadar hızlandırıldıklarında, aslında bu deniz çarpışmaları giderek daha olası hale gelir.

Protonun geri kalanı çarpışmaya girmeyip ileri doğru gitmeye devam ettiğinden, üretilen parçacıklar protonun toplam yükü tarafından belirlenmez. Protonların çarpışmayan parçaları protonların net yüklerinin geri kalanını dışarı taşır ve bu enerji de demet borusundan çıkıp yok olur. Bir LHC çarpışması sırasında protonların yüklerinin nereye gittiğini soran Padua belediye başkanına verilen incelikli yanıt böyleydi. Bu durum protonun bileşik yapısıyla ve bildiğimiz en küçük elemanların, yani kuark ve gluonların doğrudan çarpışmalarını garantileyen yüksek enerjiyle ilişkilidir.

Sadece protonların parçaları çarpıştığından ve bu parçalar sıfır net yükle çarpışan sanal parçacıklar olabileceğinden, proton-proton yerine proton/karşı-proton çarpıştı-

rıcısının seçimi o kadar da açık değildir. Oysaki geçmişte, ilginç olayları garantilemek adına karşı-proton üretmek için düşük enerjili çarpıştırıcıları kurban etmek buna değerken, LHC enerjilerinde bu seçim o kadar açık değildir. LHC'nin erişeceği yüksek enerjilerde, proton enerjisinin önemli bir bölümü deniz kuarkları, karşı-kuarkları ve gluonlar tarafından taşınır.

LHC'nin fizikçi ve mühendisleri tasarım seçimini proton/karşı-proton demetlerini değil, iki proton demetini çarpıştıracak şekilde yapmışlardır.[4] Bu durum, yüksek ışıma gücü, yani daha yüksek olay sayısı üretmeyi çok daha erişilebilir bir amaç haline getirmiştir. Proton demetleri üretmek, karşı-proton demetleri üretmekten çok daha kolaydır.

O nedenle, LHC bir proton/karşı-proton çarpıştırıcısı değil, bir proton-proton çarpıştırıcısıdır. Proton-proton çarpışmalarıyla elde edilebilecek pek çok çarpışmasıyla devasa bir potansiyele sahiptir.

[4] İşe bakın ki, Dan Brown'ın *Melekler ve Şeytanlar* adlı romanındaki kumpasın karşı-madde üzerine kurulmuş olmasına karşın, LHC CERN'in tümüyle maddeyle çalışan ilk çarpıştırıcısıdır.

YEDİNCİ BÖLÜM

EVRENİN KENARI

1 Aralık 2009'da Barselona Havalimanı yakınlarındaki Marriott Otelde sabah 06:00'da bir uçağa yetişmek üzere isteksizce uyandım. Orada bulunmamın nedeni, fizik ve keşif konulu bir librettosunu yazdığım küçük bir operanın İspanya'daki ilk gösterimine katılmaktı. Hafta sonu olağanüstü verimli geçmiş olsa da, yorgunluktan tükendiğim için bir an önce eve gitmek istiyordum. Ama hoş bir sürpriz kısa bir süre gecikmeme neden oldu.

Otel görevlisinin odamın kapısına bırakmış olduğu gazetenin ilk haberi "Atom Çarpıştırıcısı Rekora Koşuyor"du. Müthiş bir felaket veya anlık ilginç bir olayı anlatan, sıradan bir haber yerine, Büyük Hadron Çarpıştırıcısının birkaç gün önce ulaşmış olduğu rekor enerji düzeyleri hakkındaki bir öykü, günün en önemli haberi olmuştu. LHC'deki bir dönüm noktasını konu eden yazıdaki heyecan elle tutulur düzeydeydi.

Birkaç hafta sonra, yüksek enerjili iki proton demeti gerçekten çarpıştığında, *New York Times* baş sayfadan "Çarpıştırıcı Rekor Kırdı ve Avrupa, ABD'nin liderliğini ele geçirdi"[1] başlığıyla bir haber-makale yayımladı. İlk haberde sözü edilen rekor enerji, son on yılda LHC'de ulaşılan bir dizi dönüm noktasının ilki olarak kayıtlara geçti.

LHC'de artık şimdiye kadar incelenmiş en kısa uzaklıklara nüfuz ediliyor. Aynı zamanda uydu ve teleskop gözlemleriyle evrendeki en büyük uzaklıklar da keşfediliyor, evrenin genişleme hızı ve Büyük Patlamadan kalan ardalan ışınımının ayrıntıları inceleniyor.

---

[1] Overbye, Dennis. "Collider Sets Record and Europe Takes U. S. Lead." *New York Times*, 9 Aralık, 2009.

Şimdiye kadar evrenin yapısı konusunda epey şey öğrendik. Ama pek çok ilerlemede de olduğu gibi, bilgi dağarcığımız büyüdükçe, başka sorular da ortaya çıktı. Bunlardan bazıları kuramsal çerçevelerimizdeki yaşamsal eksiklikleri ortaya koydu. Yine de, pek çok durumda, eksik bağlantıların doğasını, neyi nasıl arayacağımızı bilecek kadar iyi anlıyoruz.

O zaman, ufukta bizleri nelerin beklediğine yakından bakalım ve o ufukta hangi deneylerin olduğunu ve bu deneylerde neler bulunmasını beklediğimizi görelim. Bu bölümde, kitabın geri kalanında keşfedilecek temel sorular ve fizik araştırmaları ortaya konacaktır.

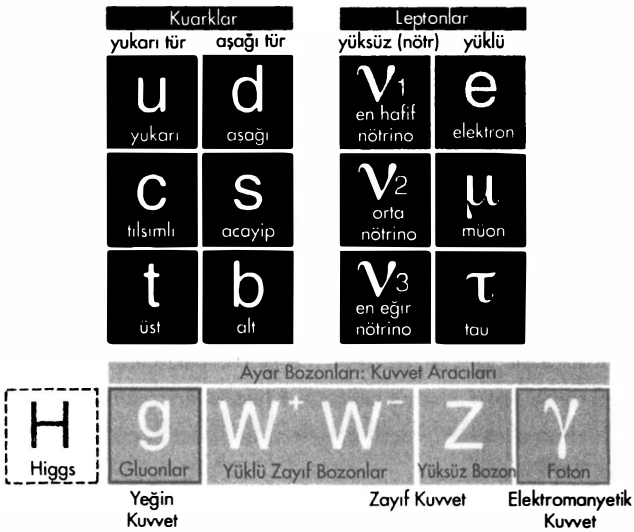
LHC'DE STANDART MODELİN ÖTESİNE GEÇİLMESİ

Parçacık fiziğindeki Standart Model, yapımızda bulunan hafif parçacıklara ilişkin hesapların nasıl yapılacağını bildirir. Aynı zamanda benzer etkileşmelere giren daha ağır, diğer parçacıkları da tanımlar. Bu ağır parçacıklar hafif olanlarla ve çekirdeklerle, vücutlarımızı ve güneş sistemini oluşturan parçacıkların da etkilendiği, aynı kuvvetler aracılığıyla etkileşirler.

Fizikçiler elektronu ve daha ağır, benzer yüklü parçacıklar olan *müon* ve *tau*'yu keşfettiler. *Lepton* adını verdiğimiz bu parçacıkların *nötrino* adı verilen ve sadece *zayıf kuvvet* aracılığıyla etkileşen yüksüz parçacıklarla (elektrik yükü taşımadıklarından, elektromanyetik etkileşme yapmayan) çiftler oluşturduklarını biliyoruz. Zayıf kuvvet nötronların protonlara radyoaktif beta bozunmasından (ve genel olarak çekirdeklerin beta bozunmasından) sorumlu olup güneşte gerçekleşen bazı nükleer süreçlerde de etkileşmeyi sağlar. Standart Modeldeki bütün madde, zayıf kuvvetin etkisi altındadır.

Proton ve nötronların içinde bulunan kuarkları da biliyoruz. Kuarklar, kendilerini proton ve nötronların içinde bir arada tutan yeğin nükleer kuvvetin olduğu kadar, hem zayıf, hem de elektromanyetik kuvvetin etkisi altındadırlar. Yeğin kuvvet karşımıza hesaplamada bazı zorluklar çıkarıyorsa da, temel yapısını anlıyoruz.

Kuark ve leptonlar, yeğin, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerle birlikte Standart Modelin esasını oluşturur. (Standart Modeldeki parçacıkların bir özeti için *bkz.* Şekil 23.) Bu bileşenlerle, fizikçiler şimdiye kadar yapılan bütün parçacık fiziği deneylerinin sonuçlarını başarıyla tahmin ettiler. Standart modeldeki parçacıkları ve kuvvetlerin nasıl davrandığını çok iyi anlıyoruz.



ŞEKİL 23 Maddenin bilinen en temel elemanlarını ve bunların etkileşmelerini tanımlayan, parçacık fiziğinin Standart Modelinin bileşenleri. Yukarı ve aşağı tür kuarklar yeğin, zayıf ve elektromanyetik kuvvetten etkilenirler. Yüklü leptonlar zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerden etkilenirken nötrinolar sadece zayıf kuvvetten etkilenirler. Gluonlar, zayıf ayar bozonları ve fotonlar da bu kuvvetleri iletir. Higgs bozonu henüz bulunamamıştır.*

Bununla birlikte, geriye bazı büyük bilmeceler kalıyor. Bu bilmecelerden en önemlisi, bu tabloya kütleçekimin nasıl girdiğidir. Bu, LHC'nin çözme şansına sahip olduğu bir soru

* 2012 yılında CERN'deki LHC deneylerinden ATLAS ve CMS'te Higgs parçacığı keşfedildi ve kütlesi 125 GeV olarak ölçüldü –yn.

olsa da, çözüm garantili olmaktan uzaktır. LHC'nin enerjisi, her ne kadar şimdiye kadar yeryüzünde elde edilenler ve listede yer alan diğer büyük bilmecelerden bazıları açısından bakıldığında yüksek olsa da, kuantum kütleçekime ilişkin soruları kesin bir biçimde yanıtlayamayacak ölçüde düşüktür. Bunu yapabilmek için, hem kuantum mekaniksel hem de kütleçekimsel etkilerin ortaya çıkabileceği, son derece küçük uzaklıkları incelememiz gerekir ki, bu da LHC'nin erişebileceğinin çok uzağındadır. Eğer şansımız yaver giderse ve kütleçekim, az sonra sözünü edeceğimiz, kütleye ilişkin parçacık problemlerinin çözümünde gerçekten önemli bir rol oynuyorsa, hem bu soruyu yanıtlama konusunda daha iyi bir durumda olacağız, hem de LHC'de kütleçekim ve uzayın kendisi hakkında önemli bilgiler elde edilebilecek demektir. Aksi halde, kütleçekimin herhangi bir kuantum kuramının deneysel testleri –aralarında sicim kuramı da olmak üzere– büyük olasılıkla epeyce uzakta olacaktır.

Bununla birlikte kütleçekimin diğer kuvvetlerle olan ilişkisi, bu noktada yanıtsız kalmış olan tek büyük soru değildir. Kavrayışımızdaki bir diğer önemli ve LHC'nin çözümlemeye hazır olduğu boşluk, temel parçacıkların kütlelerinin ortaya çıkış nedenidir. Bir şeyin kütlesinin verilen, yapısal ve değiştirilemez bir özelliği olduğunu düşünmeye yatkın olduğumuzdan, bu soru kulağa tuhaf gelebilir.

Bir anlamda bu doğrudur da. Kütle, yük ve etkileşmelerle birlikte bir parçacığı tanımlayan özelliklerden biridir. Parçacıkların enerjisi her zaman sıfırdan farklıdır ama kütle, aralarında sıfırın da bulunduğu, birçok olası değer alabilen bir özelliktir. Einstein'ın temel keşiflerinden biri, bir parçacık durağan iken ne kadar enerjisi olduğunu kütlesinin belirlediğini anlamış olmasıdır. Ama parçacıkların kütlesi her zaman sıfırdan farklı olmayabilir. Ve foton gibi sıfır kütleye sahip olanlar hiçbir zaman durağan olmazlar.

Yine de temel parçacıkların yapısal bir özelliği olan sıfırdan farklı kütleleri, büyük bir sırdır. Sadece kuark ve leptonlar değil, zayıf kuvveti ileten zayıf ayar bozonları da sıfırdan farklı kütleye sahiptirler. Deneyciler bu kütleleri ölçmüşlerse

de, en basit fizik kuralları onlara izin vermemiştir. Standart Modelin öngörüleri ancak, eğer parçacıkların kütlelerinin böyle olduğunu varsayarsak gerçekleşir. Ama bu kütlelerin nereden geldiğini bilmiyoruz. En basit kuralların uygulanmadığı ve çok daha gizemli bir şeyle karşı karşıya olduğumuz açık.

Parçacık fizikçileri bu sıfırdan farklı kütlelerin, evrenin erken dönemlerinde gerçekleşen ve bu kütlelerin nasıl ortaya çıktığını ilk anlayanlar arasında olan İskoç fizikçi Peter Higgs'e atfen *Higgs mekanizması* adı verilen, son derece dramatik bir olay nedeniyle ortaya çıktığına inanıyorlar. En azından altı diğer bilim adamı bu görüşe benzer katkılar yaptıkları için zaman zaman Englert-Brout-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble mekanizmalarını da işitebilirsiniz ama ben Higgs adını kullanacağım.[2] Fikir –adına ne dersek diyelim– evrenin doğasını değiştiren bir faz geçişinin (sıvı suyu kabarcıklanarak su buharına dönüştüren faz geçişi gibi) ortaya çıkmış olmasıdır. Önceleri sıfır kütleli parçacıklar ışık hızıyla hareket ederken, sonraları –Higgs alanı adı verilen alanı içeren bu faz geçişinden sonra– parçacıklar kütle kazanmış ve daha yavaş hareket etmeye başlamışlardır. Higgs Mekanizması temel parçacıkların Higgs alanının yokluğundaki sıfır kütleli durumdan, deneylerde ölçtüğümüz sıfırdan farklı kütlelere nasıl geçtiğini anlatır.

Eğer parçacık fizikçileri haklı ise ve evrende Higgs mekanizması işliyorsa, LHC evrenin tarihini ortaya koyan işaretleri gün ışığına çıkaracaktır. En basit anlatımıyla kanıt bir parçacıktır: başroldeki *Higgs bozonu*. Higgs mekanizması-

---

[2] 1997'de Avrupa Fizik Derneği Robert Brout, François Englert ve Peter Higgs'in kazanımlarını tanımış ve bu üçü 2004'te bir kez daha Fizik Wolf Ödülü almıştır. François Englert, Robert Brout, Peter Higgs, Gerald Guralnik, C. R. Hagen ve Tom Kibble 2010 yılında Amerikan Fizik Derneğinden Kuramsal Parçacık Fiziğinde J. J. Sakurai ödülünü almışlardır. Kişilikler üzerinde değil, mekanizma üzerinde yoğunlaşacağımdan, metinde Higgs ve Peter Higgs adlarını kullanacağım. Elbette eğer Higgs bulunursa, en fazla üç kişi ödüllendirileceği için, öncelik konusu önemlidir. Durumun genel bir analizi için şu makaleye bakabilirsiniz: Luis Alvarez-Gaume ve John Ellis, "Eyes on a Prize Particle," *Nature Physics* 7 (January 2011)R

nın işlemediği, çok daha kapsamlı fizik kuramlarında Higgs bozonunun yanı sıra aynı kütleye sahip başka parçacıklar bulunabilir ya da Higgs tümüyle bir başka parçacıkla yer değiştirebilir.

Higgs mekanizmasının nasıl işlediğinden bağımsız olarak, LHC'nin ilginç bir şey üretmesini bekliyoruz. Bu bir Higgs bozonu olabilir. Bu, daha sonra inceleyeceğimiz *technicolor* gibi, çok daha egzotik bir kuramın ipuçları olabilir. Veya hiç öngörülmemiş bir şey de olabilir. Eğer her şey planlandığı gibi giderse, LHC'deki deneylerde Higgs mekanizmasının nasıl işlediği görülecektir. Ne bulunursa bulunsun, bu keşif bize parçacıkların kütlelerini nasıl edindikleri konusunda bir şeyler söyleyecektir.

Maddenin en temel elemanlarını ve etkileşmelerini tanımlayan parçacık fiziğinin Standart Modeli çok güzel işliyor. Öngörüleri pek çok kez, büyük bir kesinlikle doğrulanmıştır. Bu Higgs parçacığı, Standart Model bilmecesinin kalan son parçasıdır.[3] Biz şimdi, parçacıkların kütleleri olduğunu varsayıyoruz. Ama Higgs mekanizmasını anladığımızda, bu kütlelerin nereden geldiğini de anlayacağız. On Altıncı Bölümde daha ayrıntılı biçimde incelenecek olan Higgs mekanizması, kütlenin daha tatmin edici bir şekilde anlaşılmasının temelidir.

Ve parçacık fiziğinde LHC'nin çözümüne yardımcı olabileceği bir başka, hatta daha da büyük bir bilmece daha vardır. Büyük Hadron Çarpıştırıcısında yapılan deneyler büyük olasılıkla *parçacık fiziğinde sıradüzen problemi* olarak bilinen bir sorunun yanıtını aydınlatacaktır. Higgs mekanizması temel parçacıkların neden kütleleri olduğu sorusuyla ilgilenir. Sıradüzen problemi ise bu kütlelerin neden bu değerlerde olduklarını araştırır.

Parçacık fizikçileri bu kütlelerin bütün evreni kaplayan Higgs alanı nedeniyle ortaya çıktıklarına inanmakla kalmaz, kütlesizden kütleli parçacıklara geçişin enerjisini bildiğimi-

[3] Standart modelin, var olabilecek ve nötrino kütlelerinde rol oynayabilecek çok ağır, sağ el kuralına uyan nötrinoları da kapsamasının gerekip gerekmediği kuşkuludur.

ze de inanırız. Bunun nedeni, Higgs mekanizmasının bazı parçacıklara kütlelerini öngörülebilir bir şekilde, sadece zayıf nükleer kuvvetin gücüne bağlı olan bir şekilde ve geçişin olduğu enerjilerde kazandırıyor olmasıdır.

Garip olan, bu geçiş enerjisinin kuramsal bakış açısından gerçekten anlamlı olmamasıdır. Eğer kuantum mekaniği ve özel görelilikten öğrendiklerimizi bir araya getirirsek, parçacık kütlelerine katkıları hesaplayabiliriz ve bu değerler ölçülenlerden çok yüksektir. Kuantum mekaniği ve özel göreliliğe dayanan hesaplar bize, daha zengin bir kuram olmaksızın çok daha büyük –gerçekten de 10 katrilyon ya da 10^{16} kat– olması gerektiğini gösteriyor. Bu kuramın yeniden gözden geçirilmeye gereksinimi olduğu çok açık.

Parçacık fiziğindeki sıradüzen problemi bize maddenin tanımı konusundaki en büyük zorluklardan birini sunuyor. Kütlelerin beklediklerimizden neden çok farklı olduklarını bilmek istiyoruz. Kuantum mekaniğine dayanan hesaplar bu kütlelerin, o kütleleri belirleyen *zayıf enerji ölçeğinden* çok daha büyük olduklarına inanmamıza neden olur. Standart modelin yüzeysel denecek kadar basit bir versiyonundaki zayıf enerji ölçeğini anlamaktaki yetersizliğimiz tam bir kuramın önündeki en büyük engeldir.

Büyük olasılık, daha ilginç ve gizemli kuramın en sade modeli kapsamasıdır ki, biz fizikçiler bunu iyi ayarlanmış bir doğa kuramından çok daha çetin buluruz. Hangi kuramın sıradüzen problemini çözeceği sorusunun iddialı görünüşüne karşın, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı bu konuya ışık tutmaya adaydır. Kuantum mekaniği ve görelilik sadece kütlelere katkı yapmakla kalmaz, yeni olayların ortaya çıkacağı enerjileri de tahmin eder. LHC'de araştırılacak olan da işte bu enerjidir.

LHC'de çok daha ilginç bir kuramın ortaya çıkmasını bekliyoruz. Kütlelerin gizini çözmeye aday olan bu kuram, yeni parçacıklar ve kuvvetler ya da simetriler ortaya çıktığında kendini göstermelidir. Bu, LHC'deki deneylerin üzerindeki perdeyi aralayacağını umduğumuz en büyük gizdir.

Yanıt, kendi içinde de ilginçtir. Ama büyük olasılıkla doğanın diğer yanları konusunda da derin kavrayışlar getirecektir. Bu probleme önerilen en zorlu yanıtlardan ikisi ya uzay ve zamanın simetrilerinin uzantılarını ya da uzay kavramımızın yeniden gözden geçirilmesini kapsar.

On Yedinci Bölümde de sözü edilecek olan senaryolar, uzayın bizim bildiğimiz aşağı-yukarı, ileri-geri ve sola-sağa olarak ifade edebileceğimiz üç boyuttan daha fazlasını içeriyor olabileceğini söyler. Uzay, özellikle parçacık özellikleri ve kütlenin anlaşılmasında anahtar rol oynayan, tamamıyla görülmez boyutları kapsıyor olabilir. Eğer durum böyle ise, LHC bu boyutların kanıtlarını, daha yüksek boyutlu uzay-zamanda hareket eden ve *Kaluza-Klein* parçacıkları olarak bilinen parçacıklar biçiminde ortaya çıkarabilir.

Sıradüzen problemini hangi kuram çözerse çözsün, zayıf enerji ölçeğinde deneysel olarak erişilebilir kanıtlar sağlamak zorundadır. Kuramsal bir mantık zinciriyle LHC'de bulduklarımızı bu problemi sonunda çözecek olan her neyse, onunla ilişkilendirebiliriz. Bu beklediğimiz bir şey olabileceği gibi öngöremediğimiz bir şey de olabilir ama her iki durumda da olağanüstü olacaktır.

KARA MADDE

Bu parçacık fiziği konularına ek olarak LHC, evrende bulunan kara maddenin, kütleçekim uygulamakla birlikte ışık soğurup yaymayan maddenin doğasının aydınlatılmasında da yardımcı olabilir. Gördüğümüz her şey; dünya, üzerinde oturduğunuz sandalye, evinizdeki muhabbet kuşu, ışıkla etkileşen Standart Model parçacıklarından oluşmaktadır. Ama ışıkla etkileşen ve etkileşimlerini anlayabildiğimiz, görülebilir madde evrendeki enerji yoğunluğunun sadece yüzde dördünü oluşturuyor. Enerjisinin yaklaşık yüzde 23'ü henüz niteliği tam olarak aydınlatılamamış olan ve kara madde adı verilen bir şeyle taşınıyor.

Kara madde aslında maddedir. Yani kütleçekim tarafından bir araya getirilir ve böylece (sıradan maddeyle birlikte) örneğin galaksi gibi yapıların varlığına katkı yapar. Bununla

birlikte, bizi ve gökyüzündeki yıldızları oluşturan, bildiğimiz maddeden farklı olarak, ışık yaymaz ve soğurmaz. Her şeyi yaydığı ya da soğurduğu ışık yoluyla gördüğümüz için, kara maddeyi "görmek" zordur.

Aslında "kara madde" terimi de yanıltıcıdır. Kara madde tam olarak kara değildir. Kara şeyler ışığı soğurur. Işığın soğurulduğu yerde kara nesneleri görürüz. Öte yandan kara madde ışıkla bildiğimiz hiçbir şekilde etkileşime girmez. Teknik olarak "kara" madde saydamdır. Yine de ben geleneksel hale gelmiş olan terminolojiyi kullanacak ve bu gözlenmesi zor olan maddeyi kara olarak adlandıracağım.

Kara maddenin varlığını kütleçekim etkilerinden anlıyoruz. Ama doğrudan görmeden tam olarak ne olduğunu bilemeyiz. Acaba minik, birbirine eş parçacıklardan mı oluşuyor? Eğer öyleyse, bu parçacıkların kütlesi nedir ve nasıl etkileşirler?

Yakında bu konuda pek çok şey öğrenebiliriz. LHC'nin kara maddeyi oluşturan parçacıkları üretebilecek enerjilerde çalışabilecek olması önemlidir. Kara madde için temel ölçüt, evrenin ölçülen kütleçekim etkilerini uygulayacak ölçüde, uygun miktarda kara madde içeriyor olmasıdır. Yani *kalıntı yoğunluk* –kozmoloji modellerimizle günümüze kadar varlığını sürdürdüğünü hesaplanan, depolanan enerji– ölçülen değerle uyuşmalıdır. Şaşırtıcı olan, eğer kütleleri LHC'de incelenebilecek, zayıf enerji ölçeğine karşılık gelecek (yine $E=mc^2$ yoluyla) ve etkileşmeleri de bu enerjideki parçacıkları kapsayan, kararlı parçacıkları ele alırsanız, bunların kalıntı yoğunluğu, kara madde olmaları için yaklaşık olarak uygun aralıkta olmasıdır.

Bu nedenle LHC yalnızca parçacık fiziğine ilişkin sorulara çözüm üretebilmekle kalmaz, aynı zamanda evrende günümüzde nelerin olduğu ve her şeyin nasıl başladığı gibi, bize evrenin nasıl evrildiğini öğreten kozmoloji biliminin alanına giren konularda da ipuçları sağlar.

Temel parçacıklar ve bunların etkileşmelerinde olduğu gibi, evrenin tarihi hakkında şaşırtıcı miktarda şey öğreniriz. Ama yine parçacık fiziğinde olduğu gibi, bazı büyük

sorular yanıtsız kalır. Bu zor soruların en önemlileri arasında şunlar sayılabilir: Kara madde nedir? *Kara enerji* denen daha da gizemli varlık nedir? Evrenin ilk dönemlerinde *kozmolojik şişme* adı verilen üstel genleşme dönemini yaratan şey nedir?

Günümüz, bu sorulara yanıt verebilecek gözlemler için çok uygun bir zamandır. Kara madde araştırmaları parçacık fiziği ve kozmolojinin kesiştiği sınırın en önündedir. Kara maddenin bildiğimiz maddeyle, yani dedektörleri ürettiğimiz maddeyle etkileşmeleri son derece zayıftır, o kadar zayıftır ki kütleçekim etkileri dışında hâlâ kara maddenin kanıtlarını aramakla meşgulüz.

Bu nedenle günümüzdeki araştırmalar kara maddenin neredeyse görünmez olmasına karşın, bildiğimiz maddeyle zayıf bir şekilde –ama olanaksız denecek kadar da zayıf değil– etkileştiği yolundaki bir inanç sıçramasına dayanır. Bu sadece arzulanan bir tahmin değildir. Yukarıda sözü edilen ve etkileşmeleri LHC'de incelenen enerji ölçeklerine bağlı olan kararlı parçacıkların kara madde olabilecek yoğunluğa sahip olduğunu gösteren hesaplara dayanır. Şimdiye kadar kara maddeyi tanımlayabilmiş olmasak da, yakın bir gelecekte kara maddeyi saptama şansımızın yüksek olacağını umut ediyoruz.

Yine de kozmoloji deneylerinin büyük bir çoğunluğu hızlandırıcılarda yapılmaz. Yeryüzünde ve uzayda bu amaçla hazırlanmış özel deneylerin öncelikli amacı kozmoloji sorularının potansiyel çözümleri konusundaki kavrayışımızı daha üst düzeylere çıkarmaktır.

Örneğin astrofizikçiler evreni tozla perdelenmemiş bir ortamdan, yeryüzü ve yakınlarındaki fiziksel ve kimyasal süreçlerden uzak bir yerden gözlemek için uzaya uydular gönderdiler. Yeryüzündeki teleskoplar ve deneyler bize, bilim insanlarının doğrudan kontrol edebildikleri bir çevrede ek kavrayışlar kazandırır. Uzaydaki ve yeryüzündeki deneyler evrenin bugünkü durumuna nasıl geldiği konusunun bütün yönlerine ışık tutmaya hazırdır.

Bu deneylerin (Yirmi Birinci Bölümde anlatacağız) herhangi birinden gelecek yeterince büyük bir sinyalin kara

maddenin gizemini açıklığa kavuşturacağını umut ediyoruz. Bu deneyler bize, kara maddenin doğası konusunda bilgi verebilir ve kara maddeyi oluşturan parçacıkların etkileşmeleri ve kütlelerine ışık tutabilir. Bu arada kuramcılar kara maddenin olası bütün modelleri ve kara maddenin ne olduğunu öğrenmek için bütün saptama stratejilerini nasıl kullanacakları konularında kafa yormayı sürdürüyorlar.

KARA ENERJİ

Bildiğimiz madde ve kara madde birlikte de evrendeki enerjinin toplamını açıklayamıyorlar, toplam enerjinin sadece yüzde 27'sini oluşturuyorlar. Kara maddeden daha gizemli olan şeyse, geriye kalan yüzde 73'ü oluşturan ve kara enerji olarak bilinen maddedir.

Kara enerjinin keşfi, yirminci yüzyılın sonlarının en önemli fiziksel uyandırma çağrısıdır. Her ne kadar evrenin evrimi konusunda çok şey bilmiyorsak da, kozmolojik şişme olarak bilinen evrenin üstel genişlemesi tarafından desteklenen Büyük Patlama kuramı sayesinde bu evrim konusunda epeyce şey öğrenmiş durumdayız.

Bu kuram, aralarında gökyüzündeki mikrodalga ışınımı, yani Büyük Patlama zamanından kalan mikrodalga ardalan ışınımı gözlemleri de olmak üzere bir dizi gözlemle de uyuşmaktadır. Başlangıçta evren sıcak ve yoğun bir ateş topuydu. Ama 13,75 milyar yıldır süren yaşamı süresinde yoğunluğu büyük ölçüde azaldı, soğudu ve geriye sıcaklığı 2,7 Kelvin –mutlak sıfırın sadece birkaç derece üzerinde– olan bir ışınım kaldı. Büyük Patlamanın diğer kanıtları, evrenin erken evrim dönemlerinde üretilen çekirdeklerin bolluklarında ve evrenin genişleme ölçümlerinde bulunabilir.

Evrenin nasıl evrildiğini anlamak için kullandığımız denklemler Einstein'ın yirminci yüzyılın başlarında geliştirdiği, verilen bir madde ve enerji dağılımından kütleçekim alanının nasıl çıkarılacağını gösteren denklemlerdir. Bu denklemler yerküre ile güneş arasındaki alana uygulanabildiği gibi, bir bütün olarak evrene de uygulanabilir. Her durumda, bu denklemlerin sonuçlarını çıkarmak için bizi çevreleyen madde ve enerjiyi bilmemiz gerekir.

Şok edici gözlem, evrenin karakteristiklerinin ölçümlerinin madde tarafından taşınmayan bu yeni tür enerjinin varlığını gerektiriyor olmasıydı. Bu enerji parçacıklar ya da diğer şeyler tarafından taşınmaz ve konvansiyonel madde gibi topaklanmaz. Evren genişledikçe seyrelmez, sabit bir yoğunluğu korur. Hiç madde bulunmasa bile evrene yayılmış olarak bulunan bu gizemli enerji nedeniyle evrenin genişlemesi hafifçe de olsa ivmelenmektedir.

Einstein başlangıçta bu tür bir enerjiyi *evrensel sabit* adını verdiği, daha sonra fizikçiler arasında *kozmoloji sabiti* olarak yaygınlaşan sabitin içinde göstermişti. Kısa bir süre sonra ise bunun bir hata olduğunu düşünmüştü; gerçekten de bu sabiti evrenin durağan olduğunu göstermek amacıyla kullanması yanıltıcıydı. Evren gerçekten de Einstein'ın bu fikri ortaya atmasından kısa süre sonra Edwin Hubble'ın gösterdiği gibi genişliyordu. Evren yalnızca genişlemekle kalmıyor, Einstein'ın öne sürdüğü ama 1930'larda vazgeçtiği bu tuhaf enerji türü nedeniyle bu genişleme ivmeleniyor da.

Bu gizemli kara enerjiyi daha iyi anlamak istiyoruz. Bu noktadaki gözlemler bunun, Einstein'ın ilk öne sürdüğü gibi bir tür ardalan enerjisi mi yoksa zamanla değişen yeni bir tür enerji mi olduğunu belirlemeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Yoksa hakkında nasıl düşüneceğimizi bile bilmediğimiz, tümüyle beklenmedik bir şey midir?

DİĞER KOZMOLOJİ ARAŞTIRMALARI

Bu, önemli olsa da şu anda araştırmakta olduğumuz konunun sadece bir örneğidir. Şimdiye kadar tanımladıklarıma ek olarak, geride pek çok kozmoloji araştırması var. Kütleçekim dalga dedektörleri, birleşen kara delikler ve büyük miktarlarda enerji içeren diğer heyecan verici olaylardan kaynaklanan kütleçekim dalgalarını saptamaya çalışacaklar. Kozmik mikrodalga deneyleri şişme konusunda daha çok veriye ulaşacak. Kozmik ışın araştırmaları bize evrenin içeriği konusunda çok daha fazla şey anlatacak. Ve kızıl ötesi dedektörleri de gökyüzünde daha fazla egzotik cisim bulabilir.

Kimi durumlarda gözlemleri yeterince iyi anlayacak, maddenin ve fizik yasalarının altında yatan şeyler hakkında neler gösterdiklerini kavrayacağız. Diğer durumlardaysa bu deneylerin çıkarımlarını anlamak için çok çabalayacağız. Ne olursa olsun, kuram ile veriler arasındaki etkileşim, içinde bulunduğumuz evreni daha doğru yorumlamamızı sağlayacak ve şu anda erişemediğimiz bölgeler konusunda bilgi dağarcığımızı daha da genişletmemize katkı yapacaktır.

Bazı deneyler hemen sonuç verebilir. Diğerlerinin sonuçlarının alınması ise yıllar alabilir. Veriler geldikçe kuramcılar önerilen açıklamaları yeniden gözden geçirebilir hatta terk edebilirler. Böylece kuramlar daha da gelişir ve doğru şekillerde uygulanabilirler. Bu durum cesaret kırıcı gibi görünebilir ama durum aslında düşündüğünüz kadar kötü değil. Deneysel sonuçlar araştırmalarımızı yönlendirir ve yeni sonuçlar eski fikirlerden vazgeçmemizi gerektirdiğinde bile ilerleme yapmamızı garanti altına alırken biz de büyük bir hevesle sorularımızı yanıtlamamıza yardımcı olacak ipuçlarını bekliyoruz. Önermelerimiz başlangıçta kuramsal tutarlılık ve zarafete dayanır ama kitapta da göreceğimiz gibi, neyin doğru olduğunu sonuçta belirleyen şey katı inanç değil, deneydir.

Kısım III

MAKİNELER, ÖLÇÜMLER VE OLASILIK

SEKİZİNCİ BÖLÜM

HER ŞEYİ YÖNETMEK İÇİN BİR HALKA

Büyük olaylar veya büyük kazanımların genel olarak hiçbir söze hacet bırakmadıklarını bildiğimden amacını aşan şeyler söylemekten kaçınırım. Konulara renk katmak konusundaki bu gönülsüzlüğüm, insanların anlatımda aşırıya kaçtığı, her şeyin "en" önekiyle nitelenmesinin doğal bulunduğu Amerika'da isteksizce övme olarak yorumlanıyor. Yanlış anlamaların önüne geçebilmek için kimi zaman destek cümlelerime son zamanlarda moda olmuş sözcük ve sıfatları ekliyorum. Ama LHC için riske girecek ve bunun sorgusuz-sualsiz, muhteşem bir kazanım olduğunu söyleyeceğim. LHC'nin alanındaki otoritesi ve güzelliği söz götürmez. Teknoloji göz kamaştırıyor.

Bu bölümde bu inanılmaz makineyi keşfetmeye girişeceğiz. Sonraki bölümde inişli-çıkışlı yapım macerasına göz atacak ve birkaç bölüm sonra LHC'de yaratılanları kayıt altına alan deneyleri inceleyeceğiz. Ama şimdilik, bize yeni iç dünyalar açacağını umduğumuz yüksek enerjili protonları izole eden, hızlandıran ve çarpıştıran bu makinenin kendisine odaklanacağız.

BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICI

Daha önce birçok parçacık çarpıştırıcıyı ve dedektörü görmüş olmama karşın LHC'yi ilk ziyaretimde verdiği büyülenme duygusunu algılamak benim için şaşırtıcı oldu. Ölçeği farklıydı. Girdik, koruyucu başlıklarımızı taktık, LHC tünelinden geçtik, ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) dedektörünün sonunda indirileceği çukurda durduktan sonra, sonunda deney aygıtının kendisine ulaştık. Hâlâ yapım halindeydi

ki bu da, çalışacağı zaman üstü kapalı olacak ATLAS'ı tam olarak görebilmemizi sağladı.

Her ne kadar içimdeki bilim insanı ilk anda bu olağandışı teknoloji mucizesinin büyük bir sanat projesi olmadığını hatırlatsa da, kendimi fotoğraf makinemi çıkarıp fotoğraf çekmekten alıkoyamadım. Sistemin karmaşıklığını, uyumluluk ve tutarlılığını, büyüklüğünü, birbirini kesen boruları ve renkleri kelimelerle anlatmak çok zordu. Edindiğim izlenim sistemin tek kelimeyle büyüleyici olduğu idi.

Sanat dünyasından insanların izlenim ve tepkileri de benzerdi. Sanat koleksiyoncusu Francesca von Habsburg'un tesisi gezerken yanına aldığı profesyonel fotoğrafçının çektiği fotoğraflar o kadar güzeldi ki, *Vanity Fair* dergisinde yayımlandılar. Bir kültür dünyasında yetişmiş olan film yapımcısı Jesse Dylan LHC'yi ilk gördüğünde, ona güzelliğini paylaşmak istediği, önemli bir sanat projesi -"doruktaki bir başarı"– gözüyle bakmıştı. Jesse deneylerin ve makinenin görkemi konusundaki izlenimlerini iletmek üzere bir video hazırlamaya girişti.

Aktör ve bilim aşığı Alan Alda LHC konulu bir panel yönetirken LHC'yi antik dünyanın harikalarına benzetti. Fizikçi David Gross onu piramitlerle karşılaştırdı. PayPal'in kurucularından olan, Tesla'yı (elektrikli otomobiller üreten şirket) yöneten, SpaceX'i (Uluslararası Uzay İstasyonuna makine ve araç götüren roketleri yapan kuruluş) geliştiren ve yöneten mühendis ve girişimci Elon Musk LHC için "Kesinlikle insanlığın en büyük başarılarından biri", dedi.

Bu tür konuşmaları hayatın her alanındaki insanlardan işittim. İnternet, hızlı otomobiller, yeşil enerji ve uzayda yolculuk günümüzde uygulamalı araştırmaların en heyecan verici ve en aktif alanları arasındadır. Ama evrenin temel yasalarını anlamaya çalışmak, kendi başına insanları etkileyen ve büyüleyen bir kategori oluşturur. Sanatseverler ve bilim insanları benzer şekilde dünyayı anlamak ve gizlerini çözmek isterler. İnsanlığın en büyük başarısının ne olduğu tartışılabilir ama hiç kimsenin kolayca görülen ve ulaşılanın ardında neyin olduğu konusunda kafa yormak ve araştırma-

nın en önemli şeylerden biri olduğunu sorgulayacağını sanmam. Sadece insanlar bu yarışa girmiştir.

LHC'de inceleyeceğimiz çarpışmalar, Büyük Patlamadan bir milisaniyenin trilyonda biri kadar sonra oluşan çarpışmalara çok benzer. Bu çarpışmalar bize küçük uzaklıklar ve bu ilk zamanlardaki maddenin ve kuvvetlerin doğası hakkında bilgi verecektir. Büyük Hadron Çarpıştırıcısını olağanüstü küçük boyutlardaki (bir milimetrenin trilyonda birinin binde birinin onda biri mertebesinde) parçacık ve kuvvetleri incelememize olanak veren bir süper mikroskop olarak düşünebilirsiniz.

LHC bu başarıyı, daha önce yeryüzünde elde edilememiş olan, çok yüksek enerjili (var olan en yüksek enerjili çarpıştırıcı olan Illinois, Batavia'daki Tevatron'un yedi katı) çarpışmalar yaratarak elde etmiştir. Altıncı Bölümde açıklandığı gibi, kuantum mekaniği ve dalgalarda kullanımı bize böyle küçük uzaklıkları inceleyebilmek için bu kadar yüksek enerjiler gereklidir. Ve –enerjideki artışla birlikte– şiddet de Tevatron'dakinin 50 katı olacak, bu ise doğanın işleyişinde yer alan daha seyrek olayların ortaya çıkarılma olasılığını artıracaktır.

Abartıyı sevmiyor olmama karşın LHC'nin ancak "en" önekli sıfatlarla tanımlanabilen bir dünyaya ait olduğunu söyleyebilirim. Sadece büyük değil: LHC şimdiye kadar yapılmış en büyük makinedir. Sadece soğuk değil: LHC'nin süper iletken mıknatıslarının çalışabilmesi için gerekli olan 1,9 Kelvin (mutlak sıfırın üzerinde 1,9 derece santigrad) sıcaklığa sahip olan bölge, evrende bildiğimiz en soğuk –dış uzaydan bile soğuk– bölgedir. Manyetik alan da sadece büyük olmakla kalmıyor: süper iletken dipol mıknatıslar dünyanın manyetik alanından 100.000 kat daha büyük bir manyetik alan yaratmakta olup endüstriyel üretimde şimdiye kadar üretilmiş en güçlü mıknatıslardır.

Ve uç noktalar burada da bitmiyor: protonları barındıran tüplerin içindeki boşluk, bir atmosferin 10 trilyonda biri olup, şimdiye kadar büyük bir bölgede elde edilmiş en tam boşluktur. Çarpışmaların enerjisi şimdiye kadar ulaşılanların en yükseği olup, evrenin ilk dönemlerinin zamanda en

geriye giden dilimlerinde ortaya çıkan etkileşmeleri incelememize olanak sağlar.

LHC aynı zamanda devasa miktarlarda enerji depolar. Manyetik alanın kendisinde depolanan enerji birkaç ton TNT'ye eşdeğer iken demetlerde depolanan enerji de bunun onda birine ulaşır. Bu enerji maddenin bir gramının milyarda birinde, normal koşullarda sadece mikroskop altı boyutlarda bir noktada depolanmaktadır. Makinenin demetleri çalışırken bu inanılmaz yoğunluktaki enerji, 1000 ton betonla çevrelenmiş, sekiz metre boyunda ve bir metre çapındaki kompozit grafitten yapılmış olan bir silindire boşaltılır.

LHC'de elde edilen bu uç noktalar teknolojiyi de sınırlarına doğru itmektedir. Bu elbette ucuz bir iş değil, "en"ler maliyete de yansıyor. LHC'nin 9 milyar dolarlık fiyatı onu aynı zamanda şimdiye kadar üretilmiş en pahalı makine de yapıyor. CERN bu maliyetin üçte ikisini karşılarken CERN'e üye 20 ülke CERN bütçesine Almanya'nın yüzde yirmisinden başlayıp Bulgaristan'ın yüzde 0,2'sine kadar değişen oranlarda katkı sağlar. Maliyetin kalanı ise aralarında Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Kanada'nın bulunduğu, üye olmayan ülkelerce karşılanır. Maliyetleri uluslararası işbirliklerince karşılanan deneylere CERN de yüzde 20 katkı yapar. Makinenin inşa edildiği 2008 yılı itibariyle Birleşik Devletler'den 1000'den fazla bilim insanı CMS ve ATLAS üzerinde çalışmakta olup Birleşik Devletler'in LHC'ye katkısı 531 milyon dolar civarındadır.

LHC'NİN BAŞLANGICI

LHC'ye ev sahipliği yapan CERN, pek çok programın bir arada yürüdüğü bir araştırma kuruluşudur. Bununla birlikte CERN'in kaynakları genelde tek bir "amiral gemisi" nitelikli programda yoğunlaşır. 1980'lerde bu program, parçacık fiziğinin Standart Modeli için temel olan kuvvet taşıyıcılarını bulan *SpbarpS* çarpıştırıcısıydı.[1] 1983'teki yıldız deneylerin-

[1] Bu programın özgün amacı proton ve karşı-protonları hızlandırmak olmakla birlikte şimdi LHC'de SPS hızlandırıcı olarak yalnızca protonları kullanıyor.

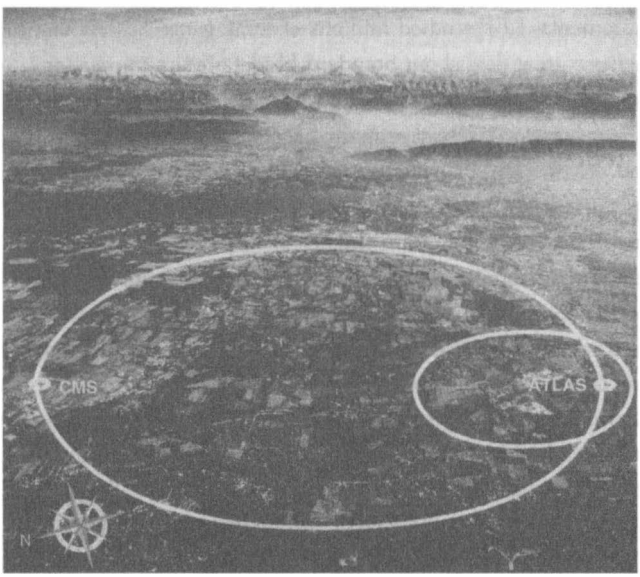
de zayıf kuvveti ileten zayıf ayar bozonları –iki yüklü *W* bozonu ve yüksüz *Z* bozonu– bulunmuştu. Bunlar, o zamanlar Standart Modelde eksik olan anahtar bileşenlerdi. Bu keşif hızlandırıcı deneylerinin liderlerine Nobel Ödülü kazandırdı.

Yine de, SpbarpS çalışırken, bilim insanları ve mühendisler zayıf Standart Modeldeki zayıf etkileşmeleri ayrıntılı olarak incelemek için elektronlarla pozitron adı verilen karşı-parçacıklarını çarpıştırmak üzere LEP adı verilen çarpıştırıcıyı yapmayı planlıyorlardı. 1990'larda çok hassas bazı ölçümler sonucunda LEP'te milyonlarca zayıf ayar bozonu incelenip fizikçilere Standart Modelin fiziği konusunda büyük miktarlarda bilgi verdiğinde bu rüya meyvelerini vermeye başlamış oldu.

LEP çevresi 27 kilometre olan çember biçimli bir çarpıştırıcıdır. Elektron ve pozitronlar bu halkanın çevresinde sürekli olarak dönerken ivmelenirler. Bölüm 6'da gördüğümüz gibi, dairesel çarpıştırıcılar elektron gibi hafif parçacıklar çarpıştırılırken verimsiz olabilirler çünkü bu parçacıklar dairesel yörüngede hızlandırılırken ışınım yayarlar. 100 GeV'lik LEP enerjilerinde elektron demetleri her turda enerjilerinin yaklaşık yüzde üçünü kaybederler. Bu çok büyük bir kayıp olmayabilir ama eğer elektronlar bu tünelde bundan daha hızlı dönmeye zorlanırlarsa, kayıp ilişkileri bozacak ölçüde yükselir. Enerjiyi on kat artırmak enerji kaybını on bin kat artırmak demektir ki, bu durum hızlandırıcının kabul edilemez ölçüde verimsiz çalışmasına neden olur.

Bu nedenle, LEP planlanırken insanlar CERN'in çok daha yüksek enerjilerde işleyecek, gelecek amiral gemisi projesinden söz etmeye başlamışlardı bile. Elektronların kabul edilemez enerji kayıpları nedeniyle eğer CERN'de daha yüksek enerjili bir makine inşa edilecekse, bu makine daha ağır olduklarından protonların daha az ışınım yaymaları nedeniyle proton demetleriyle çalışmalıydı. LEP'i geliştiren fizikçi ve mühendisler bu daha çok istenen olasılığın farkında oldukları için, gelecekte elektron-pozitron makinesi söküldükten sonra olası bir proton çarpıştırıcısı yerleştirebilmek için LEP tünelini yeterince geniş olarak yapmışlardı.

Sonunda, 25 yıl sonra, günümüzde proton demetleri, özgün olarak LEP için kazılmış olan tünelin içinde dönüyorlar (Şekil 24). Büyük Hadron Çarpıştırıcısı planın birkaç yıl gerisinde olup bütçesini de yüzde yirmi kadar aşmış durumdadır. Bu üzüntü verici bir durum olmakla birlikte LHC'nin şimdiye kadar inşa edilmiş en büyük, en uluslararası, en pahalı, en yüksek enerjili ve en iddialı deney olduğu göz önüne alındığında o kadar mantıksız da değildir. LHC'deki terslikler ve kurtarma işlemlerini duyduğunda senarist ve yönetmen James L. Brooks şaka yollu şöyle demişti: "Sadece duvar kâğıtlarının tam istedikleri gibi olması için bile bu kadar zaman harcayan insanlar tanıyorum. Evrende olup biteni anlamak için buna değer. Sonunda orada da büyük bir duvar kâğıdı bulacağız."



ŞEKİL 24 Büyük Hadron Çarpıştırıcısının yerleşimi. Yeraltı tüneli beyaz olarak gösterilmiş. Ardalanda Cenevre Gölü ve dağlar görülüyor.

ÇEMBER KARDEŞLİĞİ (YÜZÜK KARDEŞLİĞİ (!))

Protonlar içimizde, dışımızda ve her yerde bulunurlar. Ama genelde atomun içinde, etrafında elektronların dolandığı çekirdekte bağlıdırlar. Elektronlardan soyutlanmış durumda olmadıkları gibi demetlerin içinde hizaya girmemiş durumdadırlar. LHC protonları önce diğerlerinden ayırır, hızlandırır ve onları kaderlerine doğru yönlendirir. Bu yapılırken de LHC'nin birçok uç özelliği kullanılır.

Proton demetlerinin hazırlanmasında ilk adım hidrojen atomlarının ısıtılmasıdır. Böylece elektronlar çekirdekten ayrılır ve zaten çekirdeğin kendisi olan protonlar yalnız kalır. Manyetik alanlar bu protonları demetler halinde yönlendirir. Bundan sonra LHC bu demetleri farklı bölgelerde birçok aşamada hızlandırır. Protonlar bir hızlandırıcıdan diğerine geçer ve her seferinde enerjileri artar. Sonunda iki ayrı paralel demete bölünür ve çarpıştırılırlar.

Hızlandırmanın başlangıç evresi, radyo dalgalarının protonları hızlandırdığı, doğrusal bir tünel olan CERN'in *linac*'ında* yer alır. Radyo dalgası tepe evresine ulaştığında, bu dalganın elektrik alanı protonları hızlandırır. Bundan sonra protonlar, alan düştüğünde yavaşlamamaları için alan bölgesinden uzaklaştırılırlar. Sonra, dalga yine tepe evresine yaklaşırken alan bölgesine alınan protonlar böylece bir tepeden diğerine hızlanırlar. Temel olarak dalganın protonu hızlandırmasının mekanizması, salıncakta bir çocuğu sallamanıza çok benzer. Böylece dalgalar protonların hızını, dolayısıyla da enerjisini artırır ama bu ilk evrede enerji artışı çok sınırlıdır.

İkinci aşamada protonlar mıknatıslar yardımıyla daha da hızlandırılacakları halkalara yönlendirilirler. Bu hızlandırıcıların her biri, yukarıda tarif edilen doğrusal hızlandırıcıya benzer şekilde işlev görür. Ancak bu hızlandırıcılar halka şeklinde olduğundan, protonlar içlerinde dönerken hızlarını binlerce tur boyunca artırabilirler. Böylelikle bu dairesel hızlandırıcılar oldukça önemli miktarda enerji aktarırlar.

---

* Doğrusal hızlandırıcı –yn.

Büyük LHC çemberine girmeden önce protonları hızlandıran bu "çember kardeşliği", protonları 1,4 GeV enerjisine ulaştıran proton senkrotron hızlandırıcı (PSB), 26 GeV enerjisine kadar hızlandıran proton senkrotronu (PS) ve en sonunda da protonları enjeksiyon enerjisi adı verilen 450 GeV'e ulaştıran süper proton senkrotronundan (SPS) oluşur. (Protonun bu yolculuğunu izlemek için Şekil 25'e bakınız.) Büyük, 27 kilometrelik tüneldeki son hızlandırma aşamasına girmeden hemen önce protonların taşıdıkları enerji bu kadardır.

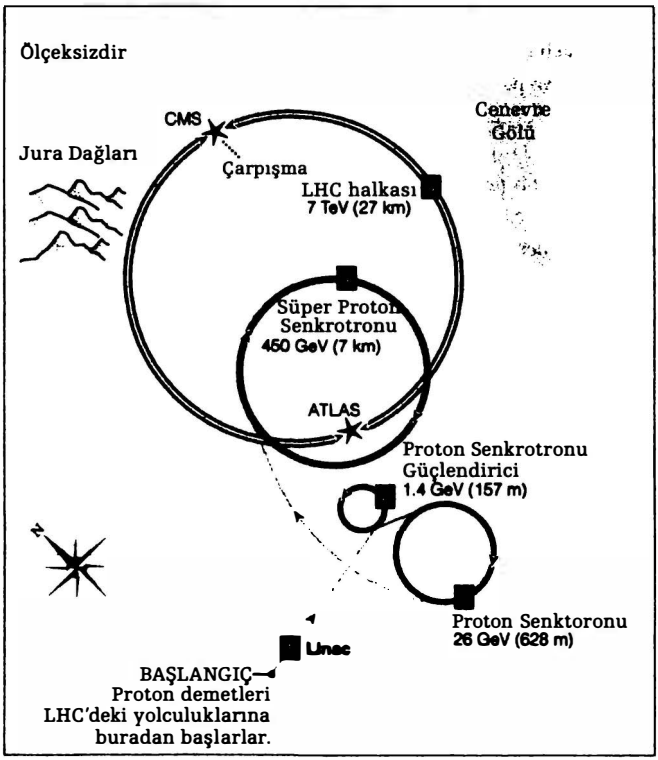
Bu hızlandırıcı çemberlerden birkaçı daha önceki CERN projelerinin kalıntılarıdır. En eskisi olan proton senkrotronu altın yıldönümü 2009 Kasımında kutlandı. Proton senkrotron hızlandırıcı ise CERN'in 1980'lerdeki son büyük projelerinde kritik öneme sahipti.

Protonlar SPS'yi terk ettikten sonra 20 dakika süreli enjeksiyon evresi başlar. Bu noktada SPS'den 450 GeV enerjiyle çıkan protonlar büyük LHC tünelinin içinde tam enerjilerine ulaşırlar. Tüneldeki protonlar yeraltındaki LHC çemberinde, üç parmaklık dar boruların içinde, ters yönlere doğru hareket eden iki farklı demet oluştururlar.

1980'lerde yapılan ama şimdi son hızlanma evresindeki protonlara ev sahipliği yapan 3,8 metrelik tünel, iyi aydınlatılmış ve iyi havalandırılmış olup içinde rahatlıkla yürünebilecek kadar geniştir. Ben de LHC'nin yapım aşamasında bu şansı elde etmiştim. LHC turumda tünelin içinde sadece kısa bir gezinti yapmıştım, ama yine de attığım birkaç adım, ışık hızının yüzde 99,9999991'i kadar hızla hareket eden protonların bir turu tamamlamaları için gereken, saniyenin 89 milyonda birinden daha uzun sürmüştü.

Tünelin yeraltındaki ortalama derinliği 100 metre olup bu derinlik yer yer 50'den 175 metreye kadar değişir. Böylece yeryüzü radyasyonundan yalıtılmış olup, aynı zamanda inşaat aşamasında CERN'in yüzeydeki tarım arazilerini satın alması (ve tahrip etmesi) gereksiz hale geldi. Ama arazi üzerindeki haklar yine de, ta 1980'lerde, özgün olarak LEP için hazırlanan tünelin kazılmasını geciktirmişti. Sorun Fransa'da toprak sahiplerinin sadece işledikleri toprak yü-

zeyinin değil, ta yerkürenin merkezine kadar olan bölümün de sahibi olmalarıydı. Tünel ancak, Fransız otoritelerinin bir "Declaration d'Utilite Publique" [Kamu Yararı yasası] imzalanmasını sağlayarak yeraltı kayalarının –ve bu arada ilkesel olarak magmanın da– kamu malı ilan edilmesinden sonra kazılabildi.



ŞEKİL 25 LHC'de hızlandırılan bir protonun izlediği yol.

Fizikçiler tünelin eğimli yapılmasının nedeninin sadece jeolojik gereklilik mi olduğu yoksa ışınımı daha da çok saptırmak için mi yapıldığını tartışıyorlar ama gerçek, bu eğimin her iki konuya da yardımcı olduğudur. Düzgün olmayan arazi yapısı aslında tünelin derinliği ve konumuna ilginç bir sınırlama getirmişti. CERN yerleşkesinin altındaki bölge ço-

ğunlukla molas adı verilen, sıkı bir tür kaya olmakla birlikte, bunun altında çakıl, kum gibi deniz tabanı tortuları, yeraltı suyu ve verimli, yumuşak topraklar olup, tünel için uygun değildi. Eğim, tünelin sağlam kaya içinde kalmasını sağladı. Bu durum aynı zamanda bir ucu CERN'in hemen kenarındaki güzel Jura Dağlarının altında olan tünelin bir bölümünün daha yüzeye yakın olması, böylece bu bölümdeki dikey tünellerden yüzeye malzeme taşınmasının daha kolay (ve daha ucuz) olması demekti.

Bu tüneldeki son hızlandırıcı elektrik alanları tam olarak dairesel şekilde düzenlenmemiştir. LHC'de, aralarında 700 metrelik düz bölümler bulunan sekiz büyük yay vardır. Bu sekiz bağımsız bölümün her biri ayrı ayrı çalıştırılabilir ki bu da tamirat ve kontrol aygıtlarının yerleştirilmesi açısından önemlidir. Tünele girdikten sonra protonlar kısa düz bölümlerin her birinde, tıpkı önceki bölümlerde enjeksiyon enerjisine ulaştırıldıkları gibi, radyo dalgalarıyla hızlandırılırlar. Hızlanma, 400 MHz radyo sinyali içeren radyo frekansı (RF) kovuklarında gerçekleşir. Bu frekans, aracınızın kapılarını uzaktan kumandayla kilitlerken sizin de kullandığınız frekanstır. Bu alan, böyle bir oyuğa giren bir proton demetini hızlandırdığında, protonların enerjisini sadece 1 TeV'in 485 milyarda biri kadar artırır. Bu kulağa çok gibi gelmeyebilir ama protonlar LHC çemberinde saniyede 11.000 tur atarlar. Böylece, proton demetinin enjeksiyon enerjisi olan 450 GeV'den, yaklaşık 15 kat büyük, 7 TeV'lik hedef enerjisine kadar artırılması sadece 20 dakikada gerçekleşir. Bazı protonlar çarpışmalar sırasında ya da demetten ayrılarak kaybolursa da protonların çoğunluğu, demetteki protonlar tümüyle tükenip yeni proton demetiyle değiştirilinceye kadar, yaklaşık yarım gün boyunca turlamayı sürdürürler.

Tasarım gereği, LHC çemberinde turlayan protonların dağılımı düzgün değildir. Çembere her birinde yaklaşık 115 milyar proton bulunan 2808 paket halinde girerler. Her paket 10 santimetre uzunluğunda ve 1 milimetre çapında olup sonraki paketle arasında 10 metre uzaklık vardır. Her paket ayrı ayrı hızlandırıldığından, bu durum hızlandırmada

yardımcı olur. Fazladan bir ödül olarak, protonların böyle paketlenmesi, proton paketlerinin en azından 25-75 nanosaniyelik aralıklarda etkileşmesini sağlar ki, bu durum her paket çarpışmasının ayrı ayrı kaydedilmesi için yeterlidir. Her pakette demettekinden bu kadar az proton olduğundan, aynı zamanda gerçekleşen çarpışmalar daha iyi kontrol altında olur çünkü herhangi bir anda çarpışanlar demetteki protonların tamamı değil, paketlerdir.

KRİYODİPOL MIKNATISLAR

Protonları yüksek enerjilere kadar hızlandırmak gerçekten etkileyici bir başarıdır. Ama LHC'nin yapımındaki gerçek zorluk, protonların çember çevresinde düzgün turlamalarını sağlayacak, büyük bir alana sahip dipol mıknatısların tasarlanmasıydı. Dipoller olmazsa, protonlar doğrusal yollarda giderler. Yüksek enerjili protonların çember çevresinde dönmelerini sağlamak için devasa bir manyetik alan gerekir.

Var olan tünelin boyutu nedeniyle LHC mühendislerinin çözmeleri gereken en büyük teknik zorluk, mıknatısların endüstriyel ölçekte, yani seri üretimle olabildiğince güçlü olarak üretilmesiydi. Önceden yapılmış olan tünelin içinde yüksek enerjili protonların rotalarında tutulması için büyük bir manyetik alan gerekiyordu. Daha yüksek enerjili protonların aynı tünel içinde yeterince dönerek doğru yönde kalmaları içinse ya daha güçlü mıknatıslar, ya da daha büyük bir tünel olmalıydı. LHC'de tünel boyutu önceden belirlenmiş olduğu için, hedef enerji ancak elde edilebilecek en büyük manyetik alanla yönetilebilirdi.

Eğer tamamlanabilseydi, Amerikan Süper iletken Süper Çarpıştırıcısı (SSC), çevresi 87 kilometre olan çok daha büyük bir tünelin içinde olacaktı (aslında tünel de kısmen kazılmıştı) ve LHC'nin hedef enerjisinin yaklaşık üç katı olan 40 TeV'e ulaşılacak şekilde planlanmıştı. Makine, var olan tünel handikapı olmaksızın sıfırdan tasarlandığı için, sonuçta ortaya çıkan gerçekçi olmayan manyetik alan büyüklükleri olmaksızın hedef enerjilerine ulaşmak olası olacaktı. Bununla birlikte önerilen Avrupa projesinin; tünelle birlikte

CERN'in bilim, mühendislik ve destek altyapısının zaten var olması gibi büyük bir avantajı vardı.

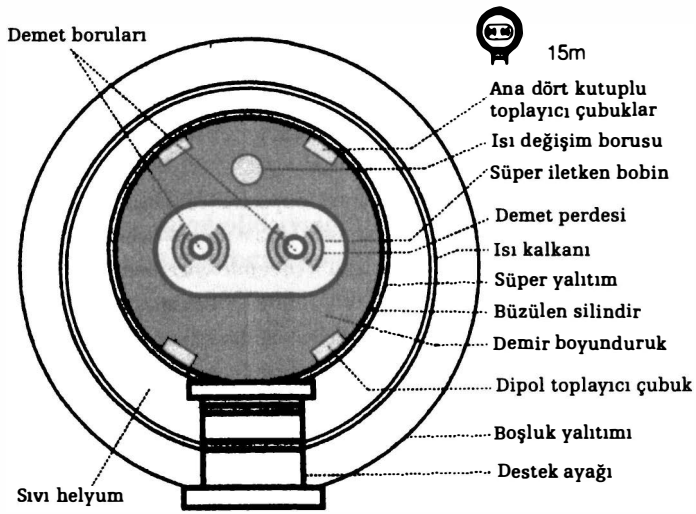
CERN'i ziyaret ettiğimde gördüğüm en etkileyici nesnelerden biri LHC'nin dev silindirik dipol mıknatıslarından birinin bir örneğiydi. (Kesiti için *bkz.* Şekil 26) Her birinin boyu 15 metre, ağırlığı ise 30 ton olan bu mıknatıslardan 1232 adet vardı. Uzunluk fiziğin gerektirdiğinden çok, LHC'nin göreceli olarak dar olan tünellerinden ve mıknatısların Avrupa yollarında zorunlu olarak taşınma gerekliliği tarafından belirlenmişti. Bu mıknatıslardan birinin fiyatı 700.000 €'dur, bu ise LHC'nin sadece mıknatıslarının maliyetinin bir milyar doların üzerinde olması demektir.

Proton demetlerini barındıran ince borular, birbirine yapışık olarak bütün LHC tüneli boyunca uzanan bu dipollerin içinden geçer. Bu mıknatısların ürettiği manyetik alanın gücü, ortalama bir buzdolabı magnetinin alanının yaklaşık bin katı olan 8,3 Tesla kadar olabilir. Proton demetlerinin enerjisi 450 Gev'den 7 TeV'e yükselirken, manyetik alan da giderek daha yüksek enerjili hale gelen protonları yönlendirebilmek için aşamalı olarak 0,54'ten 8,3 Tesla'ya kadar yükselir.

Bu mıknatısların ürettiği alan o kadar büyüktür ki, eğer engeller olmasa mıknatısların kendileri bile hareket eder. Bu kuvvet mıknatısların geometrik yapısıyla biraz azaltılmaktaysa da, bu mıknatısları yerlerinde tutmak için dört santimetre kalınlığında çelikten yapılmış boyunduruklar kullanılır.

LHC'nin güçlü mıknatısları süper iletken teknolojisiyle yapılmıştır. LHC mühendisleri, Illinois, Chicago yakınlarındaki Fermilab hızlandırıcısındaki Amerikan Tevatron çarpıştırıcısı ve Hamburg'daki DESY'de bulunan Alman elektron-pozitron çarpıştırıcısı için olduğu kadar SSC için de geliştirilmiş olan süper iletken teknolojisini kullanmışlardır.

Evlerimizde kullandıklarımıza benzer bakır tellerin direnci vardır. Bu da içlerinden akım geçtiğinde enerjinin kaybolacağı anlamına gelir. Öte yandan, süper iletken tellerde enerji kaybı olmaz. Elektrik akımı hiç direnç görmeden akar. Süper iletken telden yapılmış bobinler çok büyük manyetik alanlar üretirler ve bir kez üretildiğinde, bu alanlar sürdürülür.



ŞEKİL 26 Bir kriyodipol mıknatısın şeması. Protonlar LHC çemberinde böyle 1232 adet süper iletken mıknatısın manyetik alanıyla turlarlar.

Her LHC dipolünde sadece altı mikron kalınlığında çekilmiş tellerden –insan saçından daha ince– oluşturulmuş niobium-titanium kablolardan yapılmış olan bobinler vardır. LHC'de bu olağandışı tellerden 1200 ton bulunur. Eğer bu telleri tek tek açarsanız, boyları Mars'ın yörüngesini rahatlıkla aşar.

Sadece sıcaklığın yeterince düşük olduğu ortamlarda çalışabildiklerinden, operasyon sırasında bu dipollerin son derece soğuk olması gerekir. Süper iletken tellerin sıcaklığı suyun donma sıcaklığının 271 derece altı demek olan, mutlak sıfırın 1,9 derece üzerinde tutulur. Bu sıcaklık, dış uzaydaki kozmik mikrodalga ışınımının sıcaklığı olan 2,7 derecen bile daha düşüktür. LHC tünelinde evrendeki –elbette bilebildiğimiz kadarıyla– en soğuk hacim yer alır. Mıknatıslara da özel, soğutulmuş olmaları dikkate alınarak *kriyodipol* adı verilmiştir.

Mıknatıslarda kullanılan etkileyici filaman teknolojisine ek olarak soğutma (*kriyojenik*) sistem de başlı başına üstün-

lükleri olan bir sistemdir. Bu aslında dünyadaki en büyük sistem değildir. Sıvı helyum sıcaklığı son derece düşük tutar. Kabloları soğutmak için mıknatısların etrafını 97 ton sıvı helyum çevreler. Bu, sıradan helyum gazı olmayıp, *süper akışkan* fazında olmasını sağlayacak kadar yüksek basınç altında bulunan helyumdur. Süper akışkan helyum sıradan maddelerin kıvamlılığına sahip olmadığından, dipol sisteminde ortaya çıkan en ufak ısıyı bile kolaylıkla emebilir. 10.000 ton sıvı azot, dipollerin etrafında bulunup onları soğutan 130 ton helyumu soğutur.

LHC'deki her şey yeraltında değildir. Yer üstündeki binalarda aletler, elektronik ve soğutma üniteleri bulunur. Önce konvansiyonel bir soğutucu helyumu 4,5 Kelvin'e kadar soğutur, son soğutma evresi ise düşürülmüş basınç altında gerçekleşir. Bu süreç (aynı zamanda ısıtma da) bir ay kadar zaman alır ki, bu da makine her kapatıp açıldığında veya bir onarım yapıldığında yeniden soğutma için uzun zamanın gerekeceği anlamına gelir.

Eğer herhangi bir şey ters giderse –örneğin sistemde sıcaklığı yükseltecek çok küçük bir miktarda ısı kalması durumunda bile– sistem *söndürülür* ve bu nedenle süper iletkenlik ortadan kalkar. Bu durumda eğer enerji uygun bir yolla alınmazsa, mıknatıslarda stoklanan enerji birdenbire serbest kalacağı için sonuç felaket olabilir. Bu yüzden söndürülmeleri izleyen ve salınan enerjiyi dağıtan özel bir sistem devrededir. Bu sistem süper iletkenlikle tutarlı olmayan gerilim farklılıklarını izler. Eğer böyle bir farklılık saptanırsa, bir saniyeden daha kısa bir sürede enerji her yere salınır ve artık dipol süper iletken olmaktan çıkar.

Süper iletken teknolojisiyle bile 8,3 Tesla gücünde manyetik alan yaratmak için devasa akımlar gerekir. Akım, masa lambanızdan geçen akımın 40.000 katı olan 12.000 ampere kadar çıkar.

Bu akım ve soğutma işlemleri nedeniyle LHC çalışırken, yakında bulunan küçük Cenevre şehrine yetecek kadar büyük elektrik enerjisi tüketir. Aşırı yüksek elektrik harcamasından kaçınmak için hızlandırıcı, sadece elektrik fiyatları-

nın yükseldiği İsviçre kış aylarına kadar çalıştırılır (2009 yılındaki çalıştırılma bir istisna idi). Bu politika sayesinde LHC'de çalışan mühendis ve bilim insanları da uzun bir Noel tatili yapma fırsatına sahip olurlar.

BOŞLUKTAN ÇARPIŞMALARA

LHC'nin en üstün olan son özelliği, protonların dolandığı boruların içindeki boşluktur. Ortamda bulunabilecek yabancı moleküller ısı ve enerjiyi dışarıya taşıyabileceklerinden, helyumun soğukluğunu koruyabilmek için ortamda mümkün olduğunca az yabancı madde bulunmalıdır. En kritik olan da, proton demet bölgelerinde olabildiğince az gaz molekülü bulunmasıdır. Eğer gaz bulunursa, protonlar bu gaz molekülleriyle çarpışır ve proton demetinin düzgün dolanımı zarar görür. Bu nedenle demetlerin bulunduğu bölümlerde basınç son derece düşüktür: atmosfer basıncının on trilyonda biri kadar. Bu basınç, havanın iyice seyrekleştiği, yer yüzeyinin on milyon metre yukarısındaki basınca eşdeğerdir. LHC'de bu koşulları sağlayabilmek amacıyla 9000 metreküp hava boşaltılmıştır.

Bu kadar düşük basınçta bile borunun içinde kalan santimetreküpte üç milyon gaz molekülü bulunur ve protonlar zaman zaman bunlarla çarpışarak yollarından çıkarlar. Yeterince çok sayıda böyle proton süper iletken mıknatısa çarparsa, sistemi söndürür ve süper iletkenliği bozarlar. Karbon kolimatörler (yönlendirici), yaklaşık bir milimetre çapındaki demetin geçmesi için yeterli olan üç milimetrelik açıklığın dışında kalan molekülleri yönlendirerek LHC'deki demeti hizaya sokarlar.

Yine de, protonları bir milimetre kalınlığında bir demet şekline sokmak zor bir iştir. Bu iş, demeti etkin bir biçimde odaklayıp sıkıştıran ve *dört kutuplu (quadrupole)* mıknatıslar olarak bilinen diğer mıknatıslarca yapılır. LHC'de böyle 392 mıknatıs vardır. Dört kutuplu mıknatıslar aynı zamanda protonları bağımsız yörüngelerinden saptırır ve çarpışmalarını sağlarlar.

Demetler kesinlikle ve tam olarak kafa kafaya değil, bir radyanın binde biri kadar küçük bir açıyla çarpışırlar. Bu-

nun nedeni her demetteki bir grup protonun diğeriyle çarpışmasını garantilemek, böylece verilerin daha net olmasını sağlamanın yanı sıra, demetin bir bütün olarak kalmasını da sağlamaktır.

Dolanan iki demetteki iki grup çarpıştığında, yüz milyar proton bir diğer yüz milyarla karşılaşmış demektir. Çarpışmaların ortaya çıktığı ve olayları kaydeden deneylerin yer aldığı bölgelerde demetlerin odaklanması gibi göz korkutucu bu işten de dört kutuplu mıknatıslar sorumludur. Bu bölgelerde mıknatıslar demeti 16 mikrona kadar inceltirler. Birbirlerinin içinden geçerken bir gruptaki 100 milyar protonun diğer 100 milyarı bulabilmesi için demetler çok ince ve çok yoğun olmalıdır.

Çarpışacak şekilde birbirlerine doğru gönderilseler bile, bir gruptaki protonların çoğu diğer gruptakilerle karşılaşmaz. Bir protonun çapı bir nanometrenin yaklaşık milyonda biri kadardır. Bu ise, protonların tamamı bu 16 mikron içinde tutulsa bile, demetler karşılaştığında sadece 20 protonun diğerleriyle kafa kafaya çarpışacağı anlamına gelir.

Bu aslında çok iyi bir şeydir. Eğer aynı anda çok sayıda çarpışma olursa, veriler içinden çıkılmaz hale gelebilir. Hangi çarpışmadan hangi parçacığın çıktığını anlamak olanaksız olabilir. Ama eğer hiç çarpışma olmazsa, bu da kötü bir durumdur. LHC'de bu kadar proton bu ölçüde sıkıştırılarak demetler her kesiştiğinde uygun sayıda çarpışmanın ortaya çıkması sağlanır.

Ortaya çıktığında bir proton-proton çarpışması neredeyse anlık olarak, bir saniyenin 25 büyüklük mertebesinden birinde gerçekleşir. Bu ise, iki proton grubu arasındaki çarpışmaları arasındaki sürenin tümüyle bu iki grubun karşılaşma sıklığı tarafından belirlendiği anlamına gelir ki, bu da tam kapasitede yaklaşık her 25 nanosaniyede bir demektir. Demetler birbirleriyle bir saniyede 10 milyon kereden daha fazla karşılaşırlar. Bu kadar sık çarpışmalar sonucunda –saniyede yaklaşık 1 milyar çarpışma– LHC'de devasa miktarlarda veri elde edilir. Neyse ki grup çarpışmaları arasındaki süre, bilgisayarların farklı gruplardan kaynaklanan kafa ka-

rıştırıcı çarpışmalar olmaksızın, ilginç çarpışmaların izini sürmelerine yetecek derecede uzundur.

Sonuç olarak, olabilecek en yüksek enerjili çarpışmaları deneylerin başa çıkabileceği en yüksek sayıdaki olayı garantilemek için LHC'de bazı uç değerlerin olması gereklidir. Enerjinin çoğu, ara sıra gerçekleşen, dikkate değer çarpışmaların dışında, dolanmayı sürdürür. Demetlerdeki devasa enerjiye rağmen, çarpışan grupların enerjileri uçan birkaç sivrisineğin kinetik enerjisinden sadece biraz fazladır. Burada çarpışanlar rugby oyuncuları ya da otomobiller değil, protonlardır. LHC'deki uç değerler enerjiyi minik bölgelerde ve deneylerin izleyebileceği parçacık çarpışmalarında yoğunlaştırır. Bundan sonra bu deneylerde bulunabilecek gizli bileşenlerden bazılarıyla birlikte fizikçilerin bu deneylerdeki keşiflerin sağlayacağını ümit ettikleri, madde ve uzayın doğasına ilişkin kavrayışları ele alacağız.

DOKUZUNCU BÖLÜM

HALKANIN DÖNÜŞÜ

Fizikte yüksek lisans eğitimine 1983'te başladım. LHC resmi olarak ilk kez 1984'te önerildi. Yani bir anlamda akademik kariyerimin çeyrek yüzyıllık bir bölümü için LHC'yi bekliyormuşum. Şimdi, uzun zaman sonra, çalışma arkadaşlarım ve ben sonunda LHC verilerini görüyor, deneylerin kütle, enerji ve madde konularında yakında ortaya koyabileceği görüş ve sonuçları bekliyoruz.

LHC şu anda parçacık fiziğinin en önemli deneysel aracıdır. LHC çalışmaya ilk başladığında, kolayca anlaşılabileceği gibi fizikçi arkadaşlarım giderek daha fazla endişelenmeye ve heyecanlanmaya başladılar. Birisinin ne olup bittiği konusundaki sorularıyla karşılaşmadan bir seminer salonuna giremezdiniz. Çarpışmalarda ne kadar enerjiye ulaşılacaktı? Demetlerde ne kadar elektron bulunacaktı? Kuramcılar, daha önce hesaplarla ve kavramlarla uğraşan, makinelerle ya da deneysel tasarımla ilgisi olmayan bizler için sadece soyutlamalardan ibaret olan ufak ayrıntılar hakkında her şeyi öğrenmek istiyorlardı. Madalyonun öbür yüzü de aynı şekildeydi. Deneyciler de şimdiye kadar tanık olduğum en istekli şekilde son kestirimlerimizi duymak ve nelerin aranacağı ya da bulunmasının beklendiğini öğrenmeye çalışıyorlardı.

2009 Aralığında yapılan, kara madde konulu bir konferansta bile katılımcılar, ilk hızlandırma ve çarpıştırma çalışmalarını olağanüstü başarılı bir şekilde tamamlayan LHC üzerine yorum yapmaya çok istekliydiler. O zamanlar, bir yıldan biraz daha uzun zaman önceki ümitsiz durumdan sonra, her şey çok coşkuluydu. Dedektörleri daha iyi anla-

mak üzere üzerinde çalışacakları verilere kavuştuklarından deneycilerin yüreklerine su serpilmişti. Çok geçmeden bazı yanıtlara ulaşabilecekleri için kuramcılar da mutluydular. Her şey mükemmel gidiyordu. Demetler iyi görünüyordu. Çarpışmalar gözlenmişti. Deneylerde olaylar kaydedilmeye başlanmıştı.

Ama yine de bu aşamaya gelmenin bile başlı başına bir öyküsü vardı. Bu bölümde işte bu öykü anlatılıyor. Şimdi emniyet kemerlerinizi bağlayın. Bu seyir biraz sarsıntılıydı.

HER ŞEYE RAĞMEN KÜÇÜK BİR DÜNYA

CERN'in öyküsü LHC'den onlarca yıl daha eskidir. İkinci Dünya Savaşının bitişinden hemen sonra temel parçacıkların incelenmesine yönelik deneylerin yapılacağı bir Avrupa hızlandırıcı merkezi kurulması tasarlanmıştı. O zamanlar, kimileri Birleşik Devletlere göç etmiş, kimileri hâlâ Fransa, İtalya ve Danimarka'da bulunan birçok Avrupalı fizikçi ülkelerine son teknolojiyle donanmış bilimin dönüşünü görmek istiyorlardı. Amerikalılar ve Avrupalılar, İkinci Dünya Savaşından kalan yaraları sarmak ve oluşmuş bulunan güvensizliği gidermek için Avrupalıların bu ortak girişimde bir araya gelmesi ve araştırmayı Avrupa'ya geri getirmeye çalışmasının bilim insanları ve bilimin kendisi için iyi olacağı konusunda fikir birliğine varmışlardı.

1950'de Floransa'da yapılan bir UNESCO konferansında Amerikalı fizikçi Isidor Rabi Avrupa'da etkin bilimsel topluluğu yeniden oluşturabilecek bir laboratuvarın kurulmasını tavsiye etti. 1952'de Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire (Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi; kısaltılmışı CERN) böyle bir organizasyonu yapmak üzere kuruldu ve 1 Temmuz 1953'te on iki Avrupa ülkesinden temsilciler "Avrupa Nükleer Araştırma Kurumu" olarak bilinen kurumu oluşturmak için bir araya geldiler ve bu kuruluş ertesi yıl gerçekleşti. Açıkça anlaşılabileceği gibi CERN kısaltması artık bu araştırma merkezinin adını yansıtmıyor. Şimdi CERN'de çekirdek içi, parçacık fiziği çalışılıyor. Ama bürokraside sık sık görüldüğü üzere, başlangıçtaki miras kalıyor.

CERN kampusü bilerek Avrupa'nın merkezinde, Cenevre yakınlarında İsviçre-Fransa sınırındaki bölgede kurulmuştur. Eğer açık havada bulunmayı seviyorsanız CERN'i ziyaret etmek harikadır. Civarda tarım arazileriyle birlikte Jura dağları bulunur ve Alp dağları da kısa sürede ulaşılabilecek kadar yakındadır. CERN deneylerine katılanlar genel olarak atletik insanlardır, kayak yapma, tırmanma ve bisiklete binme olanakları vardır. CERN kampusü zinde kalmak için koşan bu atletik araştırmacıları yorgunluktan bitirecek kadar büyüktür. Caddelere ünlü fizikçilerin adı verilmiştir, kampusü ziyaret ettiğinizde aracınızı Curie Caddesi, Pauli Caddesi veya Einstein Caddesinde kullanırsınız. Bununla birlikte CERN'in mimarisi yapım yılları olan 1950'lerin kurbanı olmuştur. O yıllar mimaride düşük profilli yavan bir uluslararası stil hâkim olduğundan CERN binaları uzun koridorlar ve yalın ofislerle doludur. Buranın bir bilim kompleksi olmasının da olumsuz etkileri olmuştur. Çoğu üniversitede kampusün en çirkin binalarının temel bilim binaları olduğunu görürsünüz. Buraya hayat veren, etraftaki manzarayla birlikte burada çalışan insanlar ve onların bilimsel ve mühendislik temelli amaçları ve başarılarıdır.

CERN'in evrimini ve şu andaki işleyişini en iyi uluslararası işbirlikleri ve uyum anlatır. Bunlar belki de gelmiş geçmiş en başarılı işbirlikleridir. Ülkelerin çok yakın geçmişte birbirleriyle sorunlu olduğu İkinci Dünya Savaşı sonrasında bile on iki farklı ülkeden bilim insanları burada işbirliği içinde çalışıyorlardı.

Eğer rekabet herhangi bir rol oynadıysa bile, esas olarak ABD'ye ve onun filizlenmekte olan bilimsel girişimlerine yönelikti. CERN'deki deneylerde *W* ve *Z* ayar bozonları bulununcaya kadar neredeyse parçacık fiziğindeki buluşların tamamı Amerika'daki hızlandırıcılardan gelmişti. 1982'de ben yaz stajımı yaparken Fermilab'daki ortak alana giren ve "Allah'ın belası vektör bozonları bulmak" ve böylece Amerika'nın üstünlüğüne son vermek zorunda olduklarını söyleyen sarhoş fizikçinin sözleri, her ne kadar zarafetten yoksun ve diksiyonu bozuk olsa da, büyük olasılıkla Avru-

palı fizikçilerin o dönemdeki ruh hallerini yansıtıyor olmalıydı.

Bu bozonları CERN'deki bilim insanları buldu. Ve şimdi, LHC ile CERN, deneysel parçacık fiziğinin tartışmasız merkezidir. Bununla birlikte, LHC ilk kez önerildiğinde bu durum öngörülmemişti. Başkan Reagan'ın 1987'de onay verdiği Amerikan Süper İletken Süper Çarpıştırıcı (SSC), eğer kongre destek vermeyi sürdürseydi üç kat yüksek enerjiye ulaşacaktı. Her ne kadar Clinton yönetimi daha önce Cumhuriyetçiler tarafından başlatılan bu projeyi önceleri desteklemediyse de, Başkan Clinton tam olarak neyin söz konusu olduğunu anladıktan sonra durum değişti. Haziran 1993'te Tahsisatları Değerlendiren Parlamento Komisyonunun başkanı olan William Natcher'e "Bilmenizi isterim ki, Süper İletken Süper Çarpıştırıcıya olan desteğim devam ediyor..." dediği bir mektup yazarak tahsis iptalini önlemeye çalıştı. "SSC'den bu noktada vazgeçilmesi, Birleşik Devletlerin temel bilimler alanında nesiller boyu sorgulanmayan liderlik konumundan ödün vermesinin sinyali olacaktır. Ekonomide zor zamanlardan geçiyor olsak da yönetimimiz bu projeyi, bilim ve teknolojiye yaptığımız kapsamlı yatırımın bir parçası olarak desteklemeyi sürdürüyor... Sizden bu önemli ve iddialı projeyi desteklemenizi bekliyorum." Eski başkanla 2005 yılında karşılaştığımda, SSC'yi gündeme getirdi ve projeden vazgeçmekle neler kaybettiğimizi sordu. Kendisinin de insanlığın önemli bir fırsatı geri çevirdiğinin farkında olduğunu söyledi.

Kongrenin SSC'yi reddettiği günlerde vergi mükellefleri kredi krizinin çözümü için SSC'nin 10 milyar dolarlık maliyetinin kat kat üzerinde olan 150 milyar dolar ödüyorlardı. Bir karşılaştırma yapabilmek için Amerika'nın yıllık açığı kişi başı 600 dolar, Irak Savaşının kişi başı maliyeti ise 2000 dolar idi. SSC'de yüksek enerji sonuçlarını hemen elde edecek ve LHC'de ulaşılandan çok daha yüksek enerjilere ulaşacaktık. S&L krizinin bitiminden sonra kendimizi 2008 mali krizinin ve vergi mükelleflerine çok daha büyük yükler getiren banka kurtarma işlerinin içinde bulduk.

LHC'nin 9 milyar dolarlık maliyeti SSC'nin önerilen maliyetine yakındır. Bu maliyet LHC'nin yapıldığı yıllarda Avrupa'da kişi başına 15 dolar ya da CERN'deki meslektaşım Luis Alvarez-Gaume'nin söylediği gibi, her Avrupalıya yılda bir bira kadardı. LHC'de yapılan türde temel bilim araştırmalarına değer biçmek her zaman zordur ama temel araştırmaların elektrik, yarı iletkenler, World Wide Web gibi hayatımızı temelden etkileyen diğer teknolojik ilerlemeleri teşvik ettiği de bir gerçektir. Aynı zamanda ekonomimizin her yanına dağılan bilimsel ve teknolojik düşünceyi de ateşler. LHC'de elde edilen pratik sonuçları önceden sezmek zor olabilir ama bilim potansiyelini görmek o kadar da zor değildir. Sanırım bu durumda Avrupalıların paralarının karşılığını daha iyi aldıkları konusunda hemfikir olabiliriz.

Uzun süreli projeler inanç, adanmışlık ve sorumluluk gerektirir. Birleşik Devletler'de böylesi yükümlülükleri üstlenmek giderek daha zorlaşıyor. Bu ülkenin geçmişteki vizyonu olağanüstü bilimsel ve teknolojik kazanımlarla sonuçlanmıştı. Ama günümüzde bu tür uzun dönemli planlamalar giderek seyrekleşiyor. Bu tür projeleri artık sürdürebilme yetenekleri nedeniyle Avrupa Topluluğuna devretmek zorundayız. LHC çeyrek yüzyıl önce planlandı ve 1994'te onaylandı. Bu iddialı projenin meyveleri ise ancak günümüzde toplanmaya başladı.

Dahası, CERN uluslararası çekiciliğini başarıyla giderek artırdı ve sadece 20 CERN üyesi ülkeyi değil 53 diğer ülkeyi de aletlerin tasarım, yapım ve test aşamalarında işin içine soktu. Günümüzde 85 ulustan araştırmacı CERN'de çalışıyor. Birleşik Devletler üye ülke olmamasına karşın büyük deneylerde bütün diğer uluslardan fazla Amerikalı çalışıyor.

Toplamda görev alan fizikçilerin sayısı, belki de dünyadaki toplam parçacık fizikçisi sayısının yarısı olan 10.000 kadardır. Bunların beşte biri yakınlarda yaşayan tam zamanlı çalışanlardır. LHC'nin gelişmesiyle birlikte merkez kafeterya o kadar kalabalık hale geldi ki, artık neredeyse tepsiniz bir başka fizikçininkine çarpmadan yemek bile alamıyorsunuz. Bu sorun, kafeteryanın büyütülmesiyle bir nebze olsun aşıldı.

Böyle uluslararası bir nüfus nedeniyle CERN'e giden bir Amerikalı kafeteryalarda, ofis ve koridorlarda yankılanan değişik diller ve aksanlarla karşılaşıyor. Amerikalılar orada aynı zamanda onlara kendi ülkelerinde olmadıklarını hatırlatan biralar, purolar ve şarapların varlığına da dikkat ediyorlar. Bazıları da orada yaz süresince çalışan birinci sınıf öğrencilerimden birinin dediği gibi, kafeteryaların kalitesi konusunda yorum yapıyor. Daha rafine damaklara sahip olan Avrupalılar ise bu değerlendirmeleri sorgulanabilir bulma eğilimindeler.

CERN'de çalışanlar ve ziyaretçilerin birçoğu mühendisten yöneticiye, deneyleri yapan fizikçilere ve kuram bölümünde çalışan 100'den fazla fizikçiye kadar değişen bir yelpazede yer alır. CERN'in hiyerarşik bir yapısı vardır. Yöneticiler ve konseyler büyük stratejik kararlar da dahil olmak üzere bütün politikalardan sorumludur. Genel direktör (DG) olarak bilinen en üst yöneticinin altında direktörler bulunur. CERN Konseyi projelerin planlanması ve zamanlaması gibi temel stratejik kararlardan sorumlu olan yönetim kuruludur. Deney önerileri ve bunların bilimsel sonuçlarını değerlendiren ana tavsiye kurulu olan Bilimsel Politika Komitesine özel önem verir.

Binlerce katılımcısı olan büyük deneysel işbirliklerinin yapısı kendine özgüdür. İş, dedektör bileşenlerine ya da analizlerin türüne göre dağıtılır. Belirli bir üniversite grubu deney aletinin belirli bir bölümünden veya belirli bir tür potansiyel bilimsel yorumdan sorumludur. CERN'deki kuramcılar, ilgilendikleri alan ne olursa olsun, deneycilere göre daha geniş bir çalışma serbestisine sahiptir. Kimi zaman çalışmaları deneylerle uyumlu olsa da çoğu, yakın zamanda sınanması olası olmayan, daha soyut düşünceler üzerinde çalışırlar.

Her şeye karşın CERN'deki ve dünyanın her yanındaki fizikçiler LHC konusunda heyecanlanırlar. Gelecekteki araştırmalarının ve bu alanın kendisinin geleceğinin önümüzdeki 10-20 yıl içindeki başarılı operasyona ve keşiflere bağlı olduğunu bilirler. Zorlukların farkında olmakla birlikte bu girişimdeki en uç noktalar konusunda iliklerine kadar hemfikirdirler.

LHC'NİN KISA TARİHİ

Lyn Evans LHC'nin baş mimarıydı. O güzel ve hareketli Gal aksanıyla konuşmasını bir yıl önce de duymuş olsam da, sonunda kendisiyle 2010 Ocak ayının başlarında California'daki bir konferansta karşılaştım. LHC yoluna girmiş olduğundan bunun tam zamanıydı ve ölçülü bir insan olan bu Galli'nin bile aldığı zevk ortadaydı.

Lyn, LHC'yi inşa etmek üzere ilk yola çıkışından başlayan inişli-çıkışlı yolculuğu hakkında mükemmel bir konuşma yaptı. CERN'de bir yüksek enerjili proton-proton çarpıştırıcısının yapılması seçeneğinin araştırıldığı ilk resmi araştırmaların yapıldığı 1980'lerde fikrin ilk ortaya çıkışıyla başladı. Sonra bize çoğu kimsenin bu fikrin resmi başlangıcı olduğunu düşündüğü 1984'teki toplantıdan söz etti. O zamanlar fizikçiler Lozan'da makine üreticileriyle buluşarak proton demetlerini 10 TeV enerjiyle çarpıştırmayı –daha sonra bu enerji 7 TeV olarak belirlendi– konuşuyorlardı. Neredeyse 10 yıl sonra, Aralık 1993'te fizikçiler CERN'in çoğu büyük, stratejik kararının alındığı, yönetim birimi olan CERN Konseyine, sonraki 10 yıl boyunca LEP dışında CERN'deki bütün deneysel programları küçülterek LHC'nin yapılması konusunda cesur bir plan sundular. O zaman, CERN konseyi buna izin vermedi.

Başlangıçta LHC'ye karşı olan argümanlardan biri, SSC'den gelecek yoğun rekabet olmuştu. Bu projenin 1993 Ekim ayında terk edilmesiyle bu argüman da ortadan kalktı ve LHC yüksek enerjili hızlandırıcı için tek aday haline geldi. Üstüne üstlük, makine araştırması da son derece başarılıydı. Sonuç olarak LHC'nin yapım evresinde CERN'i yönetecek olan Robert Aymar'ın 1993'te yönettiği bir panelde LHC'nin yapılabilir, ekonomik ve güvenli olacağı sonucuna varıldı.

LHC'nin planlanmasındaki kritik engel, yüksek hızlı protonların halka içinde dolanmalarını sağlayacak olan yeterince güçlü mıknatısların endüstriyel ölçekte geliştirilmesiydi. Önceki bölümde gördüğümüz gibi, yarıçapı sabit olup gereken manyetik alanlar çok yüksek olduğundan, var olan tünelin boyutları en büyük teknik zorluğu oluşturuyordu. Konuş-

masında Lyn, fizikçi ve mühendislerin 1994'te başarıyla test ettiği 10 metre uzunluğundaki ilk dipol mıknatıs örneğindeki "İsviçre saati hassasiyetini" büyük bir mutlulukla anlattı. İlk denemede hedefleri olan ve çok umut veren 8,73 Tesla değerine ulaşmışlardı.

Bununla birlikte ne yazık ki, her ne kadar Avrupa kaynak yaratma konusunda Birleşik Devletlerden daha kararlı olsa da, öngörülemeyen baskılar CERN'in mali işlerinde de belirsizliklere yol açtı. CERN'e en büyük katkıyı yapan Almanya'nın bütçesi 1990'da birleşmeyle sarsılmıştı. Bu yüzden Almanya CERN'e olan katkısını sınırladı ve İngiltere'yle birlikte CERN bütçesinde önemli bir artış istemediğini belirtti. Hem İngiliz kuramsal fizikçi Christopher Llewellyn Smith, hem de ondan önce CERN'in genel direktörlüğünü yapmış olan Nobel ödüllü fizikçi Carlo Rubbia LHC'yi güçlü bir şekilde desteklemişlerdi. Llewellyn Smith LHC'nin ev sahibi konumunda olan, dolayısıyla LHC'nin yapımı ve çalışmasından en büyük payı bekleyen İsviçre ve Fransa'dan fon bularak ciddi bütçe sorunlarını kısmen de olsa aşmayı başardı.

Hem teknolojiden hem de bütçe sorunlarının çözülmesinden etkilenen CERN Konseyi de 16 Aralık 1994'ten hemen sonra LHC'nin yapımına onay verdi. LLewellyn Smith ve CERN bu arada üye olmayan ülkeleri de işbirliğine ikna etti. Japonya 1995'te, Hindistan 1996'da çok geçmeden Rusya ve Kanada, Birleşik Devletler ise 1997'de işbirliğine katıldı.

Avrupa ve diğer ülkelerin katkılarıyla LHC yapımı ve işletmesi iki aşamada planlanan, birinci aşaması bütün mıknatısların üçte ikisini kapsayan hükümleri geçersiz kılabildi. Hem bilimsel olarak hem de toplam maliyet anlamında manyetik alanın azaltılması kötü bir seçenekti. Ama özgün eğilim bütçelerin her yıl dengelenmesiydi. 1996'da Almanya katkısını birleşme sorunları nedeniyle bir kez daha kısınca bütçe durumu bir kez daha ümitsiz göründü. Ama 1997'de ilk kez kayıplarını, yapımı krediyle finanse etmek yoluyla giderme iznini aldı.

Bütçe tarihinin içyüzünden sonra Lyn'ın konuşması daha mutlu olaylara yöneldi. 1998 Aralık ayında yapılan Dipolle-

rin ilk *test dizisi*ni –çalışabilecek şekilde bir araya getirilen test mıknatısları– tanımladı. Bu testin başarılı bir şekilde tamamlanması birçok son LHC bileşeninin yaşayabilirliğini ve eşgüdümünü ortaya koydu ve LHC'nin gelişimindeki en önemli kilometre taşlarından biriydi.

2000'de LEP yani elektron-pozitron çarpıştırıcısı ömrünü tamamladığında LHC'nin yapımına zemin hazırlamak üzere söküldü. Ama her ne kadar LHC önceden var olan tünelin içine inşa edilmiş olsa ve kadronun, tesislerin ve üst yapının bir bölümü zaten yerli yerinde olsa da, LEP'ten LHC'ye geçiş için daha çok iş yapılması ve kaynak ayrılması gerekiyordu.

LHC'nin gelişiminin beş evresi arasında deneylerin ve odacıkların yapımı için inşaat mühendisliği, her şeyin işleyebilmesi için genel servislerin montajı, hızlandırıcıyı soğuk tutmak için kriyojenik hattın kurulması, aralarında dipoller, ilişkili bağlantı ve kablolar olmak üzere bütün makine elemanlarının yerlerine yerleştirilmesi ve son olarak da her şeyin beklendiği gibi çalıştığından emin olmak için bütün donanımın devreye alınması da vardı.

CERN planlamacıları işe, bu yapım evrelerinde eşgüdümü sağlamak üzere dikkatli bir takvim hazırlayarak başladılar. Ama herkesin bildiği gibi, "bütün planlar bozulmak için yapılırdı". Burada da bir istisna olmadı.

Bütçe konuları değişmeyen bir can sıkıntısıydı. 2001'de inşaatın ilerleyebilmesi için bazı ciddi bütçe sorunlarının nasıl aşılacağını görmeyi bekleyen parçacık fiziği toplumunun düş kırıklığı ve kaygılarını hatırlıyorum. CERN yönetimi bütçe aşımlarıyla ilgileniyordu.

Bu finansman ve bütçe sorunları çözüldükten sonra bile LHC'nin gelişim seyri pek pürüzsüz değildi. Konuşmasında Lyn bir dizi öngörülemeyen olayın yapımı periyodik olarak nasıl yavaşlattığını anlattı.

Elbette hiç kimse CMS (Compact Muon Solenoid) deneyi için bir odacık kazılırken dördüncü yüzyıldan kalan bir Roma villasına girileceğini öngöremezdi. Mülk sınırları bu güne dek varlığını sürdüren tarım alanının sınırlarına paraleldi. Arkeologlar gömülü hazineyi incelerken kazı durdu. Bu

arada Ostia, Lyon ve Londra (bu villada yaşandığı dönemde Ostium, Lugdunum ve Londinium) kaynaklı bazı paralar bulundu. Görünüşe bakılırsa Romalılar ortak para birimi konusunda modern Avrupa'dan daha iyi durumdaymışlar. Öyle ya, Avro hâlâ İngiliz Sterlini ve İsviçre Frangının yerini alamadı. CERN'e giden İngiliz fizikçiler hâlâ taksi ücretlerini ödeyecek para bulamıyorlar.

CMS'nin sancılarıyla karşılaştırıldığında, 2001'deki ATLAS mağarasının kazılması görece olaysız geçti denebilir. Bu mağara kazılırken 300.000 ton kaya çıkarıldı. Karşılaştıkları tek sorun, bütün maddenin çıkarılmasından sonra mağaranın tabanının yavaş yavaş –yaklaşık yılda bir milimetre– yükselmesiydi. Bu hareket çok büyük görünmeyebilir ama ilke olarak dedektör parçaları arasındaki bütün hassas hizalanmaları bozuyordu. O nedenle mühendisler hassas metroloji aletleri yerleştirmek zorundaydılar. Bunlar o kadar etkiliydiler ki, sadece ATLAS'ın hareketlerini saptamakla kalmadılar, 2004'teki tsunamiyi onu tetikleyen Sumatra Depremini ve daha sonraki depremleri de kaydettiler.

ATLAS deneyinin yer yüzeyinin çok altındaki yapım süreci etkileyiciydi. Çatı, zeminde yapıldı ve tavana kablolarla asılarak duvarların yapımına geçildi. En son olarak da taşıyıcı tonozlar yerleştirildi. 2003'te tamamlanan kazı yeri törenle açılırken içeride Alp boruları çalındı ki Lyn'a göre bu büyük bir eğlence kaynağıydı. Daha sonra deney araçları yerleştirilip monte edilirken parçalar yerlerine tek tek indirildi, sonunda da ATLAS deneyi yerin çok altındaki bu mağaraya "şişenin içinde gemi yapımı" tekniğiyle yerleştirildi.

Öte yandan CMS hazırlıkları sert dalgalarla karşılaşmaya devam etti. CMS'nin yerinin talihsiz bir şekilde yalnızca çok önemli bir arkeolojik bölgede değil, aynı zamanda bir yeraltı nehrinin üzerinde seçildiği fark edildi. O yıl çok olan yağış sonucunda mühendis ve fizikçiler malzeme taşımak üzere yere çaktıkları 70 m uzunluğundaki silindirin 30 cm battığını şaşkınlıkla gördüler. Hesapta olmayan bu durumla başa çıkabilmek için kazıcılar, silindir boyunca buz duvarları yaratarak yeri dondurmaya ve bölgeyi sağlamlaştırmaya

çalıştılar. Mağaranın etrafındaki kırılgan kayaları dengelemek için destekleme yapıları kurulması, bunun için de uzunlukları 40 metreyi bulan vidaların konulması gerekti. Bu nedenlerle CMS kazısının beklenenden uzun sürmesi şaşırtıcı olmadı.

Durumu kurtaran tek şey, CMS'nin göreli küçük boyutları nedeniyle deneyci ve mühendislerin deney aletlerini yer yüzeyinde kurup birleştirmek istemeleriydi. Parçaların yüzeyde yapılması ve kurulumu çok daha kolaydı ve aynı anda çalışacak yer bulunduğundan her şey daha hızlı gidiyordu. Bu yüzeyde yapım işi, mağara sorunları yapımı daha fazla geciktirmeyeceğinden, avantajlı olmuştu.

Yine de, düşünebileceğiniz gibi, benim de 2007'deki ziyaretim sırasında görme şansı bulduğum bu devasa aleti yeraltına indirmek ürkütücü bir işti. Gerçekten de deney aletinin indirilmesi kolay bir görev değildi. En büyük parça aşağıya doğru olan 100 metrelik yolculuğuna özel bir vinçle ve saatte 10 metrelik ürkütücü bir yavaşlıkla başladı. Deney aletiyle tüp arasında sadece 10 cm'lik bir boşluk olduğundan, bu düşük hız ve sürekli gözetim çok önemliydi. Kasım 2006 ile Ocak 2008 arasında dedektörün on beş büyük parçası indirildi, zamanlayıcı aletin pirinç bir parçası LHC'nin planlanmış başlama tarihine doğru indirilen en son parça oldu.

CMS su sorununun ardından bir sonraki kriz, QRL olarak bilinen helyum taşıma hattında bir sorun fark edildiğinde LHC makinesinin yapımının Haziran 2004'te durmasıydı. Araştırma yapan CERN mühendisleri sorunun, bu yapım işini üstlenen Fransız firmasının özgün tasarımdaki bir parçayı Lyn'ın deyimiyle "beş dolarlık bir pul" ile değiştirmesi olduğunu buldular. Bu pul çatlamış ve iç boruların termal olarak çökmesine neden olmuştu. Bu arızalı parça tek değildi, bütün bağlantıların kontrolü gerekecekti.

Bu arada kriyojenik (soğutucu) hat kısmen monte edilmiş ve birçok parça üretilmişti. Tedarik zincirini kırıp başka gecikmelere neden olmamak için CERN mühendisleri üretilmiş olanları tamir edip kalan parçalar gelmeden sorunu endüstrinin çözmesini sağlamaya karar verdiler. CERN'in fabrika

operasyonlarıyla makinenin büyük parçalarının değiştirilmesi LHC'nin bir yılına mal oldu. Bu gecikme en azından Lyn'ın avukatların devreye girmesiyle yaşanacağını düşündüğü on yıllık gecikmeden çok daha kısaydı.

Borular ve soğutucu sistem olmadan hiç kimse mıknatısları monte edemezdi. O nedenle 1000 mıknatıs CERN'in park yerinde bekledi. Park yerinde çok sayıda bulunan BMW ve Mercedeslere karşın 1 milyar dolar değerindeki mıknatıslar park yerindeki araçların toplamından çok daha değerliydi. Değerli mıknatısları kimse çalmadı ama park yeri teknolojik aletlerin beklemesi için uygun bir yer olmadığından, mıknatısların özgün durumlarına döndürülmesi nedeniyle yeni bir gecikme kaçınılmazdı.

2005'te Birleşik Devletlerdeki Fermilab ve Japonya işbirliğiyle yapılan iç üçlüyle ilgili olarak neredeyse bir kriz daha çıkıyordu. İç üçlü proton demetlerinin çarpışmadan önce son kez odaklanmalarını sağlar. Dört kutuplu üç mıknatısı soğutma ve güç dağıtma sistemleriyle birleştirir ve adını da buradan alır. İç üçlü basınç testlerini geçemedi. Bu arıza sıkıntılı bir durum ve bir gecikme nedeni olsa da, mühendisler tamiratı tünelde yapabilirlerdi, o nedenle sonuçta zaman maliyeti çok yüksek olmayacaktı.

Toplamda 2005, bir öncekine göre çok daha başarılı bir yıldı. CMS mağarası borular çalmadan Şubatta açıldı. Şubatta önemli bir şey daha oldu: ilk kriyodipol mıknatıs yerine indirildi. Mıknatıs yapımı LHC girişiminde önemliydi. CERN'le sanayi arasındaki işbirliği sayesinde mıknatıslar zamanında ve ekonomik olarak üretildiler. CERN'de tasarlanmakla birlikte mıknatıslar Fransa, Almanya ve İtalya'daki kuruluşlarda üretiliyorlardı. Başlangıçta CERN'deki mühendis, fizikçi ve teknisyenler 2000 yılında 30 dipol siparişi verdiler. Bunları dikkatle inceleyip kalite ve fiyatı kontrol ettikten sonra 2002'de 1000 adetlik sipariş daha verdiler. Kaliteyi en üst seviyede, fiyatı ise düşük tutmak için CERN, ana parçaların ve hammaddenin satın alınmasında sorumluluk üstleniyordu. Bunu yapabilmek için CERN Avrupa'da 120.000 ton malzeme taşıdı ki bu, dört yıl boyunca her gün 10 büyük

kamyonla malzeme taşınması anlamına gelir. Ve bu, LHC çabasının yalnızca bir parçasıydı.

Teslimattan sonra mıknatısların tümü testten geçti ve CERN kampusüne üstten bakan Jura dağlarının yanında dikey bir tünelden dikkatlice aşağıya indirildi. Oradan özel bir araç bunları tünel boyunca taşıyarak yerlerine götürdü. Bu mıknatıslar çok büyük olduğundan ve tünel duvarı ile LHC aletleri arasında sadece birkaç santimetre bulunduğundan, bu araçlar yere çizilmiş olan bir çizginin optik olarak algılanmasına dayanan otomatik bir sistemle yönlendiriliyorlardı. Titreşimleri sınırlamak için bu araç saatte sadece iki kilometrelik bir hızla hareket ediyordu. Buradan bir dipolün indirildiği yerden halkanın karşı tarafındaki yerine ulaşmasının yedi saat sürdüğü anlaşılabilir.

2006'da, beş yıllık yapımdan sonra, 1232 dipol mıknatısın sonuncusu teslim edildi. 2007'de son kriyodipolün indirilişi ve 3,3 km'lik bölümün tasarım sıcaklığı olan -271 dereceye kadar soğutulması büyük haber oldu. Bu soğutma işlemi için bu bölümdeki süper iletken mıknatıslarda binlerce amperlik akımlar dolaşmıştı. CERN'de sıkça olduğu üzere, bu olaylar da şampanyayla kutlandı.

Sürekli soğutma kabı bölümü Aralık 2007'de kapatıldı. Her şey iyi görünüyordu, ta ki PIM adı verilen takılabilir modüllerde felakete yakın bir durum ortaya çıkıncaya kadar. Birleşik Devletlerde biz LHC'yle ilgili bütün raporları izlemiyorduk. Ama bu kez bazı haberler yayıldı. CERN'den bir arkadaşım sadece bu parçanın arıza yapmadığını, bunun bütün halkayı etkileyebilecek, yaygın bir sorun olabileceğinden söz etti.

Sorun, LHC'nin oda sıcaklığındaki bölümüyle soğuk çalışması gereken bölümü arasındaki 300 derecelik farktı. Bu fark yapım malzemesini derinden etkiliyordu. Metal parçalar soğuyunca büzülüyor, ısınınca genleşiyorlardı. Dipollerin kendileri de soğuma evresinde birkaç santimetre büzülüyorlardı. 15 metre büyüklüğündeki bir nesne için bu, çok görünmeyebilir ama manyetik alanın proton demetlerini doğru yönlendirebilmeleri için bobinlerin milimetrenin onda biri kadar bir hassasiyetle doğru konumlanmaları gerekir.

Bu değişikliğe uyum sağlamak için dipoller, makine soğuduğunda elektrik iletimini sürdürmek üzere düzleşen, ısındığında geriye kayan özel *parmaklar*la tasarlandılar. Ama yine de hatalı perçinler yüzünden bu parmaklar geriye kaymak yerine çöktüler. Daha da kötüsü, her iç bağlantıda bu sorun görülebilirdi ve hangilerinde sorun olduğu bilinemiyordu. Zorluk, büyük bir gecikmeye neden olmadan hangi perçinlerin sorunlu olduğunu anlayıp tamir etmekti.

Demet boyunca önceden her 53 metrede bir monte edilmiş olan elektrik alıcılarını kullanarak demetin her geçişinde elektroniğin tetiklenmesini sağlayan CERN mühendislerinin zekâsından sitayişle söz etmeliyiz. Mühendisler, tünel çevresinde demetin izleyeceği yola paralel olarak gönderebilecekleri, masa tenisi topu büyüklüğündeki bir cisme bir osilatör monte ettiler. Her bölüm üç kilometre uzunluğundaydı ve top her alıcının yanından geçtiğinde elektroniği tetikleyerek hareket ediyordu. Elektronikler geçiş kaydetmediğinde top parmaklara çarpmış demekti. O zaman mühendisler gidiyor ve demet boyunca bütün iç bağlantıları açmalarına gerek olmadan sorunu çözüyorlardı. LHC'deki bir fizikçinin şakayla karışık söylediği gibi, LHC'deki ilk çarpışmalar protonlar arasında değil, bir masa tenisi topuyla çökmüş bir parmak arasındaydı.

Bu son çözümden sonra LHC yoluna girmiş gibiydi. Bütün donanım yerleştirildikten sonra, çalışmaya başlayabilirdi. Uzun bir süre sonra, 2008'de ilk testler yapılırken pek çok kimse şans diliyordu.

EYLÜL 2008: İLK TESTLER

LHC'de proton demetleri, bir dizi enerji hızlandırması sonucunda protonların son dairesel hızlandırıcıya girmesinden sonra oluşturulur. Daha sonra bu demetler tünelin çevresinde tur atarak aynı noktaya gelirler. Birçok kez tur atan bu demetler sonunda yön değiştirilerek büyük bir verimlilikle çarpıştırılırlar. Bu adımlardan her biri sırayla test edilmek zorundadır.

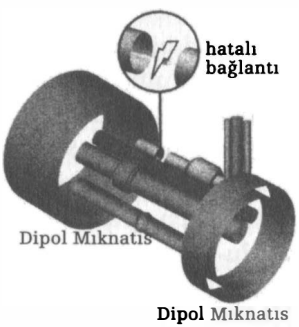
İlk kilometre taşı demetlerin gerçekten çember çevresinde dolanıp dolanmadıklarının kontrol edilmesiydi. Dolanıyorlardı. Uzun bir denemeler ve sıkıntılar döneminden sonra Eylül 2008'de CERN'de iki proton demeti, şaşırtıcı ve sonuçlar beklentileri aşacak bir doğrulukla çarpıştırıldı. O gün ilk olarak iki proton demeti peş peşe dev tünelde ters yönde dolandılar. Bu tek adım enjeksiyon elemanlarının işletilmesini, kontrol ve aletlerin çalıştırılmasını, manyetik alanların protonların çember içinde kalıp kalmadığının kontrolünü ve bütün mıknatısların istendiği gibi çalıştığı ve eş zamanlı olarak çalışacaklarından emin olunmasını kapsıyordu. Bu olaylar dizisinin hazır olduğu ilk an, 9 Eylül akşamı idi. Ama ertesi gün testler yapıldığına her şey planlandığı gibi veya planlandığından daha iyi çalışıyordu.

LHC'yle ilgilenen herkes 10 Eylül 2008'i unutamadıkları bir gün olarak tanımlıyordu. Bir ay sonraki ziyaretimde o günkü coşku konusunda pek çok öykü dinledim. İnsanlar bir bilgisayar ekranındaki iki ışık noktasını inanılmaz bir heyecanla izlemişlerdi. Sistemin çalışmaya başlamasından bir saat sonra ilk demet ilk turunu tamamlamış ve minimum ince ayarla tam olarak planlanan yoluna girmişti. Demet başlangıçta çember çevresinde birkaç tur attı. Sonra her ardışık proton patlaması hafifçe ayarlanarak demetin yüzlerce kez turlaması sağlandı. Çok geçmeden ikinci demete de aynı şeyler uygulandı, demetin tam rayına oturması yaklaşık bir buçuk saat aldı. Lyn o anda haberdar olmadığı, mühendislerin projeyi izlediği kontrol odasından internete yapılan canlı yayın sayesinde isteyen herkesin bu olayı izleyebilmiş olmasından da mutlu olmuştu. Böylece birçok insan bu iki noktayı ekranlarda izleyebilmiş, aşırı yükten pek çok internet sitesi çökmüştü. Avrupa'da pek çok insan –CERN basın ofisine göre birkaç milyon kişi– mühendisler protonları çember çevresinde tam istenen yol sokmaya uğraşırken büyülenmiş gibi ekranlarına kilitlenmişti. Bu arada CERN'de fizikçi ve mühendisler salonlarda toplanıp bu olayı izlerken heyecan elle tutulur düzeydeydi. Bu noktada LHC'nin manzarası gelecek vaat etmenin de ötesindeydi. Bu, olağanüstü bir başarıydı.

Ama yalnızca dokuz gün sonra, coşku yerini umutsuzluğa bıraktı. Bu sırada iki yeni ve önemli özellik test ediliyordu. Bunlardan ilki, LHC halkasının içinde demetlerin, ilk test sırasında LHC halkasına ilk girdiklerinde sahip oldukları enjeksiyon enerjisinden daha yüksek enerjilere kadar hızlandırılmasıydı. Planın ikinci kısmı ise bu demetlerin çarpıştırılmasıydı ki bu, LHC'nin gelişiminde bir kilometre taşı olacaktı.

Ama 19 Eylülde, son anda mühendislerin aldıkları tüm önlemlere karşın test başarısız oldu. Bu başarısızlık feci boyuttaydı. İki mıknatısı birleştiren bakır kılıftaki basit bir lehim hatası helyum salım vanalarının sayısının da çok az olmasıyla birleşerek protonların ilk çarpışmalarında bir yıllık bir gecikmeye yol açtı.

Sorun, bilim insanları akımla birlikte sekizinci ve son bölümün enerjisini artırmaya çalışırken, iki mıknatısı birbirine bağlayan toplayıcı çubukta bir bağlantı noktasının kopmasıydı. *Toplayıcı çubuk,* iki süper iletken mıknatısı birbirine bağlayan süper iletken bir bağlantıdır (Şekil 17). İki mıknatısı birleştiren bağlantı noktasını bir arada tutan ek yeri suçluydu. Hatalı ek yerinde oluşan elektrik kıvılcımı helyum kabını delmiş ve normalde yavaş yavaş ısıtılması gereken altı ton sıvı helyumu bir anda serbest bırakmıştı. Sıvı helyum ısınarak gaz haline geçerken sistem sönmüş ve süper iletkenlik yok olmuştu.



ŞEKİL 27 Farklı mıknatısları birleştiren toplayıcı çubuk. 2008'deki şanssız olaydan bu çubuklardan birindeki bir hatalı lehim sorumluydu.

Salınan devasa miktardaki helyum büyük bir basınç dalgası yaratarak bir patlamaya neden olmuştu. 30 saniyeden daha kısa sürede ortaya çıkan enerji bazı mıknatısları yerlerinden oynatmış, demet borusundaki boşluğa hasar vermiş, yalıtımı bozmuş ve demet borusunun 700 metresinin kurumla kaplanmasına neden olmuştu. On dipol tümüyle harap olmuş, 29 adedininse değiştirilmesi gerekmişti. Umulanın bu olmadığını söylemeye gerek yok. Ve bu durumu tünelin içinde bulunan bilgisayarlardan birinin stop düğmesinin kaçan helyum tarafından tetiklenmesine kadar, kontrol odasında bulunan hiç kimse fark etmemişti. Çok geçmeden demetin yok olduğu anlaşıldı.

Bu olayların arka planındaki diğer öyküleri, olaydan birkaç hafta sonra CERN'e yaptığım ziyaret sırasında öğrendim. Çarpışmaların amacının 14 TeV ya da 14 trilyon elektron volt kütle merkezi enerjisi olduğunu unutmayın. İlk çalışmada her şeyin işlevini yerine getirdiğinden emin olmak için bu enerjinin 2 TeV'de tutulmasına karar verilmişti. Daha sonra mühendisler ilk gerçek veri çalışmaları için enerjiyi 10 TeV'e (her demet için 5 TeV) çıkarmayı planlıyorlardı.

Ama 12 Eylülde bir transformatörün bozulmasından kaynaklanan küçük gecikmenin ardından plan daha da iddialı hale geldi. Bu gecikmeden kaynaklanan ara sırasında bilim insanları tünelin sekiz bölümünü 5,5 TeV'e kadar test etmeyi sürdürdüler ve bu sekiz sektörün yedisinin testini tamamladılar. Bunların daha yüksek enerjilerde çalışabileceğini doğruladılarsa da sekizinci bölümü test etmeye fırsat bulamadılar. Herhangi bir sorun olmadığından devam etmeye ve yüksek enerjili çarpışmaları denemeye karar verdiler.

Mühendisler son denenmemiş bölümün enerjisini artırmaya teşebbüs edinceye kadar her şey yolunda gitti. Enerjinin 4'ten 5,5 TeV'e çıkarılması sırasında –ki bunun için 7000-9300 amper gerekiyordu– sistemi felç eden bir kaza oldu. Bu, bir şeylerin yanlış gidebileceği son andı ve öyle oldu.

Gecikilen bir yılda her şey toplam 40 milyon dolar maliyetle tamir edildi. Her ne kadar mıknatısların ve demetin onarımı zaman alsa da, bunlar olanaksız işler değildi. Ona-

rımı olanaksız olan 39 mıknatısı değiştirmeye yeterli yedek mıknatıslar vardı. Tünelin kazanın olduğu bölümünde toplam 53 mıknatıs (14 dört kutuplu, 39 dipol) değiştirildi. Buna ek olarak dört kilometreden daha uzun vakum demet tüpü temizlendi, 100 dört kutuplu mıknatıs için yeni sabitleme sistemi monte edildi ve 900 yeni helyum salım vanası eklendi. Mıknatıs koruma sistemine 6500 yeni dedektör eklendi.

En büyük risk mıknatıslar arasında bulunan ve aynı arızayı yapma potansiyeli taşıyan 10.000 ek yerinin varlığıydı. Tehlike tanımlanmıştı ama bu problemin halkanın bir başka yerinde ortaya çıkmayacağına nasıl güvenilebilirdi? Benzer sorunları herhangi bir zarara yol açmadan önce tanımlayabilecek mekanizmalar gerekliydi. Mühendisler bir kez daha zorlu bir durumla karşı karşıya idiler. Güncellenmiş sistem dirençli bağlantıların varlığını gösteren küçük gerilim düşmeleri arıyordu Bunlar makineyi soğuk tutan sistemi çevreleyen kapalı sistemde bir kesiklik olduğunu gösterecekti. Helyum salım vana sistemini geliştirmek ve mıknatısların bakır korumalarını da yeniden incelemek LHC'nin çalıştığı yüksek enerjilere ulaşmakta gecikmelere yol açacak olsa da, bunları yapmak gerekiyordu. Yine de, LHC'yi gözleyip dengeleyen yeni sistemlerle Lyn ve diğerleri, hasara yol açan basınç birikmelerinden kaçınılabileceğini düşünüyorlardı.

Bir anlamda mühendis ve fizikçiler arızaları gerçek operasyon başlamadan ve sistem radyasyonla dolmadan saptayıp giderebildikleri için şanslıyız. Patlama LHC'nin henüz demetler test edilmeden ve çarpışmaları için yönlendirilmeden önce bir yılına mal olmuştu. Bu süre uzun olsa da, maddenin altyapısını araştırmak için beklemede olduğumuz son kırk yılla veya bir bakımdan binlerce yılla karşılaştırıldığında o kadar da uzun değildi.

21 Ekim 2008'de CERN yönetimi başlangıçtaki planlarının bir bölümüne sadık kalmaya karar verdi. O gün ben de 1500 diğer fizikçi ve dünya liderleriyle birlikte Cenevre'nin dışında, LHC'nin herhangi birinin sadece birkaç hafta önce ortaya çıkan feci olayları öngöremediği, çok iyi planlanmış resmi açılışı için kutlamaya katıldım. Gün boyunca konuş-

malar, müzik ve herhangi bir Avrupa kültürel olayının en önemli parçası olan güzel yiyecekler vardı. Zamanlaması erken olsa bile bilgilendirici ve zevkliydi. Eylül olayına ilişkin endişelere karşın herkes bu deneylerin kütleyi, kütleçekimin zayıflığını, kara maddeyi ve doğadaki kuvvetleri sarmalayan gizlere ışık tutacağı konusunda umut doluydu.

Her ne kadar kimi CERN bilim insanları olayın kötü zamanlamasından rahatsız olsa da, ben bu kutlamayı uluslararası işbirliğinin zaferi olarak gördüm. Günün olayları henüz keşfi ödüllendirmediyse de, LHC'nin potansiyelini ve birçok ulusun LHC'nin ortaya çıkmasına yaptığı katkı nedeniyle duyduğu heyecanı simgeliyordu. Konuşmalardan yalnızca birkaçı cesaret ve ilham vericiydi. Fransa başbakanı Frangois Fillon temel araştırmaların önemini ve dünya mali krizinin neden bilimsel ilerlemeyi engellememesi gerektiğini anlattı. İsviçre devlet başkanı Pascal Couchepin kamusal hizmetin önemi konusunda konuştu. Portekiz bilim, teknoloji ve yüksek öğretim bakanı profesör Jose Mariano Gago bilimin bürokrasiden daha değerli olduğundan ve önemli bilim projeleri yaratma kararlılığının öneminden söz etti. Pek çok yabancı ortak CERN'i ilk kez bu kutlama vesilesiyle ziyaret etti. Tören sırasında yanımda oturan kişi Cenevre'deki Avrupa Birliği temsilcisiydi ama henüz CERN'den içeri adımını atmamıştı. Bana, burayı gördükten sonra iş arkadaşlarıyla birlikte yeniden gelme kararını anlattı.

KASIM 2009: SONUNDA ZAFER

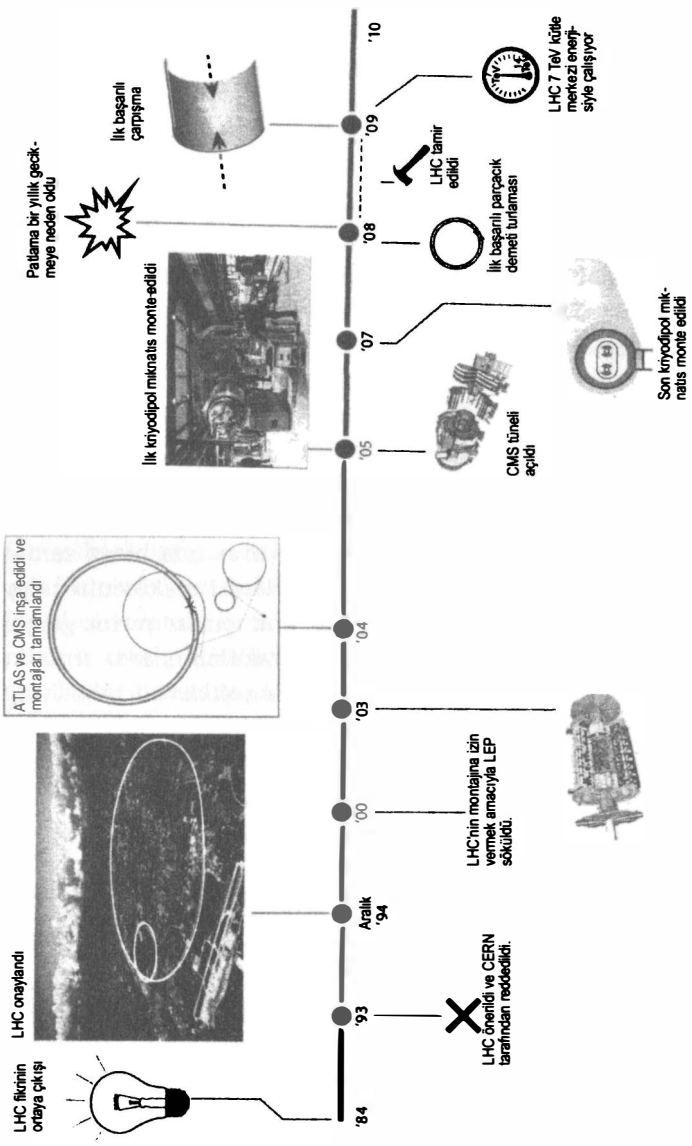
LHC tekrar rayına Kasım 2009'da oturdu, hem de bu seferki göz alıcı bir başarıydı. Bir yıl içinde sadece proton demetleri dolanmakla kalmadı, birkaç gün sonra sonunda çarpışarak deneylerde ele alınacak parçacık fışkırmaları yarattılar. Lyn heyecanla LHC'nin nasıl onun beklediğinden daha iyi çalıştığını anlattı; makinenin şimdi olduğu gibi başarılı çalışmasından sorumlu birinin dikkatimizi çektiği bu nokta bana cesaret verici olmakla birlikte biraz garip geldi.

Benim anlamadığım, daha önceki makinelerden gelen deneyimle bütün parçaların nasıl olup da beklendiğinden daha

çabuk yerli yerine oturduğuydu. Genç bir İtalyan CMS deneycisi olan Maurizio Pierini bana Lyn'ın ne demek istediğini anlattı. 1980'de elektron ve pozitronların kullanıldığı LEP deneyi için aynı tünelde 25 gün süren testler şimdi bir haftadan daha kısa bir sürede tamamlanmıştı. Proton demetleri tam hedeflerini bulmuşlardı ve dikkat çekecek ölçüde kararlıydılar. Ve protonlar bir çizgi üzerinde hareket ediyorlardı, çizgiden ayrılan çok az sayıda proton saptanıyordu. Optik parçalar çalışıyordu, kararlılık testleri iyiydi, yeniden ayarlama işlemleri yolundaydı. Gerçek demetler, nasıl olması gerektiğini gösteren bilgisayar programlarıyla tam bir uyum içindeydi.

Aslında deneyciler, kendilerine Pazar günü saat beşte, yenilenmiş demetlerin dolanmaya başlamalarından sadece birkaç gün sonra, ertesi gün çarpışmaların olmasını beklemeleri söylendiğinde çok şaşırmışlardı. Kapatılmadan sonraki ilk demetlerin oluşturulmasıyla kaydedip ölçüm yapabilecekleri ilk gerçek çarpışmalar arasında biraz zaman geçeceğini sanıyorlardı. Şimdi deneylerini makinenin çalışmasını beklerken kullandıkları kozmik ışınlar yerine gerçek proton demetleriyle yapma şansını yakalamışlardı. Ama bu kısa duyuru aynı zamanda bilgisayar *tetikleri*ni bilgisayarlara hangi çarpışmaların kaydedileceği konusunda yeniden şekillendirebilmek için çok kısa zamanları olduğu anlamına geliyordu. Maurizio bu fırsatı aptalca harcamamak için herkesin nasıl endişeli olduğunu anlattı. Tevatron'da ilk test, demet taramasının çıktı sistemiyle talihsiz bir rezonansa girmesi nedeniyle başarısız olmuştu. Kimse bunun tekrarlanmasını istemiyordu. Elbette bu endişenin yanı sıra ilgili herkes derin bir heyecan içindeydi.

Sonunda 23 Ekimde LHC'de ilk çarpışma gerçekleşti. Milyonlarca proton 900 GeV enjeksiyon enerjisiyle çarpıştı. Bu olaylar yıllarca bekleyişten sonra, deneylerde veri toplanabileceği yani LHC halkasındaki ilk proton çarpışmalarının kaydedilebileceği anlamına geliyordu. Daha küçük deneylerden biri olan ALICE'ten bilim insanları 28 Aralıkta bir ön rapor (yayından önceki makale) bile yayımlamışlardı.



ŞEKİL 28 LHC tarihinin ana hatlarının özeti.

Çok geçmeden o zamana kadar dolanan en yüksek enerjili demetler olan 1,18 TeV proton demetleri elde etmek üzere küçük bir hızlandırma yapıldı. İlk LHC çarpışmalarından yalnızca bir hafta sonra 30 Kasımda bu daha yüksek enerjili protonlar çarpıştırıldı. Ulaşılan 2,36 TeV kütle merkezi enerjisi o güne kadar elde edilen enerjilerin tümünü aştı ve Fermilab'in sekiz yıllık rekoru kırıldı.

Üç LHC deneyinde demet çarpışmaları gerçekleştirildi ve sonraki birkaç hafta süresince on binlerce böyle çarpışma gözlendi. Bu çarpışmalar yeni fizik kuramları keşfetmek için kullanılmayacaklar. Hem deneylerin gerçekten çalıştığının belirlenmesi için çok yararlı oldular, hem de Standart Model *altyapısını* incelemek için kullanılabilirler. Bu olaylar herhangi yeni bir şey ortaya koymayacak ama gerçek keşiflere bazı müdahalelerde bulunabilirler.

Deneyciler her yerde LHC'nin rekor enerjilere ulaşmasından duydukları tatmin duygusunu paylaştılar. LHC bu işi tam zamanında yapmıştı. Makinenin Aralık ortasından bir sonraki yılın Mart ayına kadar kapatılması programlanmış olduğundan ya Aralıkta olacaktı ya da birkaç ay sonra. LHC üzerine Santa Barbara'da çalışan bir fizikçi olan Jeff Richmann bu gerçeği her ikimizin de katıldığı kara madde konferansında zevkle paylaştı. Fermilab'de çalışan bir fizikçiyle LHC'nin 2009 sonundan önce Fermilab'in Tevatron'undan daha yüksek enerjiye ulaşıp ulaşamayacağı konusunda iddiaya girmişti. Coşkulu davranışlarından kimin kazandığı belli oluyordu.

18 Aralık 2009'da bu işletme denemesinden sonra LHC kapatıldığında bu heyecan dalgası geçici olarak askıya alındı. Lyn Evans konuşmasını, önemli enerji artışlarının kararlaştırıldığı 2010 planlarını aktararak noktaladı. Plan, yıl sonundan önce, şimdiye kadar ulaşılanların çok üstünde bir enerji olan 7 TeV'e kadar çıkmaktı. Coşkuluydu ve kendine güveni tamdı ki bu durum makinenin çok geçmeden bu daha yüksek enerjiye ulaşmasıyla doğrulandı. Birçok iniş-çıkışın ardından sonunda LHC planlandığı gibi çalışıyordu. (Kısaltılmış kronolojik durum için Şekil 28'e bakınız.) LHC 2012'de

7 TeV ya da daha yüksek enerjide çalışmayı sürdürecek, sonra da LHC'nin 14 TeV hedefine daha yakın enerjilere ulaşmadan önce en az bir yıl süresince kapatılacak. Bu ve sonraki işletimlerde LHC'de çarpışma sayılarının artırılması için demet yoğunluklarının artırılmasına da çalışılacak.

2009'da yeniden çalıştırıldıktan sonra deneylerin ve makinelerin işleyişinin düzgün gittiğini anlatan Lyn'ın kapanış sözleri salonda dinleyicilerle şöyle buluştu: "LHC'nin yapım serüveni sona erdi. Artık keşif serüveni başlıyor."

ONUNCU BÖLÜM

DÜNYAYI YUTACAK KARA DELİKLER

Uzun bir süredir fizikçiler LHC'nin çalıştırılmasını bekliyorlardı. Bilimsel ilerleme için veri temel öneme sahiptir. Yüksek enerji fizikçileri yıllardır yüksek enerji veri açlığı çekiyorlardı. Yanıtların LHC'de verilmesinden önce Standart Modelin altında yatan hangi önerilerin doğru yolda olduğunu kimse bilmiyordu. Ama ilginç olasılıkların çoğunun bu kitapta anlatılmasından önce, önümüzdeki bölümlerde, LHC'deki deneysel çalışmaları ve modern dünyaya ilişkin birçok konuyu anlamakta rolü olan riskler ve belirsizlikler konusunda bazı önemli soruların tartışılacağı bir tura çıkacağız. Bu gezintiye kara delikler ve nasıl olup da hak ettiklerinden daha büyük ilgi gördükleri konusuyla başlayacağız.

SORU

Fizikçiler şu anda LHC'de sonunda bulunabilecek olan birçok öneriyi göz önünde bulunduruyorlar. 1990'larda kuramcı ve deneyciler ilk olarak, içlerinde sadece parçacık fiziğinin değil, kütleçekimin de değişikliğe uğradığı ve LHC enerjilerinde yeni olaylar üreteceği düşünülen, bir tür yeni tanımlanmış senaryo konusunda heyecanlandılar. Bu kuramların olası, ilginç bir sonucu özellikle fizik camiası dışındaki insanların çok ilgisini çekti. Bu, mikroskobik, düşük enerjili kara deliklerin bulunma olasılığıydı. Eğer Raman Sundrum ve benim uzayın ek boyutları konusunda ileri sürdüğümüz fikirler doğruysa, böylesi küçük, ek boyutlu kara delikler gerçekten ortaya çıkmış olabilirdi. Fizikçiler iyimser bir bakışla, eğer yaratılmışlarsa, böyle kara deliklerin değiştirilmiş kütleçekim konusunda bir doğrulama olabileceğini tahmin ediyorlardı.

Bu olasılık konusunda herkesin coşku duymadığını lütfen unutmayın. Birleşik Devletlerde ve başka yerlerde bazı kimseler ortaya çıkacak olan kara deliklerin dünyadaki her şeyi yutabileceğinden endişeleniyorlardı. Halk konferanslarından sonra bana bu olası senaryo konusunda sorular soruluyordu. Tehlike olmadığını söylediğimde soru soranların çoğu tatmin oluyordu. Bununla birlikte, ne yazık ki herkesin bütün öyküyü öğrenme şansı yoktu.

Hawaii'de öğretmen ve bir botanik bahçesinin yöneticisi, aynı zamanda hukukçu ve nükleer güvenlik uzmanı olan Walter Wagner, kendini zaman kuramı konusunda araştırmacı ve yazar olarak tanımlayan Spaniard Luis Sancho'yle birlikte panik yaratan en militan isimlerdiler. Bu ikisi LHC'de deneylerin başlamasını engellemek için Hawaii'de CERN, Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı, Ulusal Bilim Vakfı ve Fermilab'deki Amerikan Ulusal Hızlandırıcı Merkezine davalar açacak kadar ileri gittiler. Eğer amaç sadece LHC'yi geciktirmek olsaydı, bir ahmak gönderip işleri sekteye uğratmak daha kolay olabilirdi (bu gerçekten oldu ama yapan başka biriydi) ama Wagner ve Sancho LHC'nin işleyişini kalıcı olarak durdurma peşinde olduklarından devam ettiler.

Kara delik krizi konusunda endişelenen yalnız Wagner ve Sancho değildi. Kamu yararı avukatı Harry V. Lehmann'ın yazdığı, endişeleri özetliyor gibi görünen kitap şu başlığı taşıyordu: *Kuantumla Şaka Olmaz: Büyük Hadron Çarpıştırıcısının Gezegenimiz Üzerinde Kumar Oynayıp Oynamadığına Kim Karar Veriyor?* Bu konudaki bir blog 2008 Eylülündeki patlama konusundaki korkulara yoğunlaşıyor ve LHC'nin güvenli bir şekilde yeniden başlayıp başlayamayacağını sorguluyordu. Ama asıl endişe 19 Eylüldeki şanssızlığa neden olan teknolojik başarısızlıkla değil, LHC'nin üretebileceği gerçek fiziksel olgularla ilgiliydi.

Lehmann ve diğerlerinin "kıyamet makinesi" hakkında tanımladığı sözde tehditler, gezegenin çökmesine yol açacağını öne sürdükleri kara deliklerle ilgiliydi. LHC Güvenlik Değerlendirme Grubunun çalışmasının içinde güvenilir bir risk değerlendirme süreci olmadığından, ipuçları Richard

Feynman ve diğerleri tarafından ileri sürülen, "kuantum mekaniğini kimse anlayamaz" anlamındaki görüşler ve ilgili olduğunu düşündükleri, sicim kuramındaki birçok belirsizliklerden endişeleniyorlardı. Öngörülen riskler küçük olsa bile dünyayı riske atmanın hoş görülebilir bir şey olup olmadığını ve bu kararı kimin alabileceğini öğrenmek istiyorlardı.

Her ne kadar dünyanın ani yok oluşu geleceğe ilişkin bir endişe olsa da, gerçekte bu sorular küresel ısınma gibi endişelerin tartışılması açısından daha uygundur. Umuyorum ki bu ve önümüzdeki diğer bölümlerde sizi, vaktinizi dünyanın kara delikler tarafından yutulacağından korkmak yerine dünyanın diğer sorunlarıyla ilgilenmeye harcamanın daha iyi olduğuna ikna edebilirim. Her ne kadar çalışma takvimi ve bütçe LHC için risk oluşturuyorsa da, dikkatli inceleme ve araştırmalarla desteklenen kuramsal görüşler, kara deliklerin bir risk oluşturmadığını gösteriyor.

Açık konuşmak gerekirse bu, soruların sorulmaması gerektiği anlamına gelmiyor. Herkes gibi bilim insanlarının da yaptıkları işlerin tehlikeli sonuçları olabileceğini beklemeleri gerekir. Ama kara delikler sorununa gelince, fizikçilerin bu konuda bilimsel kuramları var ve hiçbir tehlike olmadığını belirlemiş durumdalar. Önümüzdeki bölümde riskin daha genel bir tanımına bakmadan önce bu bölümde LHC kara delikleri olasılığının neden düşünüldüğünü ve bazılarının bunlar hakkında ileri sürdüğü kıyamet günü korkularının nasıl ortaya çıktığı açıklanıyor. Bu bölgedeki tartışmaların ayrıntıları aşağıdaki genel tartışma için, hatta önümüzdeki bölümde LHC'de nelerin keşfedileceğine ilişkin ana hatlar açısından önemli olmayacaktır. Ama fizikçilerin nasıl düşündükleri, neyi bekledikleri ve arkadan gelecek daha kapsamlı risk düşünceleri için sahneyi nasıl kurduklarını örnekliyor.

LHC'DE KARA DELİKLER

Kara delikler çok büyük kütleçekimi olan ve çok yakınlarına gelen her şeyi içlerine çekebilen cisimlerdir. *Olay ufku* olarak adlandırılan yarıçapın içine giren her şey kara delik tarafından yutulur ve içeride hapsedilir. Işık bile kara deliğin

devasa kütleçekiminin etkisinde kalır. Kara delikten hiçbir şey kurtulamaz. Uzay yolu hayranı bir arkadaşım kara deliklerin "mükemmel rehinciler" olduğu yolunda şaka yapardı. Kara delikle karşılaşan her şey içeri çekilir, kütleçekim yasalarına göre "direnmenin yararı yoktur".

Yeterince küçük bir bölgede yeterince çok miktarda madde yoğunlaştığında, yakınlarında kütleçekimin yenilmez olduğu bir kara delik oluşur. Kara deliğin oluşması için gerekli olan bölgenin büyüklüğü, madde miktarına bağlıdır. Küçük bir bölgede göreli olarak daha az miktarda madde yeterli olurken, daha büyük bir bölgede daha fazla miktarda maddenin yoğunlaşması gerekir. Her iki durumda da, yoğunluk devasa bir büyüklüğe ulaşıp o hacmin içindeki madde miktarı kritik bir değere ulaşınca, kütleçekim karşı konulamaz hale gelir ve kara delik oluşur. Klasik olarak (yani kuantum mekaniği göz ardı eden hesaplara göre) bu kara delikler çevredeki maddeyi yutarak büyürler. Böyle klasik hesaplara göre kara delikler bozunmazlar da.

O zamanki çarpıştırıcıların parçacık kütleleri ve enerjileriyle karşılaştırıldığında kara deliğin ortaya çıkması için gereken minimum madde miktarı devasa olduğundan, 1990'lardan önce hiç kimse laboratuvarda kara deliklerin oluşturulabileceğini düşünmezdi. Ne de olsa kara deliklerin kütleçekim çok büyük iken bildiğimiz herhangi bir parçacığın kütleçekim kuvveti elektromanyetizma gibi diğer kuvvetlerden çok daha küçük olup, ihmal edilebilir düzeydedir. Eğer kütleçekim bizim beklentilerimizle uyum içindeyse, o zaman üç boyutlu bir uzayda ulaşılabilir enerjilerle elde edilen parçacık çarpışmaları gereken enerjinin çok altında kalır. Ama evrende kara delikler var ve gerçekten de çoğu büyük galaksinin merkezinde bulundukları düşünülüyor. Ama bir kara delik yaratmak için gereken enerji, laboratuvarda yaratabileceğimizden on beş büyüklük mertebesi –yani bir rakamını izleyen on beş sıfır– daha büyüktür.

O zaman neden herhangi biri LHC'de kara delik yaratılabileceği olasılığından söz edebiliyor? Bunun nedeni fizikçilerin uzay ve kütleçekimin şimdiye kadar gözlediğimizden

çok farklı olduğunu anlamış olmalarıdır. Kütleçekim sadece bildiğimiz boyutların içine değil, şimdiye kadar gözleyemediğimiz diğer boyutların da içine dağılmış olabilir. Bu boyutlar şimdiye kadar yaptığımız ölçümler üzerinde bilinen herhangi bir etkiye sahip değillerdir. Ama LHC'deki enerjilere ulaştığımızda, eğer varsa, ek boyutlu kütleçekim kendini ölçülebilir bir biçimde ortaya koyabilir.

Daha etraflı olarak On Yedinci Bölümde inceleyeceğimiz gibi, kısaca Yedinci Bölümde sözü edilen ek boyutlar egzotik bir fikir olsa da, mantıklı kuramsal temelleri vardır ve bildiğimiz kütleçekimin olağandışı zayıflığını açıklayabilirler. Kütleçekim daha çok boyutlu bir dünyada daha kuvvetli iken bildiğimiz üç boyutlu dünyada daha seyreltik, dolayısıyla daha zayıf olabilir. Ya da Raman Sundrum ve benim ortaya koyduğumuz düşünceye göre, ek boyut içinde değişken olup ek boyutlu uzayda başka yerde kuvvetli iken bizim bulunduğumuz yerde zayıf olabilir. Bu düşüncelerin doğru olup olmadığını henüz bilmiyoruz. Kesin olmaktan uzaklar ama On Yedinci Bölümde açıklanacağı gibi, LHC'deki deneycilerin keşfedebileceği en iddialı konular arasında olacaklardır.

Böyle senaryolar, ek boyutların ilke olarak gözlenebileceği küçük uzaklıkları araştırırken, kütleçekimin çok farklı bir yüzünün ortaya çıkabileceğini ifade ederler. Ek boyutların kullanıldığı kuramlarda evrenin fiziksel özelliklerinin, yakında inceleyebileceğimiz yüksek enerjiler ve küçük uzaklıklarda değişebileceği ileri sürülür. Eğer gözlenen olaylardan gerçekten ek boyutlu gerçeklik sorumluysa, o zaman LHC'deki kütleçekim etkileri daha önce düşünüldüğünden çok daha kuvvetli olabilir. Bu durumda LHC'nin sonuçları yalnızca bildiğimiz kütleçekime değil, daha çok boyutlu bir evrendeki daha büyük bir kütleçekime de bağlı olabilir.

Böyle devasa bir kütleçekimin sonucu olarak protonlar küçük bir bölgede çarpışarak daha yüksek boyutlu kara delikleri ortaya çıkarmaya yetecek miktarda enerjiyi biriktirebilirler. Bu kara delikler, eğer yeterince uzun ömürlü olurlarsa, kütle ve enerji soğurabilirler. Eğer bunu sonsuza kadar

yaparlarsa gerçekten de tehlikeli olurlar. Endişelenenlerin gözlerinde canlandırdıkları felaket senaryosu buydu.

Ama neyse ki klasik kara delik hesapları –yani sadece Einstein'ın kütleçekim kuramına dayanan hesaplar– öykünün tümünü anlatmaz. Stephen Hawking'in pek çok başarısı vardır ama en önemli keşiflerinden biri, kuantum mekaniğinin kara deliklerin içine hapsolan maddelere bir kaçış yolu bıraktığını anlamasıdır. Kuantum mekaniği kara deliklerin bozunmalarına izin verir. Kara deliğin yüzeyi "sıcak" olup bu sıcaklık kütleye bağlıdır. Kara delikler tıpkı sıcak kömür parçaları gibi her yöne enerji salarak ışırlar. Çok yakınlarına gelen her şeyi gene yutarlar ama kuantum mekaniği bize kara deliğin yüzeyinden bu Hawking ışımasıyla buharlaşan parçacıkların dışarıya enerji taşımaları nedeniyle yavaş yavaş küçülmelerinin söz konusu olduğunu anlatır. Bu süreç büyük bir kara deliğin bile sonunda tüm enerjisini yayıp yok olmasıyla sonuçlanabilir.

LHC'nin enerjisi kara delik oluşturmaya zar zor yeteceğinden, yalnızca küçük kara deliklerin oluşma olasılığı vardır. LHC'de oluşma olasılığı olan kara delikler çok küçük ve sıcak olacaklarından anında yok olurlar. Hawking ışınımı nedeniyle bozunma, bunları çok etkili şekilde yok eder. O nedenle eğer daha yüksek boyutlu kara delikler oluşsa bile (her şeyden önce bütün bu öykünün doğru olduğunu varsayarak) herhangi bir zarar verecek kadar uzun yaşamazlar. Büyük kara delikler yavaş yavaş buharlaşır ama küçük kara delikler çok sıcaktır ve bütün enerjilerini hemen kaybederler. Bu anlamda kara delikler biraz tuhaftır. Bütün cisimler, örneğin kömür ışıma yaparak soğur. Öte yandan kara delikler ısınır. En küçük olanlar en sıcakları olduğundan en etkili ışıyanlar onlardır.

Ben bir bilim insanıyım ve özenli olmak konusunda ısrarlıyım. Teknik olarak yukarıdaki tartışmaya Hawking ışıması ve kara delik bozunmasına dayanan potansiyel bir uyarı vardır. Biz kara delikleri yalnızca yeterince büyük olduklarında anlayabiliyoruz, bu durumda onların kütleçekim sistemlerini tanımlayan denklemleri tam olarak biliyoruz. Kütleçeki-

min iyi sınanmış yasaları kara deliklerin güvenilir matematiksel tanımını yapar. Ama son derece küçük kara deliklerin neye benzediğine ilişkin böyle güvenilir bir formülümüz yok. Bu çok küçük kara delikler için kuantum mekaniği devreye girer; yalnızca buharlaşmaları değil, bu cisimlerin kendilerinin doğasını tanımlamak için.

Hem kuantum mekaniği hem de kütleçekimin temel rol oynadığı sistemlerin nasıl çözümlenebileceğini kimse gerçekten bilmiyor. Fizikçilerin en iyi girişimi sicim kuramı olmakla birlikte onun da bütün olası sonuçlarını henüz anlamıyoruz. Bu da, ilke olarak bir boşluk olabileceğini gösteriyor. Yalnızca kuantum kütleçekim kuramı kullanarak anlayabileceğimiz çok küçük kara deliklerin, klasik kütleçekimi kullanarak anladığımız büyük kara delikler gibi davranması olasılık dışıdır. Belki de böyle çok küçük kara delikler bizim beklediğimiz hızlarla bozunmuyor olabilirler.

Ama bu bile ciddi bir boşluk değildir. Çok az kimse bu cisimler hakkında endişelenir. Sadece büyüme eğilimi gösteren büyük kara delikler potansiyel olarak tehlikeli olabilirler. Küçük kara delikler sorun yaratacak kadar madde yutamazlar. Tek potansiyel tehlike bu minik cisimlerin buharlaşmadan önce yeterince büyümeleri olabilir. Bu cisimlerin tam olarak ne olduklarını bilmesek bile, ne kadar yaşayacaklarını hesaplayabiliriz. Bu hesaplarda bulunan yaşam süreleri, bir kara deliğin potansiyel tehlike yaratması için gerekenden çok daha kısa olduğundan, dağılımların uç noktalarındaki düşük olasılıklı olaylar bile son derece güvende olduğumuzu simgeliyor. Küçük kara delikler bildiğimiz kararsız, ağır parçacıklardan çok farklı davranmazlar. Tıpkı bu kısa ömürlü parçacıklar gibi küçük kara delikler de hızla bozunurlar.

Bununla birlikte bazıları, her ne kadar bilinen bütün fizik yasalarıyla tutarlı olsa bile, Hawking'in çıkarımlarının yanlış olabileceğinden ve kara deliklerin tümüyle kararlı olabileceğinden endişe duyuyorlar. Ne de olsa bilinen kara deliklerin yaptığı ışıma çok zayıf olduğundan Hawking ışınımı hiçbir zaman gözlemlerle sınanamadı. Fizikçiler bu iti-

razlara haklı olarak kuşkuyla bakıyorlar çünkü çöpe atacakları şey yalnızca Hawking ışınımı değil, fizik kuramlarımızın bazı diğer, iyi sınanmış, bağımsız kısımları da olacak. Üstelik Hawking ışınımının mantığı gözlenmesi gereken diğer olayları da doğrudan öngördüğünden, geçerliliği konusunda güvenimizi tazeliyor.

Bununla birlikte Hawking ışınımı hiçbir zaman görülemedi. O nedenle süper güvende olmak adına fizikçiler şu soruyu soruyor: Eğer Hawking ışınımı bir şekilde doğru değilse ve LHC'de yaratılabilecek olan kara delikler kararlı olup hiç bozunmasa bile tehlikeli olurlar mı?

Neyse ki kara deliklerin tehlike oluşturmadığının daha kuvvetli kanıtları bile var. Bu tartışma kara delik bozunmasını varsaymıyor ve kuramsal değil, yalnızca evrenin gözlemlerine dayanıyor. 2008 Haziranında Steve Giddings ve Michelangelo Mangano[1] adlı iki fizikçi ve çok geçmeden LHC Güvenlik Değerlendirme Grubu[2] kara delik senaryolarını ikna edici bir şekilde saf dışı bırakan, deneylere dayanan makaleler yazdılar. Giddings ve Mangano kara deliklerin oluşabileceği hızı ve gerçekten kararlı olup bozunmuyor olsalar bile evrendeki etkilerinin ne olacağını hesapladılar. Her ne kadar yeryüzündeki hızlandırıcılarda henüz kara delik oluşması için gereken enerjilere ulaşamamış olsak bile –daha yüksek boyutlu kara delikler bile– evrende bu enerjilere sık sık ulaşılıyor olduğunu gözlediler. Yüksek enerjili parçacıklar olan kozmik ışınlar sürekli olarak uzayda yayılıyor ve sık sık diğer cisimlerle çarpışıyorlar. Her ne kadar bu olayların sonuçlarını yeryüzündeki deneylerin sonuçları kadar yakından inceleyemiyor olsak da, bu çarpışmalarda sık sık en azından LHC'de ulaşılanlar kadar yüksek enerjilere ulaşılıyor.

Bu yüzden, eğer ek boyutlu kuramlar doğru ise, o zaman astrofiziksel cisimlerde –hatta dünya ve güneşte de– kara delikler oluşuyor olabilir. Giddings ve Mangano bazı modeller için (hız ek boyutların sayısına bağlıdır) kara deliklerin teh-

---

1 *Physical Rewiev D*, 035009 (2008)

2 http://lsag.web.cern.ch/lsag/LSAG-report.pdf.

likeli olamayacak kadar yavaş büyüdüklerini hesapladılar: milyarlarca yıl geçse bile kara delikler son derece küçük kalmaya devam ediyor. Diğer durumlarda kara delikler gerçekten madde yutarak büyüyebilirler ama onlar da çoğu zaman elektrik yükü taşır. Eğer bunlar gerçekten tehlikeli olsaydı, dünya ve güneşin içinde hapsolacaklarından bu cisimlerin çok önce yok olması gerekirdi. Dünya ve güneş yerli yerinde durduğuna göre yüklü kara delikler –hızla madde yutanlar da dahil– tehlikeli sonuçlar yaratamazlar.

O zaman, geriye kalan potansiyel olarak tehlikeli senaryo, kara deliklerin elektrik yükü taşımadıkları ve tehlike yaratacak ölçüde hızlı büyüdükleridir. Bu durumda dünyanın kütleçekim kuvveti –onları yavaşlatabilecek tek kuvvet– onları durdurabilecek kadar büyük olmaz. Böyle kara delikler doğrudan dünyanın içinden geçip gidecekleri için, dünyanın varlığını, bunların potansiyel tehlikeleri konusunda herhangi bir sonuç çıkarmak için kullanamayız.

Çok daha yoğun astrofiziksel cisimlerin –yani nötron yıldızları ve beyaz cüceler– kütleçekimleri kara delikleri kaçmadan önce durdurabilecek kadar büyük olduklarından, Giddings ve Mangano bu durumu da elediler. büyük kütleçekim etkileşimleri olan yoğun yıldızlara çarpan çok yüksek enerjili kozmik ışınlar LHC'de oluşma olasılıkları olan türden kara delikleri zaten üretmiş olmalılar. Nötron yıldızları ve beyaz cüceler dünyadan çok daha yoğundur, o kadar yoğundur ki, bu cisimlerin yalnızca kütleçekimleri içlerinde kara delikleri durdurabilir. Eğer kara delikler oluşmuş olsa ve eğer tehlikeli olsalar, milyonlarca yıldır yaşamakta olan bu cisimleri çoktan yok etmiş olurlardı. Bunların uzaydaki çok sayıdaki varlığı, kara delikler var olsa bile tehlikeli olmadıklarını gösteriyor. Kara delikler oluşmuş olsa bile, anında yok olmuş olmalılar ya da en kötü olasılıkla, geride, minik, zararsız ve kararlı kalıntılar bırakmış olabilirler. Zarar verecek kadar zaman bulma olasılıkları yoktur.

Üstüne üstlük, madde yutarak böyle cisimleri yok etme sürecinde kara delikler bol miktarda görülür ışık yaymış olmalılar ki, şimdiye kadar hiç kimse böyle bir ışık görmedi.

Bildiğimiz kadarıyla evrenin varlığı ve kara deliklerin yok olmasına ilişkin herhangi bir sinyalin olmaması, LHC'de ortaya çıkma olasılıkları olan kara deliklerin tehlikeli olamayacaklarının en ikna edici kanıtıdır. Evrenin durumuna bakıldığında, dünyanın kara deliklerden gelecek bir tehlike içinde olmadığı sonucuna varabiliriz.

Şimdi rahat bir nefes alın. Kara delik öyküsünü sürdüreceğim ama bu kez onlara, düşük enerjili kara deliklerin yaratılması için gereken uzayın ek boyutları gibi ilgili konular üzerinde çalışan biri olarak kendi perspektifimden bakacağım.

Kara delik tartışmaları haberlere çıkmadan önce de bu konuyla ilgileniyordum. Fransa'da, daha önceleri CERN'de çalışmış olan ama şu sıralar yeryüzünün atmosferiyle etkileşen kozmik ışınlarla ilgilenen Auger adlı deneyde çalışan bir arkadaşım var. Bana, kendisinin çalıştığı kozmik ışınlarla aynı enerji ölçeklerinin incelenebileceği, oysa bu konuya ayrılmış olan kaynakların tamamını LHC'nin aldığı yolunda şikâyet etti. Onun deneyindeki kesinlik daha az olduğundan, bulabileceği olaylar yalnızca kara deliklerin bozunması gibi dramatik sonuçları olan olaylardır.

O nedenle, o zamanlar Harvard'da doktora sonrası araştırmacı olarak çalışan Patrick Meade'le birlikte gözleyebilecekleri olay sayısını hesaplamak üzere çalışmaya başladım. Daha dikkatli bir hesapla, bu sayının, fizikçilerin daha önce iyimser bir bakış açısıyla öngördüğünden çok daha az olduğunu bulduk. Yeni fiziği kanıtlayan fikirler konusunda her zaman çok heyecanlı olduğumuz için "iyimser" diyorum. Umuyorum artık gerçek tehditler olmadığı konusunda hemfikir olduğumuz, dünyadaki veya evrendeki felaketlerle ilgilenmiyoruz.

Auger deneyiyle minik kara deliklerin bulunamayacağının anlaşılmasından sonra, eğer parçacık fiziğinde daha yüksek boyutlu açıklamalar doğru olsa bile, hesaplar bizi diğer fizikçilerin LHC'de kara delik oluşuyor olabileceği iddiaları konusunda meraklandırdı. Onların hesapladığı oluşum hızlarının da abartılı olduğunu bulduk. Her ne kadar bu se-

naryolarda LHC'de kabaca çok miktarda kara delik oluşması olasılığı var olsa da, bizim daha ayrıntılı hesaplarımız durumun böyle olmadığını gösterdi.

Patrick ve ben tehlikeli kara deliklerle ilgilenmemiştik. Küçük, tehlikesiz, hızla bozunan, daha yüksek boyutlu kara deliklerin oluşup oluşmayacağını, bunun daha yüksek boyutlu bir kütleçekim sinyali veriyor olup olmayacağını merak etmiştik. Bunun, oluşuyor olsa bile çok ender olarak ortaya çıkabileceğini hesapladık. Elbette, eğer olası ise küçük kara deliklerin oluşması, Raman ve benim ileri sürdüğümüz kuramın olağanüstü bir doğrulaması olabilirdi. Ama bir bilim insanı olarak hesapları önemsemek zorundayım. Bu sonuçlar ortaya çıktıktan sonra artık hatalı beklentilerle oyalanamayız. Patrick ve ben (ve çoğu başka fizikçi) küçük kara deliklerin bile oluşmasını beklemiyoruz.

Bilimin işleyişi böyledir. İnsanlar fikir geliştirir, bu fikirleri kabaca işlerler ve daha sonra onlar ya da başkaları geri döner ve ayrıntıları kontrol ederler. Başlangıçtaki fikrin, daha yakın inceleme sonucunda değiştirilmesi saçma değildir; yalnızca bilimin zor olduğunun ve ilerlemenin genellikle çok yavaş olduğunun işaretidir. Ara evrelerde, kuramsal ya da deneysel olarak en iyi fikir bulununcaya kadar ileri ve geri yönde bazı ayarlamalar yapılabilir. Ne yazık ki Patrick ve ben hesaplarımızı, kara delik tartışmaları gazetelere çıkıp bir dava konusu olmadan önce sonuçlandıramamıştık.

Yine de eninde sonunda kara delik oluşuyor olsun olmasın, LHC'de yeğin bir şekilde etkileşen parçacıkların verdiği ilginç işaretlerin doğadaki kuvvetler ve kütleçekim konularında önemli ipuçları sağlayabileceğini anlamış olduk. Ve bu daha yüksek boyutların işaretlerini daha düşük enerjilerde de görebileceğimizi fark ettik. Bu diğer egzotik sinyalleri görünceye kadar, kara delik yapma şansının olmadığını biliyoruz. Ama bu diğer sinyaller sonunda kütleçekimin bazı özelliklerine ışık tutabilirler.

Bu çalışma bilimin bir başka önemli bir özelliğini örnekliyor. Paradigmalar farklı ölçeklerde değişebiliyor olsa bile, verinin kendisinde böyle radikal değişimler çok az görülür.

Kuantum mekaniğinin sonunda bilinen spektrum çizgilerine bir açıklama getirmesinde görüldüğü gibi, eldeki veriler kimi zaman paradigma değişikliklerine zemin hazırlarlar. Ama etkin deneylerde hesaplardan küçük sapmalar, yaklaşmakta olan daha dramatik kanıtların habercisidir. Bilimin tehlikeli uygulamalarının gelişmesi bile zaman alır. Nükleer silahlar çağından bilim insanları bir anlamda sorumlu tutulabilir ama hiçbir bilim insanı bir bombayı aniden, şaşırtıcı bir şekilde keşfetmemiştir. Kütle ve enerjinin eşdeğerli olduğunun anlaşılması yeterli değildi. Maddeyi tehlikeli, patlayıcı duruma getirmek için fizikçilerin çok çalışması gerekti.

Kara delikler, eğer büyüyebilirlerse –ki hesaplar öyle olmadığını gösteriyor– tehlikeli olabileceklerinden endişe duyulabilir. Ama öyle olsa bile, küçük olanlar –veya en azından burada tartışılan parçacık etkileşimleri üzerindeki kütleçekim etkileri– önce kütleçekimdeki bir değişimin işaretini verir.

Sonuç olarak, kara delikler bir tehlike yaratmıyor. Ama olur da LHC'de dünyayı yok edecek bir kara delik ortaya çıkarsa, bunun bütün sorumluluğunu üstleneceğime söz veririm. Bu arada, birinci sınıf seminer öğrencilerimin önerdiklerini yapabilir ve şu siteye göz atabilirsiniz: http://hasthelargehadroncolliderdestroyedtheworldyet.com.

ON BİRİNCİ BÖLÜM

RİSKLİ İŞ

FiveThirtyEight blogunun yaratıcısı olan Nate Silver –2008'deki başkanlık seçiminin sonucunu başarılı olarak tahmin etmişti– tahmin konusunda yazmakta olduğu kitap için 2009 sonbaharında benimle röportaj yapmaya gelmişti. O günlerde ekonomik krizle karşı karşıyaydık, Afganistan'da kazanılamayan savaş, sağlık sisteminde artan maliyetler, geri döndürülemez iklim değişiklikleri ve diğer tehditler vardı. Ben de Nate'in olasılığa ve öngörülerin ne zaman ve nasıl gerçekleştiği konularına bakışını öğrenmek istediğimden –biraz da kısasa kısas ruhuyla– buluşmayı kabul ettim.

Bu röportaj için benim seçilmeme biraz şaşırmıştım çünkü benim uzmanlık alanım parçacık çarpışmalarının sonuçlarını öngörmekti. Bırakın hükümeti, Vegas'taki insanların bile bu konularla ilgileneceğinden kuşkuluydum. Nate'in belki de LHC'deki kara delikler hakkında soru soracağını düşünmüştüm. Ama tehlikelere dikkat çeken ve o günlerde artık geçersiz olmuş olan davaya karşın Nate'in o senaryo hakkında soru soracağını düşünmemiştim, özellikle de yukarıda listelenen daha özgün tehlikeler varken.

Aslında Nate bu konuyla ilgilenmiyordu. Parçacık fizikçilerinin LHC ve diğer deneylerde nasıl spekülasyon ve hesap yaptıkları konusunda çok daha ölçülü sorular sordu. Tahminle ilgileniyordu ve bilim insanlarının öngörülerde bulunma işini nasıl yaptıklarını merak ediyordu. Neyin olup biteceği konusunda spekülasyonda bulunabilmek için kullandığımız soru ve yöntemler –yakında daha ayrıntılı olarak göreceğimiz sorular– hakkında daha çok şey öğrenmek istiyordu.

Bununla birlikte, LHC deneylerini ve ne bulabileceğimiz hakkındaki spekülasyonları göz önüne almadan önce, bu bölümde risk tartışması sürdürülüyor. Günümüzde risk konusundaki tuhaf tutumlar ve bu riskleri ne zaman ve nasıl beklememiz gerektiği yolundaki karmaşa elbette biraz üzerinde durulmayı hak ediyor. Basında her gün beklenmeyen sorunların kötü sonuçları hakkında çok sayıda haber çıkıyor. Belki de parçacık fiziği hakkında düşünmek ve ölçeklere göre ayırmak bu karmaşık konuya biraz ışık tutabilir. LHC kara delik davası elbette yanlış yönlendirilmişti ama hem bu hem de o günün gerçekten baskı altına alan konuları risk konusuna eğilmenin önemini gösteriyor.

Parçacık fiziğinde tahminlerde bulunmak dünyada risk değerlendirmesi yapmaktan çok farklıdır ve tek bir bölümde risk değerlendirme ve azaltmaya ilişkin gerçeklere ancak yüzeysel olarak, şöyle bir dokunabiliriz. Dahası, risk gerçekte olmadığı için kara delik örneği de genelleştirilemez. Yine de, riskleri nasıl değerlendireceğimiz ve açıklama getireceğimizi göz önüne alırken ilgili konuları nasıl tanımlayacağımız konusunda bizi yönlendirir. Her ne kadar kara delikler LHC'de hiçbir zaman bir tehlike oluşturmadılarsa da tahminlerdeki yanlış uygulamalar genelde tehlike yarattılar.

DÜNYADAKİ RİSK

Fizikçiler LHC'de kara delik tahminlerini göz önüne aldıklarında, var olan bilimsel kuramları henüz keşfedilmemiş enerji ölçeklerine doğru genişlettik. Neyin çıkacağını bilmiyor olsak bile, kesin kuramsal görüşlerimiz ve açık deneysel kanıtlarımız sayesinde felaket anlamında kötü bir şeyin olamayacağı sonucuna vardık. Dikkatli araştırmalardan sonra bütün bilim insanları kara deliklerden kaynaklanan tehlike riskinin ihmal edilebilir olduğu –evrenin yaşam süresinde bile tehlike yaratma olasılığı olmadığı– konusunda fikir birliğine vardılar.

Bu, diğer potansiyel risklerin nasıl ele alındığından çok farklıdır. Ekonomist ve finansçıların birkaç yıl önce nasıl olup da gelmekte olan mali krizi tahmin etmekte –hatta engellenen krizin yeni krizlere yol açacağını anlamakta– ba-

şarısız olduklarını anlamakta güçlük çekiyorum. İşlerin yolunda gideceği tahminlerinde ekonomist ve finansçılar tam olarak fikir birliği içinde değillerdi ama ekonomi sendeleyip çökünceye kadar da kimse müdahale etmedi.

2008'in sonbaharında disiplinler arası bir konferansta bir panele katıldım. Bana kara deliklerin tehlikelerine ilişkin sorular yöneltildi. Bu ne ilk, ne de son kez oluyordu. Sağımda oturan Goldman Sachs International'ın başkan yardımcısı herkesin karşı karşıya olduğu asıl kara delik tehlikesinin ekonomi olduğu yolunda bir espri yaptı. Benzetme son derece yerindeydi.

Kara delikler yakınlarındaki her şeyi yakalar ve büyük iç kuvvetler uygulayarak dönüştürürler. Kara delikler tam olarak kütleleri, elektrik yükleri ve açısal momentum adı verilen bir büyüklükle tanımlandıkları için, içlerine aldıkları şeyin ne olduğu ya da oraya nasıl geldiği yolunda hiçbir bilgi kalmaz. İçeriye giren bilgi, kaybolmuş gibi görünür. Kara delikler bu bilgiyi dışarıya yavaş yavaş, dışarıya sızan ışınımdaki karmaşık ilişkiler yoluyla bırakır. Dahası, büyük kara delikler zamanla bozunurken küçükler hemen yok olur. Bu da, küçük kara delikler kısa yaşarken büyüklerin hemen yok olamayacak kadar büyük oldukları anlamına gelir. Bunlar bir şey hatırlattı mı? Bankalarda giren bilgi –artı borçlar ve türevleri– tutulur ve deşifre edilemeyen, karmaşık varlıklara dönüştürülür. Ve daha sonra bilgi –ve içeriye giren her şey– yavaş yavaş serbest bırakılır.

Her şeyin küreselleştiği günümüzde biz gerçekten de büyük ölçekte, kontrol edemediğimiz deneyler yapıyoruz. Bir keresinde *Coast to Coast* [*Bir Kıyıdan Diğerine*] adlı radyo programında bana, ne kadar ilginç olma potansiyeli taşırsa taşısın, tüm dünyayı tehlikeye atma olasılığı olan bir deneyi sürdürüp sürdürmeyeceğimi sordular. Muhafazakâr radyo dinleyicilerinin canını sıkmak pahasına, şu anda karbon salımlarıyla böyle bir deney yapmakta olduğumuzu söyledim. Neden insanlar bu konuda endişelenmiyor?

Bilimsel ilerlemelerde olduğu gibi, ani değişiklikler çok ender olarak önceden uyarıları gelmeden ortaya çıkar. İkli-

min sarsıntılı bir şekilde değişip değişmeyeceğini bilmiyoruz ama şimdiden eriyen buzulları ve değişen hava olaylarını görüyoruz. Ekonomi 2008'de aniden çökmüş olabilir ama birçok finansçı çöküş yaklaşırken borsadan çıkması gerektiğini anlamıştı. Yeni mali araçlar ve yüksek karbon düzeyleri ani değişiklikleri tetikleme potansiyeli taşır. Böylesi gerçek durumlarda, sorulması gereken soru, riskin olup olmaması değildir. Bu durumlarda eğer olası tehlikeleri açıklamak ve kabul edilebilir bir düzeyde dikkatli olmak istiyorsak, ne kadar dikkatli olmamız gerektiğini belirleyebilmemiz gerekir.

RİSKİN HESAPLANMASI

İdeal olarak atılması gereken ilk adımlardan biri riskin hesaplanmasıdır. İnsanlar kimi zaman olasılıkları yanlış alırlar. John Oliver *The Daily Show* programında LHC'yi dava edenlerden Walter Wagner'la kara delikler konusunda röportaj yaparken, Wagner LHC'nin dünyayı yok etme olasılığının %50-%50 –ya olacak ya olmayacak– olduğunu ileri sürerek sahip olabileceği bütün inandırıcılığı kaybetti. John Oliver de kuşkulu bir tavırla onun "olasılığın ne olduğunu tam olarak anlamadığını düşündüğü" şeklinde yanıtladı. Ne mutlu ki Oliver haklıdır ve daha iyi (ve daha az eşitlikçi) olasılık tahminleri yapabiliriz.

Ama bu her zaman kolay değildir. Zararlı iklim değişikliği olasılığını ya da Ortadoğu'da kötü bir durumun ortaya çıkması veya ekonominin kaderini ele alalım. Bunlar çok daha karmaşık durumlardır. Yalnızca riskleri tanımlayan denklemlerin çözümü zor olduğundan değil. Denklemlerin ne olduğunu bile tam olarak bilmediğimizden. İklim değişikliği için simülasyonlar yapabilir veya geçmişteki kayıtları inceleyebiliriz. Diğer ikisi içinse geçmişte benzer durumlar bulmayı deneyebilir ya da basitleştirilmiş modeller yapabiliriz. Ama her üç durumda da devasa belirsizlikler tahminde bulunmayı zorlaştırır.

Hassas ve güvenilir tahminler zordur. İlgili her şeyi modellemek için en iyisi yapılsa bile, belirli herhangi bir modelin girdileri ve varsayımlar sonucu önemli bir şekilde etkiler.

Eğer varsayımlara ilişkin belirsizlikler çok daha büyükse, düşük risk tahmini yapmak anlamsızdır. Tahminlerin herhangi bir değeri olması için belirsizlikler konusunda kapsayıcı ve apaçık olmak gerekir.

Başka örnekleri ele almadan önce durumu anlatan küçük bir anekdot paylaşmak isterim. Meslek hayatımın başlarında belirli bir büyüklük için Standart Modelin, o zamanlar yeni ölçülmüş olan ve şaşırtıcı derecede büyük olan üst kuarkın kütlesinden kaynaklanan kuantum mekaniksel katkılar yüzünden, daha önce tahmin edilenden daha geniş bir değerler aralığı öngördüğünü fark ettim. Bulduğum sonuçları bir konferansta sunarken, yeni tahminimi üst kuarkın kütlesinin fonksiyonu olarak çizmem istendi. Birçok farklı katkı olduğunu ve geriye kalan belirsizliklerin geniş olasılık aralığının böyle basit bir eğri çizilmesine izin vermeyeceğini bildiğim için bunu reddettim. Ama "uzman" bir çalışma arkadaşım belirsizlikleri göz ardı ederek (günümüzde gerçek hayatta çok sık yapıldığı gibi) böyle bir eğri çizdi ve bir süre bu tahmine epeyce atıf yapıldı. Sonuç olarak, ölçülen büyüklük onun tahmin aralığının dışında kaldığında, uyumsuzluk doğru bir biçimde onun iyimser belirsizlik tahminine atfedildi. Bilim olsun, gerçek hayattaki durumlar olsun böyle karışıklıklardan kaçınmanın daha iyi olacağı çok açıktır. Tahminlerin anlamlı olmasını istiyorsak, girdiğimiz belirsizlikler konusunda çok dikkatli olmamız gerekir.

Gerçek hayat karşımıza belirsizlikler ve bilinmeyenler konusunda çok daha dikkatli olmamızı gerektiren, çok daha zor sorunlar çıkarır. Bu konularda hesaba katılmayan ya da katılamayan sayısal tahminlerde çok kuşkucu olmalıyız.

Tökezlememize neden olan bir faktör, sayısal olarak belirlenmesi hemen hemen her zaman güç olan sisteme ilişkin belirsizlikleri doğru bir şekilde hesaba katmaktır. Birbirine bağlı büyük sistemlerde küçük parçaların karşılıklı bağlarından kaynaklanan çoklu hata modelleri genelde en az denetlenen yerdir. Geçişlerde bilgi kaybolabilir ya da başlangıçta göz ardı edilebilir. Böyle sisteme ilişkin sorunlar başka potansiyel risklerin sonuçlarını büyütebilir.

NASA'nın güvenliğiyle ilgili bir toplantıda konuşurken böyle yapısal bir konuya birinci elden tanık oldum. Kongredeki çok sayıda bölgeyi tatmin etme gerekliliğinden ötürü NASA kampusleri ülkeye dağılmış durumdadır. Herhangi bir kampus kendi aletlerine dikkat etse bile, bağlantılarda yeterince kurumsal yatırım yoktur. Bu daha büyük organizasyonlarda da böyledir. Farklı alt katmanlar arasında raporların iletimi sırasında bilgi kaybolabilir. NASA ve havacılık ve uzay endüstrisi risk analizörü Joe Fragola bana gönderdiği bir e-postada şöyle demişti: "Deneyimlerim, konunun uzmanları, sistem bütünleştirme ekibi ve risk analiz ekibinin ortak çalışması şeklinde olmayan bütün risk analizlerinin başarısızlığa mahkûm olduğunu söylüyor. Özellikle "anahtar teslimi" risk analizleri sadece istatistiksel değer taşıyor ve akademik ilgi konusu oluyor". Her ikisi de uzun vadede temel olmakla birlikte konunun genişliği ve ayrıntı arasında genelde bir değiş tokuş dengesi olur.

Böyle bir başarısızlığın dramatik bir sonucu (diğerlerinin yanı sıra) Meksika Körfezindeki BP kazasıdır. Harvard'da dekan ve BP Açık Deniz Ufuk Petrol Sızıntısı ve Derin Deniz Sondajı konusundaki Ulusal Komisyon üyesi olan Cherry Murray, 2011'de Harvard'da yaptığı bir konuşmada BP kazasındaki en büyük payın yönetimin başarısızlığı olduğundan söz etti. Komisyonun bilim ve mühendislik konusundaki baş danışmanı ve Shell Petrol Şirketinin Derin Su Hizmetleri bölümünün eski başkanı olan Richard Sears BP yönetiminin nasıl "hiper çizgisel düşünüş" adını verdiği yöntemle büyük resmi göz önüne almadan her seferinde bir sorunla ilgilendiğini anlattı.

Her ne kadar parçacık fiziği zor bir uzmanlık alanı olsa da amacı temel elemanlarını soyutlamak ve hipotezlerimize dayanan açık tahminler yapmaktır. Zorluk karmaşık iç bağlantılar yapmak değil, küçük uzaklıklara ve yüksek enerjilere erişmektir. Her ne kadar hangi modelin doğru olduğunu bilmiyorsak da, belirli bir model verildiğinde, örneğin LHC'de protonlar birbirleriyle çarpıştığında ne tür olayların ortaya çıkacağını tahmin edebiliriz. Küçük ölçekler büyüklerin içi-

ne emildiğinde büyük ölçekler için uygun olan etkin kuramlar bize küçük ölçeklerin işin içine nasıl girdiğini ve küçük ölçekli ayrıntıları göz ardı ederek yapabileceğimiz hataları bildirir.

Bununla birlikte, çoğu durumda Birinci Bölümde ortaya koyduğumuz ölçeğine göre net bir biçimde ayırma işi geçerli olmaz. Paylaşılan bazı yöntemler olsa da, bir New York bankerinin söylediği gibi, "Finans bir fizik dalı değildir." İklimde ya da bankacılıkta küçük ölçekli etkileşimler konusunda bilgi sahibi olmak, büyük ölçekli sonuçların belirlenmesinde genellikle önem taşır.

Bu ölçek ayrımının yokluğu, talihsiz sonuçlara yol açabilir. Örnek olarak Barings Bankasının batmasını ele alalım. O yılki başarısızlığına kadar 1762'de kurulmuş olan Barings, İngiltere'nin en eski ticaret bankasıydı. Napolyon savaşlarını, Louisiana'nın satın alınmasını ve Erie kanalını finanse etmişti. Ama 1995'te dolandırıcı bir tüccarın Singapur'daki küçük ofisinde yaptığı kötü yatırımlar sonucu banka neredeyse mali bir enkaza dönüştü.

Daha yakın zamanlarda, Joseph Cassano'nun AIG'deki entrikaları şirketi batma noktasına getirmiş ve bütün dünya mali bir kriz tehdidi altına girmişti. Cassano, AIG Finansal Ürünler ya da AIGFP adlı şirkette nispeten küçük (400 kişinin çalıştığı) bir birimin başındaydı. Cassano teminata bağlanmış borç yükümlülükleri üzerine yapılmış yatırımları korumak için kredi borcu takas sözleşmeleri (çeşitli bankalarca kullanılan karmaşık bir yatırım aracı) yapana kadar AIG oldukça dengeli yatırımlar yapmıştı.

Geçmişe bakıldığında koruma piramidi gibi görünen bir durumda onun grubu 500 milyar doları kredi borcu takas sözleşmelerinde kilitlemişti, bunların 60 milyar doları yüksek risk faizli ipotek kredilerine bağlıydı.[1] Eğer alt birimler fizikte olduğu gibi daha büyük sistemlerin içine alınmış olsaydı, küçük parça orta düzeyde bir denetçinin kolayca üstesinden gelebileceği bir bilgiyi ya da etkinliği daha yüksek

[1] *Bkz.*, örneğin Taibbi, Matt. "The Big Takeover: How Wall Street Insiders are Using the Bailout to Stage a Revolution," *Rolling Stone*, March 2009.

bir düzeyde kontrollü olarak sağlayabilirdi. Ama ölçeklerin ayrılmasının talihsiz ve gereksiz, aşırı bir ihlali sonucunda Cassano'nun entrikaları hiç denetlenmeden bütün operasyona sızdı. Onun yaptıkları ne güvenlik, ne oyun ne de sigorta olarak düzenlenmişti. Kredi borcu takas sözleşmeleri bütün dünyaya dağıldı ve hiç kimse bunun yaratacağı potansiyel tehlikeleri göremedi. Yüksek faizli ipotek kredileri krizi ortaya çıktığında, buna hazırlıklı olmayan AIG kayıplar nedeniyle çöktü. Daha sonra şirketi kurtarmak da Amerikalı vergi mükelleflerine kaldı.

Düzenleyiciler, tek tek kurumların sağlamlığına ilişkin konvansiyonel güvenlik konularıyla (bir dereceye kadar) uğraştılar ama sistemi tam olarak ya da ona bağlı olan riskleri değerlendiremediler. Mükerrer kayıtlı borçların ya da yükümlülüklerin bulunduğu daha karmaşık sistemler bu iç bağlantıların daha iyi anlaşılmasını, değerlendirme, karşılaştırma ve risklerin kararlaştırılması ve olası kârların değiş tokuşu için daha kapsayıcı yollar bulunmasını gerektirir.[2] Bu zorluk büyük sistemlerin çoğuna olduğu kadar ilgili zaman çerçevesine de uygulanır.

Bu bizi riskle uğraşmanın ve hesaplamanın daha zor olduğu bir başka faktöre getirir: Aklımız, piyasalarımız ve politik sistemlerimiz kısa dönemli risklere ve uzun dönemli olanlara, kimi zaman anlamlı ama çoğu zaman da açgözlülük sonucu farklı mantıkla yaklaşır. Çoğu ekonomist ve bazı finansal piyasalar, piyasa balonlarının sonsuza kadar devam etmeyeceğini anladılar. Risk, balonun patlaması değildi –gerçekten hiç kimse konut fiyatlarının kısa sürelerle sonsuza kadar iki katına çıkmaya devam edeceğini düşünmüş olabilir mi?– balonun çok yakında patlayacak olmasıydı. Eğer herhangi bir noktada yaptığınız kârı (ya da ödülleri) alıp dükkânı kapatabiliyorsanız, sürdürülemez olduğunu bilseniz bile bir balona tutunmak ya da onu şişirmek mutlaka basiretsizlik değildir.

---

[2] Bu konu, örneğin şurada da ele alınmıştır: J. D. Graham ve J. B. Wiener, *Risk vs. Risk:Tradeoffs in Protecting Health and Environment* (Harvard University Press, 1995), özellikle Bölüm 11.

İklim değişikliğine gelince, Grönland'daki buz örtüsünün erimesine nasıl bir sayı verebileceğimizi gerçekten bilmiyoruz. Belirli bir zaman çerçevesinde –örneğin önümüzdeki yüz yıl içinde erimeye başlama olasılığını bilmek istersek, olasılıklar daha da belirsizleşir. Ama sayıları bilmemek başımızı buza– ya da buz gibi suya sokmamıza neden olmamalı.

Olası çevresel sonuçları görece yavaş ortaya çıktığı zaman, iklim değişikliği kaynaklı riskler üzerinde ve bu riskleri ne zaman ve nasıl gidereceğimiz konularında fikir birliği oluşturmakta sorunlar yaşıyoruz. Ve eyleme geçmenin ya da geçmemenin maliyetini nasıl hesaplayacağımızı bilmiyoruz. Eğer iklimden kaynaklanan dramatik bir olay olsaydı, hemen harekete geçebilirdik. Elbette ne kadar hızlı olursak olalım, o noktada geç kalmış oluruz. Bu ise sarsıcı olmayan iklim değişikliklerine de dikkat etmemiz gerektiği anlamına gelir.

Belirli sonuçların ortaya çıkma olasılığını bilmesek bile, felaketle sonuçlanabilecek ama gerçekleşme olasılığı düşük olaylarla sonuçları daha az dramatik olmakla birlikte gerçekleşme olasılığı yüksek olan olaylara farklı standartlar uygulama eğilimi gösteriyoruz. Karayollarındaki trafik kazalarında çok daha fazla sayıda insan ölüyor olmasına karşın, çok daha az sayıda insanın hayatına mal olan uçak kazaları ve terörist saldırı haberlerini çok daha sık okuyoruz. İnsanların daha olasılıkları anlamadan kara delikler hakkında konuşmalarının nedeni felaket senaryolarının çok korkutucu olmasındandı. Öte yandan, düşük görünürlüklerinden dolayı radarların kapsama alanı dışında kaldığından pek çok düşük (ve o kadar da düşük olmayan) olasılık tümüyle göz ardı edilir. Meksika Körfezindeki kaza ortaya çıkıncaya kadar açık deniz sondajları bile pek çok kimse tarafından tümüyle güvenli olarak nitelendiriliyordu.[3] Bununla ilgili bir

[3] Örneğin şunlara da bakınız: Slovic, Paul. "Perception of Risk," *Science* 236, 280–285, no. 4799 (1987). Tversky, Amos, ve Daniel Kahneman, "Availability: A heuristic for judging frequency and probability," *Cognitive Psychology* 5 (1973): 207–232. Sunstein, Cass R., ve Timur Kuran. "Availability Cascades and Risk Regulation," *Stanford Law Review* 51 (1999):683–768. Slovic, Paul "If I Look at the Mass I Will Never Act: Psychic Numbing and Genocide," *Judgment and Decision Making* 2, no. 2 (2007): 79–95.

sorun da kimi zaman en yüksek yararların ya da maliyetlerin dağılımların uç noktalarında, yani en az bildiğimiz, olasılığı en düşük olan olaylarda ortaya çıkmasıdır.[4] İdeal olarak hesaplarımızın ortalama tahminler veya daha önceki benzer durumların ortalamaları tarafından belirlenmesini isteriz. Ama eğer daha önce benzer hiçbir olay olmamışsa veya olasılığı tümden göz ardı edersek bu verilere sahip olamayız. Eğer bu olasılık uçlarında maliyetler ya da yararlar yeterince yüksekse, bunlar her şeyden önce ne olduklarını önceden bildiğiniz varsayımıyla tahminlere üstün gelir. Her durumda oranlar ortalamaların anlamlı olmayacağı kadar düşük olduğunda geleneksel istatistik yöntemler uygulanmaz.

Mali krizin ortaya çıkma nedeni, olayların uzmanların göz önüne aldığı aralığın dışına çıkmış olmasıydı. Krizin öngörülebilir yanlarından pek çok kimse para kazandı ama daha olumsuz gelişmelerden bazılarını sözde olası olmayan olaylar belirledi. Mali araçların güvenilirliğini modellerken çoğu kimse ekonominin kötüye gidebileceğini ya da bu kadar hızla kötüye gidebileceğini hesaba katmadan, geçmiş birkaç yılın verilerini uygulamıştı. Mali araçların düzenlenmesi gerekip gerekmediği yolundaki değerlendirmeler, piyasaların hep yukarıya gittiği kısa zaman dilimlerini temel alıyordu. Piyasaların kötüye gitme olasılığının kabul edildiğinde bile düşüş için varsayılan değerler düzenleme olmamasının ekonomiye gerçek maliyetinin tam olarak hesaplanamayacağı kadar düşüktü. Hemen hemen hiç kimse krizi başlatan "düşük olasılıklı" olaylara dikkat etmedi. Başka durumlarda fark edilmiş olacak riskler bu yüzden hiç göz önüne alın-

[4] Örneğin şunlara da bakınız: Kousky, Carolyn, ve Roger Cooke. *The Unholy Trinity: Fat Tails, Tail Dependence, and Micro-Correlations*, RFF Discussion Paper 09-36-REV (November 2009). Kunreuther, Howard, ve M. Useem. *Learning from Catastrophes: Strategies for Reaction and Response* (Upper Saddle River, NJ: Wharton School Publishing). Kunreuther, Howard. *Reflections and Guiding Principles for Dealing with Societal Risks*, in *The Irrational Economist: Overcoming Irrational Decisions in a Dangerous World*, E. Michel-Kerjan ve P. Slovic, eds., New York Public Affairs Books 2010. Weitzman, Martin L., *On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change*, Review of Economics and Statistics, 2009.

madı bile. Ama eğer yeterince kayda değer etkileri olacaksa, olasılığı düşük olayların bile göz önüne alınması gerekir. [5]

Herhangi bir risk değerlendirmesinde temeldeki varsayımların yanlış olması riskini değerlendirmedeki güçlük nedeniyle zorluk yaşanır. Böyle tahminler olmaksızın herhangi bir tahmin yapısal önyargılara maruz kalır. Hesaba ilişkin sorunların ve temeldeki varsayımların içine gömülü gizli önyargıların üzerine pek çok pratik politika kararı bilinmeyen bilinmeyenler –beklenemeyen ya da beklenmemiş olan faktörler– içerir. Kimi zaman sadece sorun yaratacak düşük olasılıklı olayı öngöremeyiz. Bu da kaçınılmaz olarak bu bilinmeyenlerde dikkate alınmayacak herhangi bir tahmin girişimini tümüyle tartışmalı hale getirir.

RİSKİ AZALTMAK

Neyse ki anlayış arayışımızda tehlikeli kara delik üretilme olasılığının çok az olduğu konusunda kendimizden son derece eminiz. Yıkıcı bir sonuç ortaya çıkmasının sayısal olasılığını tam olarak bilmiyoruz ama göz ardı edilecek kadar küçük olduğundan bilmek zorunda da değiliz. Evrenin yaşam süresinde bir kez bile olmayacak bir olay güvenli bir biçimde göz ardı edilebilir.

Bununla birlikte, kabul edilebilir bir risk düzeyini sayıya dökmek çok zordur. Büyük risklerden –yaşamı, gezegenimizi ya da değer verdiğimiz herhangi bir şeyi tehlikeye atan herhangi bir şeyden– bütünüyle kaçınmak isteyeceğimiz açıktır. Katlanabileceğimiz risklerle kimin kazançlı kimin zararlı çıkacağını değerlendirmenin bir yolunu bulmak ve riskleri bu doğrultuda değerlendiren ve önceden sezen bir sistemimiz olsun isteriz.

Risk analizcisi Joe Fragola'nın bana, ilgilendiği diğer potansiyel tehlikelerle birlikte iklim değişikliği konusundaki yorumu şuydu: Asıl konu ne bunların olup olmayacağı, ne de sonuçlarının ne olacağıdır; asıl konu bunların ortaya çıkma

[5] Bakınız, örneğin, Joe Nocera'nın *New York Times Sunday Magazine*'deki "Risk Mismanagement" üzerine kapak öyküsü Ocak 4, 2009.

olasılığının ne olduğu ve bununla ilişkili olan belirsizliktir. Ve küresel kaynaklarımızın ne kadarını sadece ortaya çıkış olasılığına değil bunları azaltmak için ne yapabileceğimiz olasılığına da dayanan riskleri ele almak için kullanmalıyız?"

Düzenleyiciler riski değerlendirmek ve onunla nasıl baş edeceklerini belirlemek için sık sık maliyet-fayda analizi denen araca başvururlar. Görünürde bu fikir yeterince basittir. Elde edeceğin faydaya karşılık ne kadar ödemen gerektiğini hesapla ve önerilen değişikliğin buna değip değmeyeceğini gör. Bu pek çok koşulda eldeki en iyi süreç bile olabilir ama tehlikeli ve aldatıcı bir matematiksel özen tabakası da oluşturabilir. Pratikte maliyet-fayda analizini yapmak çok zor olabilir. Sorunlar sadece maliyet ve faydanın ölçülememesini kapsamaz. Bu da bir zorluktur ama ilk sırayı maliyet ve faydayla neyi kastettiğimizi tanımlamak alır. Birçok hayali durumda bunların herhangi birini ya da her şeyden önce riski güvenilir bir şekilde hesaplayamayacak kadar çok bilinmeyen olur. Elbette deneyebiliriz ama bu belirsizlikler hesaba katılmak ya da en azından anlaşılmak zorundadır.

Kısa vadede ve gelecekteki maliyeti ve riskleri tahmin edebilen, mantıklı bir sistem elbette çok yararlı olacaktır. Ama bütün değiş-tokuşlar sadece maliyetlerine göre değerlendirilemezler. Risk altında bulunanın yerine bir şey konamazsa ne olur?[6] LHC'de dünyayı yutacak bir kara delik ortaya çıkması mantıklı bir olasılıkla bizim yaşam süremiz içinde mi yoksa milyonlarca yıl içinde mi gerçekleşmesi beklenen bir olay olmuştur, elbette buna karar vermeliyiz.

Ve sonuçta temel bilim araştırmalarından biraz da olsa yararlanıyor olsak bile, bu yarara sayısal değer vermek çok zor olduğundan bir projeyi terk etmenin ekonomik maliyeti kolayca hesaplanamaz. LHC'nin amaçları arasında bilgi

[6] Tersinemezlik problemi ile şu ekonomistler de ilgilenmiştir: Arrow, Kenneth J., ve Anthony C. Fisher, "Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility," *Quarterly Journal of Economics*, 88 (1974): 312–319. Gollier, Christian, ve Nicolas Treich, "Decision Making under Uncertainty: The Economics of the Precautionary Principle," *Journal of Risk and Uncertainty* 27, no. 7 (2003). Wiener, Jonathan B. "Global Environmental Regulation," *Yale Law Journal* 108 (1999): 677–800.

elde etmek vardır ki bu bilgi kütle ve kuvvetlerin ve hatta uzayın doğasının daha iyi kavranmasını da içerir. Yararları arasında, evren ve onun yapısı hakkında önemli sorular ve derin fikirlerden ilham alan eğitimli, yüksek motivasyonlu ve teknik becerileri yüksek insanların yetişmesi de sayılabilir. Daha pratik bir cephede CERN'in World Wide Web sayesinde bilginin küresel olarak işlenmesine olanak veren ağla elde ettiği ilerlemeleri ve MR gibi tıbbi cihazlarda yararlı olabilecek mıknatıs teknolojisindeki gelişmeleri de izleyeceğiz. Sonuçta olası başka bazı temel bilim uygulamaları da bulunabilir ama bunların tahmin edilmesi hemen her zaman olanaksızdır.

Maliyet-fayda analizlerinin temel bilime uygulanması zordur. Bir hukukçu, öne sürülen son derece minik olasılıklı devasa riskle birlikte LHC'nin dünyadaki bütün sorunları çözerek muazzam faydalar sağlamak için minik bir şansa sahip olduğuna dikkat çekerek maliyet-fayda yaklaşımını şaka yollu LHC'ye uyguladı. Elbette, hukukçular inanılmaz bir şekilde denemiş olsalar da, hiçbir sonuç maliyet-fayda standardına oturmuyordu.[7]

Bilim en azından amaçlarının "ezeli ve ebedi" gerçekler olmasından yararlanır. Eğer dünyanın nasıl işlediğini anlarsanız, bunu ne kadar hızlı veya ne kadar yavaş anladığınızın bir önemi yoktur. Elbette bilimsel ilerlemenin yavaş olmasını istemeyiz. Ama bir yıllık gecikme bize LHC'yi vaktinden önce çalıştırmanın tehlikeli olduğunu gösterdi. Genelde bilim insanları güvenli bir şekilde ilerlemeye çalışırlar.

Maliyet-fayda analizleri, iklim değişikliği politikaları veya bankacılık gibi karmaşık durumlarda güçlüklerle doludur. Her ne kadar maliyet-fayda analizi ilke olarak anlamlı olsa ve temel bir itiraz olmasa bile nasıl uygulayacağınız devasa bir fark yaratır. Maliyet-fayda analizi savunucuları temelde nasıl daha iyisini yapabiliriz diye sorarken, yaklaşımlarını doğrulamak için maliyet-fayda argümanını kullanırlar ve bu konuda haklı da olabilirler. Ben sadece bu yön-

[7] Örneğin, Richard Posner, *Catastrophe: Risk and Response* (Oxford University Press, 2004).

temi uyguladığımızda, bunu çok daha bilimsel yaptığımızı savunuyorum. Verdiğimiz herhangi bir sayıdaki belirsizlikler konusunda açık olmalıyız. Bilimsel analizde olduğu gibi hataları, varsayımları ve önyargıları dikkate almalı ve bunları sunarken açık olmalıyız.

İklim değişikliği konusunda önemli fark yaratan bir faktör de maliyetlerden ya da faydadan söz ederken bir bireye mi, bir ulusa mı yoksa dünyaya mı atıfta bulunulduğudur. Potansiyel maliyetler ya da fayda bu kategoriler arasında geçişli de olabilir ama biz bunu her zaman göz önüne almayız. Amerikalı politikacıların Kyoto Protokolüne karşı çıkmalarının bir nedeni, maliyetin Amerikalılara, özellikle de Amerikan şirketlerine sağlayacağı faydadan daha yüksek olduğu sonucuna varmış olmalarıydı. Ama yine de böyle bir hesap gerçekten dünyadaki dengesizliklerin uzun vadeli maliyetlerini veya yeni iş kollarının filizleneceği, düzenli çevrenin faydalarını hesaba katamaz. İklim değişikliği maliyetlerinin azaltılmasına ilişkin birçok ekonomik analiz, ekonomiye inovasyon veya başka ülkelerden bağımsız olmanın getirdiği istikrar nedeniyle sağlanan ek faydaları göz önüne almaktan uzaktır. Dünyanın nasıl değişeceği konusunda çok fazla bilinmeyen vardır.

Bu örnekler aynı zamanda ulusal sınırları aşan risklerin nasıl değerlendirilip azaltılacağı sorusunu da gündeme getiriyor. Kara deliklerin gerçekten de gezegenimiz için bir tehlike oluşturduğunu varsayalım. Hawaii'de yaşayan biri Cenevre'de yapılan bir deney için yapıcı bir dava açabilir mi? Yürürlükteki yasalara göre yanıt, hayır ama belki de başarılı bir davada Amerika'nın deneye mali katkıları söz konusu olabilirdi.

Nükleer yayılma küresel dengenin açıkça tehlikede olduğu bir başka konudur. Ama diğer ülkelerde ortaya çıkan tehlikeler konusunda kontrolümüz sınırlıdır. Hem iklim değişikliği hem de nükleer yayılma ulusal olarak yönetilen ama tehlikeleri bu tehlikeyi yaratan kurum ya da ülkeyle sınırlı olmayan konulardır. Risklerin ülke sınırlarını aştığında ne yapılacağı veya yasal yargı sınırlarına ilişkin politik sorunlar zordur. Ama bu kesinlikle önemli bir sorudur.

Gerçekten uluslararası bir kuruluş olarak CERN'in başarısı birçok ülkenin paylaştığı, ortak amaca dayanır. Bir ülke kendi katkısını en aza indirmeye çalışabilir ama bundan başka hiçbir bireysel çıkar tehlikede değildir. Değer verdikleri bilim aynı olduğundan bütün ilgili ülkeler birlikte çalışır. Ev sahibi ülkeler olan Fransa ve İsviçre emek gücü ve altyapı olarak biraz daha fazla ekonomik avantaj sağlıyor olabilir ama bu bir bütün olarak toplamı sıfır olan bir oyun değildir. Hiçbir ülke başkasının zararına bir şey kazanmaz.

LHC'nin bir başka dikkat çekici özelliği, teknik ya da pratik bir sorun ortaya çıktığında CERN ve üye ülkelerin sorumlu olmasıdır. 2008'deki helyum patlamasının onarım masrafları CERN bütçesinden karşılandı. Hiç kimse, özellikle LHC'de çalışanlar mekanik arızalardan ya da bilimsel felaketlerden yarar sağlamaz. Maliyet ve faydaların tam olarak sıraya konmamış olduğu ve bağışçıların üstlendikleri risklerin bütün sorumluluğunu almadıkları durumlara uygulandığında maliyet-fayda hesapları çok daha az yararlıdır. Bu tür bir mantığı bilimin ilgi alanına giren kapalı sistem türlerine uygulamaktan çok farklıdır.

Herhangi bir durumda insanların ilgisinin ve riskin aynı düzeyde olmaması sonucu başka kimsenin sigortaya etkin olarak katkı yapmadığında daha büyük risk almaya güdülenebildikleri durumlarda ahlaki tehlikelerden kaçınmak isteriz. Doğru güdülenme yapılarına sahip olmamız gerekir.

Örneğin yüksek riskli yatırım fonlarını ele alalım. Fonlar kazandığında genel ortaklar fonlardan kâr yüzdelerini alır ama fonlar zarar ettiğinde veya iflas söz konusu olduğunda karşılaştırılabilir bir yüzdeyi bedel olarak ödemezler. Bireyler kazanırken işverenler –veya vergi mükellefleri– zararı paylaşır. Bu parametrelerle çalışanların en kârlı stratejileri, büyük dalgalanmaları ve istikrarsızlıkları teşvik etmektir. Verimli bir sistem ve etkin bir maliyet-fayda analizi böyle riskleri, ödül ve sorumlulukları da hesaba katmalıdır. Bağlantılı kimselerin farklı kategori ve ölçekleri de göz önüne alınmalıdır.

Bankacılıkta da risklerin ve faydaların mutlaka aynı düzeyde olmadığı, açık bir ahlaki tehlike vardır. "Çökmeyecek

kadar büyük" politikası borcun öz sermayeye oranının zayıflığıyla birleştiğinde kayıplardan sorumlu olan insanların (vergi mükellefleri) en çok kâr sağlayanlarla (bankalar ve sigortacılar) aynı olmadığı bir duruma yol açar. 2008'deki kurtarma operasyonlarının gerekli olup olmadığı tartışılabilir ama riski sorumlulukla aynı düzeye çekerek bu durumun ilk aşamada önlenmesi daha iyi bir fikir gibi görünüyor.

Dahası, LHC'de deneyler ve riskler hakkında bütün veriler zaten eldedir. Güvenlik raporuna web üzerinden ulaşılabilir. Bu raporu herkes okuyabilir. Elbette yolunda gitmeyen bir şey olduğunda bir kurtarma operasyonu bekleyen ya da potansiyel olarak kararsız bir şekilde spekülasyonda bulunan herhangi bir kuruluş, göreli risk ve faydaların değerlendirilebilmesi için düzenleyici kuruluşlara yeterince veri sağlamalıdır. Güvenilir verilere rahat ulaşım gelecekte mali ya da başka potansiyel tehlike bekleyen ipotek uzmanları veya düzenleyicilere ya da diğerlerine yardımcı olmalıdır.

Kendi içinde bir çözüm olmasa bile, analizleri en azından geliştirebilecek ve berraklaştırabilecek bir başka faktör, zaman aralıklarını olduğu kadar fayda ve risklere maruz kalan kategoriler cinsinden "ölçekleri" göz önüne almaktır. Ölçek sorusu hesaplara kimin dahil edildiği konusuna dönüşür: bir birey mi, bir örgüt mü, bir devlet mi, ya da bütün dünya mı ve ilgilendiğimiz süre bir ay mı, bir yıl mı yoksa on yıl mı? Goldman Sachs için iyi olan bir politika bir bütün olarak ekonomi için ya da ipotekleri şu an için su altında olan bir birey için faydalı olmayabilir. Bu ise, mükemmel bir biçimde hassas hesaplar olsa bile, bunlar doğru sonucu ancak iyi düşünülmüş, doğru sorulara uygulandığında garantileyebilir.

Politika belirlerken veya maliyete karşı faydayı değerlendirirken, olası küresel denge ve diğerlerine yardımcı olma gibi faydaları göz ardı etme eğilimi gösteririz, sadece ahlaki anlamda değil, aynı zamanda uzun vadeli mali anlamda. Bunun nedeni kısmen kazanımların ölçülmesindeki zorluk, kısmen de hızla değişen dünyada değerlendirme yapanın ve sağlam düzenlemeler yapmanın zorluklarıdır. Yine de, sadece bir bireyin, bir kurumun ya da bir ülkenin kazanımlarını

değil, olası tüm kazanımları göz önünde bulunduran düzenlemelerin daha güvenilir olduğu ve daha iyi bir dünyanın kurulmasına yol gösterebileceği açıktır.

Son mali krizde gördüğümüz gibi, zaman çerçevesi karar verenlerin varsayımlarını olduğu kadar politika kararları için hesaplanan maliyet ve faydayı da etkiler. Alelacele hareket etmek riskleri artırırken hızlı işlemler kazanımları (ya da kârları) artırabileceği için zaman ölçekleri başka açılardan da önemlidir. Ama hızlı ticaret fiyatlandırmayı daha etkin hale getirebiliyor olsa da, ışık hızındaki işlemlerin tümden ekonomi için mutlaka kazançlı olacağı anlamına gelmez. Bir yatırım bankeri bana hisselerin istenilen zamanda satılabilmesinin ne kadar önemli olduğundan söz etti, ama bu durumda bile bu hisselere sahip olduktan birkaç saniye ya da daha kısa süre sonra satmak zorunda olmasının, kendisi ve bankasının daha fazla para kazanmasından başka ne işe yaradığını açıklayamayacağını ifade etti. Bu tür ticaret kısa vadede bankalara ve onların kurumlarına daha fazla kâr sağlar ama uzun vadede mali sektörün var olan zayıflığı ve kırılganlığının daha kötüye gitmesine neden olur. Belki de kısa vadeli rekabet dezavantajına karşın, daha güven veren bir sistem uzun vadede daha kârlı olabilir ve bu nedenle üstünlük sağlayabilir. Elbette sözünü ettiğim bankerin kurumu bir yılda 2 milyar dolar kazandığından, patronları benim sözlerimdeki bilgeliği paylaşmayabilir. Ama sonuçta bu paraları ödeyen biri paylaşacaktır.

UZMANLARIN ROLÜ

Pek çok kimse yanlış dersi alıyor ve güvenilir tahminlerin olmamasının riskin olmadığına işaret ettiği sonucuna varıyor. Aslında doğru olan bunun tam tersidir. Belirli varsayımları ve yöntemleri kesinlikle bertaraf edinceye kadar olası sonuçların aralığı, olasılık gerçeğinin içindedir. Belirsizliklere karşın –ya da onlar yüzünden– tehlikeli sonuçlara işaret eden bunca modelle, iklim veya ekonomide –ya da okyanus sondajlarında– çok kötü bir şey olma olasılığı göz ardı edilecek kadar küçük değildir. Belki de belirli bir zaman çerçe-

vesinde olasılıkların küçük olduğu tartışılabilir. Ama uzun vadede, daha iyi bilgileninceye kadar, çok fazla senaryo tehlikelerin göz ardı edilemeyeceği, vahim sonuçlara yol açar.

Güvenlik ve tahmin edilebilirlikle ilgilenenler bunu tartışırken insanlar sadece düzenlemelere karşı kâr-zarar hanesinin toparlanmasıyla ilgileniyorlar. Çizginin nereye çekileceği olanaksız değilse bile, iç karartıcı bir iş olduğundan, şeytana uyarak bu taraflardan birine ya da diğerine meyletmek son derece kolaydır. Risk hesaplarında olduğu gibi, karar noktasını bilmemek bu noktanın olmadığı ya da en iyi yaklaştırımı amaçlamıyor olmadığımız anlamına gelmez. Ayrıntılı tahminler yapmak için gereken önsezilerin yokluğunda bile yapısal sorunlara değinilmelidir.

Bu bizi son önemli soruya getirir: Kim karar veriyor? Uzmanların rolü nedir ve riskli olma durumunu kim değerlendiriyor?

LHC'Ye yatırılan paraya, işleyen bürokrasiye ve dikkatli gözetime bakıldığında risklerin de uygun bir biçimde analiz edildiğini düşünebiliriz. Dahası, bu enerjilerde parçacık fiziğinin destekleyici unsurlarının boşa çıktığı yeni bir rejime bile girmiş sayılmayız. Fizikçilerin LHC'nin güvenli olduğu konusunda güvenleri tam ve parçacık çarpışmalarından gelecek sonuçları bekliyoruz.

Bu, bilim insanlarının büyük bir sorumlulukları olmadığını söylemek değildir. Bilim insanlarının her zaman sorumlu ve riskler konusunda dikkatli olduklarından emin olmalıyız. LHC'de olduğu kadar bütün bilimsel girişimlerde de bu konulardan emin olmak isteriz. Eğer daha önceden var olmayan bir madde, bir mikrop veya herhangi bir şey yaratıyorsanız (veya daha derin sondaj yapıyorsanız ya da bu amaçla yeryüzünde yeni ufuklar keşfediyorsanız) dramatik sonuçları olacak, kötü bir şey yapmadığınızdan emin olmalısınız. Burada önemli olan bunu, ilerlemeyi ve kazanımları engelleyecek, temelsiz bir felaket tellallığı yapmadan, rasyonel bir şekilde yapmaktır. Bu sadece bilimde değil, potansiyel risk taşıyan bütün girişimlerde geçerlidir. Hayali bilinmeyenlere ya da "bilinmeyen bilinmeyenlere" verilecek tek yanıt, olabil-

diği kadar çok bakış açısını dikkate almak ve eğer gerekirse araya girme özgürlüğüne sahip olmaktır. Meksika Körfezindeki herhangi birinin tanıklık edebileceği gibi, eğer herhangi bir şey yanlış giderse, vanaları kapatabilmeliyiz.

Bir önceki bölümün başlarında, blog yazarları ve kuşkucu kimselerin fizikçilerin kara delik hesaplarında kullandıkları yöntemler –ki bunların arasında kuantum mekaniğine dayanmak da vardır– konusunda yaptıkları itirazları özetlemiştim. Hawking de kara deliklerin bozunumunu çıkarırken kuantum mekaniğini kullanmıştı. Ama Feynman'ın "kimse kuantum mekaniğinden anlamıyor" cümlesine karşın, kuantum mekaniğinin neden doğru olduğu konusunda derin felsefi bir kavrayışımız olmasa bile, fizikçiler kuantum mekaniğinin çıkarımlarını anlıyorlar. Verileri açıklayabildiği ve klasik fizikle çözülemeyen problemleri çözebildiği için kuantum mekaniğine inanıyoruz.

Fizikçiler kuantum mekaniğini tartışırken tahminlerini reddetmezler. Tekrarlanan başarıları, afallamış öğrenci ve araştırmacıları kuşaklar boyu kuantum mekaniğinin doğrulunu kabul etmeye zorladı. Günümüzde kuantum mekaniğine ilişkin tartışmalar, felsefi dayanakları konusundadır. Bilindik klasik öncülleri olan ve kuantum mekaniğinin tuhaf hipotezlerini tahmin eden bir başka kuram var mıdır? İnsanlar bu konuda ilerleme sağlıyor olsa bile, kuantum mekaniği hesapları açısından fark etmez. Felsefi ilerlemeler tahminleri tanımlamakta kullandığımız kavramsal çerçeveyi etkileyebilir, tahminlerin kendisini değil.

Kayıtlara geçmesi için, bu cephede büyük ilerlemeler olacağını sanmıyorum. Kuantum mekaniği büyük olasılıkla temel bir kuramdır. Klasik mekanikten daha zengindir. Bütün klasik tahminler kuantum mekaniğinin uç durumları olup bunun tersi doğru değildir. O nedenle, sonunda kuantum mekaniğini klasik Newton mantığıyla yorumlayabileceğimize inanmak zordur. Kuantum mekaniğini klasik Newton dayanaklarıyla yorumlamaya çalışmak benim bu kitabı İtalyanca yazmaya çalışmam gibi olurdu. İtalyanca söyleyebileceğim her şeyi İngilizce de söyleyebilirim ama sınırlı İtalyanca kelime dağarcığım nedeniyle bunun tersi doğru değildir.

Yine de felsefi anlamları üzerinde fikir birliği olsun olmasın, bütün fizikçiler kuantum mekaniğinin nasıl uygulanacağı konusunda hemfikirdirler. Tuhaf karşıt fikirliler işte böyledir. Kuantum mekaniğinin tahminleri güvenilir olup defalarca denenmiştir. Bunlar olmasa bile LHC'nin güvenli olduğunu gösteren deneysel verilere (dünyadan, güneşten, nötron yıldızları ve beyaz cücelerden) sahibiz.

LHC için alarm verenler sicim kuramının kullanılmasına da karşı çıkıyorlar. Gerçekte, kuantum mekaniğinin kullanılması tamamdır ama sicim kuramına dayanmak kabul edilemez. Ama kara deliklere ilişkin sonuçlarda hiçbir şekilde sicim kuramının kullanılması gerekmez. İnsanlar kara deliklerini içyapısını, –genel göreliliğe göre sonsuz yoğun olması gereken merkezdeki görünür tekilliği– anlamak için sicim kuramını kullanmaya çalışmazlar. Evet, insanlar fiziksel olmayan durumlarda kara delik buharlaşmasının sicim kuramına dayanan, Hawking'in sonuçlarını destekleyen hesaplarını yapmıştır. Fakat kara delik bozunumu hesapları tam bir kuantum kütleçekim kuramına değil, kuantum mekaniğine dayanır. Sicim kuramı olmasa bile, Hawking hesaplarını yapabilirdi. Bütün bunlar, kimi blog yazarlarının soruları gerçekleri tartabilecek yeterli bilimsel kavrayışa sahip olmadıklarını gösteriyor.

Bu itirazın daha cömert bir yorumu bilimin kendisine değil, kuramlarında "imana dayalı" inançlar bulunan bilim insanlarına karşı olduğu şeklindedir. Ne de olsa sicim kuramı deneysel olarak doğrulanabilir enerji rejiminin ötelerindedir. Ama yine de pek çok fizikçi doğru olduğunu düşünerek üstünde çalışmayı sürdürüyor. Bununla birlikte, bilim dünyasında bile sicim kuramı konusundaki çeşitli fikirlerin varlığı bunun tam karşıtı bir noktayı işaret ediyor. Hiç kimse sicim kuramı üzerine bir güvenlik değerlendirmesi inşa edemez. Sicim kuramını bazı fizikçiler desteklerken diğerleri desteklemiyor. Ama herkes bu kuramın tam olarak kanıtlanmamış olduğunu da biliyor. Herkes sicim kuramının geçerliliği ve güvenilirliği üzerinde fikir birliğine varıncaya kadar, riskli durumlarda bu kurama güvenmek gözü karalık olur.

Güvenliğimizle ilgili olarak sicim kuramının deneysel sonuçlarının ulaşılmazlığı sadece onun doğru olup olmadığını henüz bilmiyor oluşumuzun nedeni değildir, aynı zamanda yaşamlarımız süresince karşılaşacağımız gerçek dünya olaylarını tahmin etmek için gerekli olmaması da bir nedendir.

Ama LHC'den kaynaklanan potansiyel riskleri değerlendirirken uzmanlara güvenmenin doğru olduğuna güven duymama karşın bu stratejinin potansiyel sınırlarının da farkındayım ve bunların nasıl irdeleneceğini bilmiyorum. Ne de olsa "uzmanlar" bize türevlerin potansiyel krizler yaratmanın değil, riskleri azaltmanın bir yolu olduğunu söylemişlerdi. "Uzman" ekonomistlerse liberalleşmenin Amerikan ekonomisinin potansiyel çöküşü değil, Amerikan iş sektörlerinin rekabet edebilirliği açısından temel olduğunu anlattılar. Ve "uzmanlar" bize sadece bankacılık *sektöründekilerin* işlemlerini ekonomik sıkıntıları irdeleyebilecek kadar iyi anladıklarını söylüyorlar. Bu uzmanların yeterince liberal düşündüğünü nereden bileceğiz? Uzmanların da dar görüşlü olabileceği açıktır. Ve uzmanlar da çıkar çatışması yaşayabilirler. Burada da bilimden kaynaklanan bazı dersler olabilir mi?

LHC kara delikleri durumunda mantıksal olarak düşünebildiğimiz bütün potansiyel riskleri incelediğimizi söylemenin benim önyargım olduğunu sanmıyorum. Hem kuramsal argümanlar hem de deneysel kanıtlar hakkında düşündük. Evrende aynı fiziksel koşulların bulunduğu ama yakınlarındaki herhangi bir yapıyı yok etmedikleri durumları da göz önüne aldık.

Ekonomistlerin de var olan verilerle benzer karşılaştırmalar yaptıkları konusunda iyimser olmak hoş olur. Ama Carmen Reinhart ve Kenneth Rogoff'un *This Time Is Different* [*Bu Kez Farklı*] adlı kitabı bunun tersini söylüyor. Her ne kadar ekonomik koşullar hiçbir zaman aynı olmasa da, ekonomik balonlarda bazı geniş önlemler kendini tekrar eder.

Bugün pek çok kimse tarafından dile getirilen, hiç kimsenin liberalleşmenin getirdiği tehlikeleri önceden göremeyeceği tartışması da dayanaksız kalır. Vadeli işlemler

ve emtia piyasasını denetleyen Emtia ve Vadeli İşlemler Ticaret Komisyonunun (Commodity Futures Trading Commission) önceki başkanı Brooksley Born liberalleşmenin tehlikelerinden söz etti –aslında mantıklı bir şekilde potansiyel risklerin araştırılmasını önerdi– ama sesi kesildi. Kuşkunun doğruluğunu gösteren sağlam bir analiz yoktu (ki açıkça öyle oldu) ama sadece hantal, partizan bir bakış açısı iş dünyası için kötü olurdu (Wall Street için kısa vadede olduğu gibi).

Düzenleme ve politika konularında konuşan ekonomistlerin politik ya da mali ajandaları olabilir ve bu da doğru şeyler yapmalarını engelleyebilir. Bilim insanları tercihen politika yerine tartışmalarda özellikle riskleri göz önünde bulunduran değerlere ilgi gösterirler. LHC'deki fizikçiler de hiçbir felaketle karşılaşılmayacağını garantileyen, ciddi araştırmalar yaptılar.

Her ne kadar belirli bir finansal aracın ayrıntılarını sadece mali uzmanlar anlıyorsa da, herkes bazı temel yapısal konuları göz önünde bulundurabilir. Çoğu insan aşırı borçlanılan bir ekonominin neden dengesiz olduğunu çöküşü tetikleyen nedeni tahmin edemese bile anlayabilir. Ve büyük çoğunluk bankalara hiçbir kısıt olmaksızın yüz milyarlarca dolar vermenin, vergi mükelleflerinin paralarını harcamanın en iyi yolu olmadığını anlayabilir. Ve hatta herhangi bir kirliliği önlemek için musluk takıp güvenilir bir biçimde kapatma gerekliliğini veya pisliği temizlemek için paspasla temizlik yapma gereğini anlar. Bunun açık denizlerde petrol sondaj işlerinde neden uygulanmadığını anlamak zordur.

New York Times ekonomi köşe yazarı David Leonhardt'ın 2010 yılında yazdığı gibi uzmanlara bel bağlandığındaysa psikolojik faktörler devreye girer: Alan Greenspan ve Ben Bernanke'nin hataları ekonomik olmaktan çok psikolojik faktörlere bağlıydı. Şöyle açıklıyordu: "Konvansiyonel bilgeliğin yankı odasında hapis kaldılar" ve "Challenger uzay mekiğinin mühendislerinin, Vietnam ile Irak Savaşını planlayanların ve trajik kumanda hataları yapan havayolu pilotlarının gösterdikleri zayıflığın aynını gösterdiler. Ken-

di varsayımlarını sorgulamadılar; bu tümüyle insani bir hataydı."[8]

Karmaşık konuları ele almanın tek yolu herkesi dinlemektir, aykırı düşünenleri bile. Ekonominin çökerek bir kara deliğe dönüşeceğini tahmin etme yeteneklerine karşın çıkarcı banka sahipleri uyarıları göz ardı edebilirler. Bilim demokratik değildir, yani hepimiz bir araya gelip doğru yanıt konusunda oylama yapmayız. Ama eğer herhangi birimizin geçerli bir bilimsel düşüncesi varsa, bu eninde sonunda duyulur. İnsanlar genelde öncelikle daha parlak bilim insanlarından gelen sezgi ve keşifleri önemserler. Yine de iyi bir iş yapan tanınmamış biri mutlaka kendine dinleyici bulur.

Yaptığı işin tanınmış bir bilim insanının kulağına gitmesini sağlayan tanınmamış biri, hemen dinlenir. Einstein, bilim vakıflarını anında temelden sarsan kuramını böyle sunabilmişti. Alman fizikçi Max Planck, Einstein'ın görelilik çıkarımlarının ne anlama geldiğini anlamıştı ve rastlantı eseri, zamanın en önemli fizik dergisinin sorumlusuydu.

Bugün, fikirlerin internet üzerinden hızla yayılmasından yararlanıyoruz. Herhangi bir fizikçi bir makale yazabilir ve ertesi gün fizik arşivlerine yollayabilir. Lubos Motl Çek Cumhuriyeti'nde fizik öğrencisiyken Rutgers'te önde gelen bir bilim insanının üzerinde çalıştığı bilimsel bir problemi çözdü. Tom Banks, daha önce adını hiç duymadığı bir kurumdan geliyor olsa bile, iyi fikirlere dikkat ederdi. Herkes bu kadar alıcı değildir. Ama birkaç kişinin dikkatini çeken bir düşünce, eğer iyi ve doğruysa, sonunda mutlaka bilimsel söyleme girecektir.

LHC'deki bilim insanları güvenliğe zaman ve para harcadılar. Olabildiğince ekonomik olmaya çalıştılar; ama tehlike ve yanlışlık pahasına değil. Herkesin çıkarı aynı düzeydeydi. Zamanın sınavını geçemeyen bir sonuç hiç kimseye yarar getirmez.

Bilimsel dünyadaki para, ündür. Altın paraşüt yoktur.

---

[8] Leonhardt, David. "The Fed Missed This Bubble: Will It See a New One?" *New York Times*, January 5, 2010.

TAHMİNDE BULUNMAK

Umuyorum artık kara delikler konusunda endişelenmememiz gerektiği konusunda fikir birliğine varmışızdır; zira endişe duyacak çok şey var. LHC konusuna gelince, burada yapılabilecek güzel şeyleri düşünüyoruz ve düşünmemiz gerekiyor. Burada yaratılan parçacıklar maddenin yapısına ilişkin temel soruların yanıtlanmasına yardımcı olacaktır.

Nate Silver'la yaptığımız konuşmaya kısaca geri dönecek olursak, durumumuzun ne kadar özel olduğunu anladım. Parçacık fiziğinde kendimizi, yeni sonuçları eskilerinin üzerinde geliştirmek üzere metodik yollar kullandığımız, yeterince basit sistemlerle sınırlayabiliriz. Tahminlerimiz kimi zaman var olan kanıtlara dayandığı için doğruluğundan emin olduğumuz modeller üzerinde temellenir. Başka durumlarda var olduğuna inanmamız için nedenler olan modellerle tahminlerde bulunur ve deneylerden yararlanarak olasılık aralığını küçültürüz. Bu durumda bile –bu modellerin doğru olup olmadığını henüz bilmiyor olmamıza karşın– bu fikir eğer dünyada kabul görürse, deneysel kanıtların ne olacağını önceden görebiliriz.

Parçacık fizikçileri ölçeğe göre ayırma yeteneğimizi kullanırlar. Küçük ölçekli etkileşmelerin büyük ölçekte gerçekleşenlerden çok daha farklı olabileceklerini biliriz ama fizikçiler, zaten bildiğimiz şeylerle tutarlılık oluşturarak iyi tanımlanmış bir şekilde büyük ölçekli etkileşmelere girerler.

Tahmin, hemen hemen bütün diğer durumlarda çok farklıdır. Karmaşık sistemlerde sık sık eşanlı ölçek aralıklarını ele alırız. Bu sadece sorumsuz bir tüccarın AIG ve ekonomiyi istikrarsızlaştırabildiği bir banka gibi sosyal örgütlenmeler için değil, diğer bilim dalları için de doğru olabilir. Bu durumda tahminler çok değişkenlik gösterebilir.

Örneğin biyolojinin amaçları arasında biyolojik desenleri ve hatta hayvan ve insan davranışlarını öngörmek de vardır. Ama henüz bütün temel işlevsel birimleri veya temel elemanların karmaşık etkiler yaratabildiği, daha yüksek düzeyli örgütlenmeleri anlayabilmiş değiliz. Etkileşmeleri ölçeklerine göre ayırmayı tehdit eden bütün geri besleme çevrimlerini

de bilmiyoruz. Bilim insanları modeller yapabilir ama temeldeki kritik elemanları veya bunların gözlenen davranışa nasıl katkıda bulunduklarını daha iyi anlamadıkları sürece modelleri yapanlar kördüğüm olmuş veriler ve birbiriyle yarışan olasılıklarla karşı karşıya kalırlar.

Bir başka zorluk da biyolojik modellerin önceden var olan verilerle uyuşmak üzere tasarlanmış olması ve bizim kurallardan henüz haberdar olmamamızdır. Bütün basit ve bağımsız sistemleri tanımıyoruz o yüzden hangi modelin doğru olduğunu –hatta bu modellerden birinin doğru olup olmadığını bile– bilmiyoruz. Sinirbilimci (neuroscientist) arkadaşlarla konuştuğumda onlar da aynı problemi tanımladılar. Niteliksel olarak yeni ölçümler olmaksızın modellerin yapabileceği en iyi şey, var olan verilere uyum sağlamaktır. Varlıklarını sürdüren bütün modeller verilerle uyuşmak zorunda olduklarından, hangi temel hipotezin doğru olduğunu net bir şekilde belirlemek zordur.

Tahmin etmeye çalıştığı şeylerin türleri konusunda Nate'le sohbet etmek ilginçti. Son dönemde yayımlanan pek çok popüler kitapta tutarlı tahminlerde bulunan sağlıksız hipotezler veriliyor. Nate çok daha bilimsel davranıyor. İlk olarak basketbol maçlarının ve seçimlerin sonuçlarını tahmin ederek ünlendi. Analizi, tarihi derslere uygulamayı becerebileceği kadar çok değişkeni göz önüne alarak, geçmişte yaşanan benzer durumların istatistiksel incelenmesine dayanıyor.

Şimdi dikkatlice bu yöntemleri kullanacağı yerleri seçmek zorundadır. Ama odaklandığı etkileşme türlerinin yorumlanmasının ince bir iş olabileceğini anlıyor. Bir uçak kazasına yanan bir motorun neden olduğunu söyleyebilirsiniz ama düşen bir uçakta yanan bir motor olması şaşırtıcı değildir. Gerçekten ilk neden neydi? Mutasyona uğramış bir geni kansere bağladığınızda da aynı konuya gelirsiniz. Onunla ilintili bile olsa mutlaka hastalığın kaynağı demek değildir.

Başka potansiyel güçlüklerin de farkında. Büyük miktarda veriyle bile rastgelelik ve gürültü, alttaki ilginç sinyalleri güçlendirebilir veya örtebilir. O nedenle Nate mali piyasalar

veya deprem ya da iklim üzerine çalışmayacak. Her halükarda ortalama eğilimleri tahmin etse bile kısa vadeli tahminler yapısal olarak belirsiz olacak. Nate şimdi müzik ve filmlerin en iyi nasıl dağıtılabileceği veya NBA süper yıldızlarının değeri gibi kendi yöntemlerinin ışık tutabileceği başka konular üzerinde çalışacak. Ama o, çok az sayıdaki sistemin bu kadar kesin bir biçimde sayısallaştırılabileceğinin farkında.

Yine de Nate bana tahmincilerin bir başka tür öngörüde bulunduklarından söz etti. Bunların çoğu dolaylı tahminlerde bulunuyorlar, yani halkın neyi tahmin etmeye çalıştığını tahmin etmeye çalışıyorlar.

ON İKİNCİ BÖLÜM

ÖLÇME VE BELİRSİZLİK

İstatistik ve olasılığın aşinalığı ve rahatlığı bugünün dünyasındaki pek çok karmaşık konunun yanında bilimsel ölçümlerin değerlendirilmesine de yardımcı olur. Olasılık mantığının erdemlerini, birkaç yıl önce, ertesi gece bir toplantıya katılıp katılmayacağımı soran bir arkadaşımı "bilmiyorum" şeklinde yanıtladığım için düş kırıklığına uğradığında hatırladım. Neyse ki borsa oyuncusuydu ve matematiğe eğilimliydi. O yüzden belirli bir yanıt almak üzere insanı çileden çıkaracak şekilde ısrar etmek yerine olasılıkları söylememi istedi. Bu soruyu ele almanın çok basit olduğunu şaşırarak fark ettim. Her ne kadar ona verdiğim olasılık tahmini sadece kaba bir tahmin de olsa, benim çelişen düşüncelerimi ve belirsizlikleri, kesin bir evet veya hayırdan daha iyi yansıtıyordu. Sonuçta bunun daha dürüst bir yanıt olduğunu hissettim.

O günden beri bu olasılıksal yaklaşımı bir soruyu yanıtlayamayacaklarını düşünen arkadaşlarımın üzerinde deniyorum. Bilim insanı olsun olmasın, çoğu insanın olasılıksal yanıtlar verirken kendilerini çok daha rahat hissettikleri yolunda güçlü ama kesin olmayan bir fikirleri olduğunu gördüm. Bir kimse üç hafta sonraki Perşembe günü beysbol maçına gitmek isteyip istemeyeceğini bilmeyebilir. Ama eğer beysbolu sevdiğini biliyorsa ve yakında bir iş gezisi olduğunu düşünmüyorsa, iş günü olduğundan yine de tereddüt eder ve kesin evet yanıtını veremese bile yüzde seksen tamam der. Yalnızca bir tahmin de olsa bu olasılık onun gerçek beklentisini daha kesin bir biçimde yansıtır.

Bilim ve bilim insanlarının nasıl çalıştığı konusunda yaptığımız konuşmada senaryo yazarı ve yönetmen Mark Vicente

bilim insanlarının, başka insanlardan çoğunun kurdukları türden tamamıyla niteliksiz cümleler kurmakta tereddüt ettiklerini görerek şaşırmıştı. Bilim insanları mutlaka ifade gücü en yüksek insanlar değildirler ama en azından kendi uzmanlık alanları üzerinde konuşurken neyi bilmediklerini ve bildiklerini veya anladıklarını kesin bir şekilde belirtmeyi amaçlarlar. Neredeyse hiçbir zaman sadece evet ya da hayır demezler çünkü böyle bir yanıt olasılıkların tam bir aralığını kesin bir biçimde yansıtmaz. Bunun yerine olasılıklar cinsinden ve nitelikli cümleler kurarak konuşurlar. Şu işe bakın ki bu dil farkı sık sık halkın, bilim insanlarının söylediklerini yanlış yorumlamalarına neden oluyor. Bilim insanlarının amaçladığı daha fazla kesinliğe karşın, uzman olmayanlar onların söylediklerini nasıl tartacaklarını bilmiyorlar, çünkü bilim insanı olmayan ama elinde tezini destekleyecek, aynı miktarda malzemesi olan biri, çok daha kesin bir şey söylemekte tereddüt etmez. Ama bilim insanının yüzde 100 emin olmaması bilgi eksikliğini yansıtmaz. Bu sadece şimdi inceleyeceğimiz, herhangi bir ölçümde yapısal olarak bulunan belirsizliklerin sonucudur. Olasılıksal düşünüş veri ve gerçeklerin anlamlarını açıklığa kavuşturur ve daha bilgiye dayalı kararlar alınmasını sağlar. Bu bölümde ölçümlerin bize ne söylediğine kafa yoracak ve olasılıksal ifadelerin verilen bir anda bilimsel olsun, olmasın bilginin durumunu neden daha iyi yansıttığını keşfedeceğiz.

BİLİMSEL BELİRSİZLİK

Harvard son zamanlarda liberal eğitimin temel elemanlarını denemek ve belirlemek için müfredatla ilgili bir değerlendirmeyi tamamladı. Öğretim kadrosunun bilimsel gerekliliğin parçası olarak ele aldığı ve tartıştığı kategorilerden biri "ampirik düşünce"ydi. Öğretim önerisinde üniversitenin amacının "ampirik verilerin nasıl toplanıp değerlendirileceğini öğretmek, kanıtları tartmak, olasılık tahminlerini anlamak, uygun olduğunda verilerden sonuçlar çıkarmak [en azından] ve var olan kanıtlar çerçevesinde bir konu üzerinde uzlaşılamayacağı zaman bunu fark etmek" olması gerektiği ileri sürüldü.

Öğretim gereksinmesinin önerilen üslubu –sonradan açıklığa kavuştu– iyi niyetliydi ama ölçümlerin nasıl işlediği konusunda temel bir yanlış anlayışı gizliyordu. Bilim genelde belli bir derece olasılık içeren konuları çözümler. Elbette belirli bir fikir veya bir gözlem üzerinde yüksek bir güven elde edebilir ve sağlam kararlar vermek için bilimden yararlanabiliriz. Ama herhangi biri çok ender olarak bir konuyu –bilimsel ya da değil– kanıt temelinde çözümler. Nedensel ilişkilere güvenebilecek ve hatta inanılmaz kesinlikte tahminlerde bulunacak kadar veri toplayabiliriz ama genel olarak bunu sadece olasılıksal olarak yapabiliriz. Birinci Bölümde tartışıldığı gibi, belirsizlik –ne kadar küçük olursa olsun– geride keşfedilecek, ilginç ve yeni olguların potansiyel varlığına olanak verir. Bir şeyin yüzde 100 kesin olması enderdir ve hiçbir kuram ya da hipotezin henüz testlerin bile yapılmadığı koşullarda uygulanma garantisi yoktur.

Olgular yalnızca sınanabilecekleri bir geçerlilik aralığında belirli bir kesinlik derecesiyle gösterilebilirler. Ölçümlerin her zaman olasılıksal bileşenleri vardır. Pek çok bilimsel ölçüm yeterince kesin ve hassas ölçümlerle ortaya çıkarabileceğimiz, temel bir gerçekliğin olduğu varsayımına dayanır. Ölçümleri bu temel gerçekliği elimizden geldiğince (veya amaçlarımız için gerekli olduğu kadarını) bulmak için kullanırız. O zaman bu, bir ölçümler grubuna merkezlenmiş bir aralığın, yüzde 95 olasılıkla gerçek değeri barındırdığı gibi bir ifadeyi olanaklı kılar. Bu durumda, konuşma diliyle yüzde 95 oranında emin olduğumuzu söyleriz. Böyle olasılıklar bize belirli herhangi bir ölçümün ve bütün olasılıklar ve çıkarımların güvenilirliğini anlatır. Bir ölçümü, onunla bağlantılı belirsizlikleri bilmeden ve değerlendirmeden tam olarak anlayamazsınız.

Belirsizliğin bir kaynağı sonsuz hassaslıkta ölçüm aletlerinin olmamasıdır. Bu kadar kesin bir ölçüm sonsuz sayıda ondalık değeri olacak şekilde kalibre edilmiş bir alet gerektirir. Ölçülen değer, virgülden sonra dikkatle ölçülmüş sonsuz basamak içeren bir sayı olacaktır. Deneyciler böyle ölçümler yapamazlar, yalnızca aletlerini zamanın teknoloji-

siyle olabildiğince hassas kalibre ederler. Dört yüz yıl önce Tycho Brahe ustalıkla böyle yapmıştı. Giderek ilerleyen teknoloji sayesinde ölçüm aletleri daha duyarlı hale geldi. Bu durumda bile ölçümler, zamanla ortaya çıkan pek çok ilerlemeye karşın, hiçbir zaman sonsuz hassaslık ve kesinliğe ulaşamayacaktır. Ölçüm aletinin karakteristiği olan bazı *sistematik belirsizlikler* [1] her zaman olacaktır.

Belirsizlik bilim insanlarının bütün seçenekleri ya da ifadeleri eşit gibi ele aldığı anlamına gelmez (her ne kadar basın ve medyada bu yanlış sıkça yapılıyor olsa da). Olasılıklar çok ender olarak yüzde 50 olur. Bunlar, bilim insanlarının (ya da tam kesinliği amaçlayan herhangi biri), bu olasılıklar çok yüksek olsa bile, neyin ölçülmüş olduğu ve bunun olasılıksal anlamda ne söylediğini ifade edecekleri anlamına gelir.

Bilim insanları ve sözcük ustaları çok dikkatli davrandıklarında ***hassaslık*** (*precision*) ve ***kesinlik*** (*accuracy*) sözcüklerini farklı anlamlarda kullanırlar. Bir alet, tek bir büyüklüğün ölçümünü tekrar tekrar yaptığınızda okunan değerler birbirinden çok farklı olmuyorsa ***hassastır*** denir. Hassaslık, değişkenlik derecesinin bir ölçümüdür. Eğer tekrarlanan bir ölçümün sonucu çok fazla değişmiyorsa, bu ölçümler hassastır. Daha hassas ölçülen değerler daha küçük bir aralıkta olacaklarından, eğer ölçümleri tekrarlarsanız ortalama değer çok daha hızlı yakınsayacaktır.

Öte yandan ***kesinlik*** size ortalama ölçümünüzün doğru sonuca ne kadar yakın olduğunu bildirir. Bir başka deyişle ölçüm aletinde bir *sapma* (*taraflılık*) olup olmadığını söyler. Teknik anlamda, ölçüm aletinizdeki yapısal bir hata onun hassaslığını azaltmaz –her seferinde aynı hatayı yaparsınız– ama elbette kesinliğinizi azaltır. ***Sistematik belirsizlik*** ölçüm aletlerinin kendilerinde yapısal olarak bulunan ve giderilemeyen hassaslık yokluğuna işaret eder.

Yine de pek çok durumda, mükemmel bir ölçüm aleti yapabilmiş olsanız bile, doğru sonuca ulaşmak için pek çok

[1] Bu kitapta ben, daha yaygın olarak kullanılan "sistematik hata" yerine "sistematik belirsizik" tanımını kullandım. Belirsizlik, belirli bir aletin kaçınılmaz hatalı ölçümleri ile bağlantılı iken, hatalar çoğunlukla kusurlardan kaynaklanır.

ölçüm yapmanız gerekecektir. Bunun nedeni, belirsizliğin[2] öbür kaynağının *istatistiksel* olmasıdır ki bunun anlamı, güvenilir bir sonuç elde etmek için ölçümlerin genellikle birçok kez tekrarlanmasının gerekli olduğudur. Yüksek kesinliğe sahip olan bir alet bile belirli bir ölçümün sonucunu mutlaka doğru olarak vermez. Ama ortalama değer, doğru sonuca doğru yaklaşacaktır. İstatistiksel belirsizlik bir ölçümün hassaslığını etkilerken sistematik belirsizlikler kesinliği kontrol eder. İyi bilimsel çalışmalarda her ikisi de göz önüne alınır ve ölçümler uygun olabildiği kadar geniş bir örneklem grubundan büyük bir dikkatle alınır. İdeali ölçümlerinizin hem hassas hem de kesin olmasını istersiniz. Böylece beklenen mutlak hata küçük olur ve ölçümlerinize güvenebilirsiniz. Bu da ölçümlerin olabildiğince küçük bir aralıkta olmasını (hassaslık) ve doğru değere yaklaşmasını isteyeceğiniz anlamına gelir.

Bu kavramları ele alabileceğimiz bilindik (ve önemli) bir örnek, ilaç yararlılık testleridir. Doktorlar genelde bununla ilgili istatistikleri söylemezler, belki de bilmezler bile. Size "bu ilaç kimi zaman yararlı, kimi zaman ise yararsızdır" denirse düş kırıklığına uğramaz mısınız? Bu ilacın hangi sıklıkta işe yaradığı ya da ilacın üzerinde denendiği insanların size hangi ölçüde benzediği konularında bilgi vermeyen bu ifadede yararlı bir bilgi gizlenmiş ve bastırılmış olur. Bu da ne yapılacağına karar verilmesini çok zorlaştırır. Bu ilacın ya da tedavinin sizin yaş grubunuzda ve benzer sağlık durumunda olan hasta grubu üzerinde hangi sıklıkta işe yaradığını bildiren bir ifade çok daha yararlı olurdu. Doktorların kendilerinin de istatistikleri anlamadıkları durumlarda bile hemen hemen her zaman biraz bilgi verebilirler.

Dürüst olmak gerekirse, ilaçlara farklı tepkiler veren, farklı bireylerden oluşan grubun *heterojen* olması, bir ilacın nasıl etki yapacağının belirlenmesini karmaşık bir soru haline getirir. O yüzden, önce tek bir birey üzerinde deney yapabileceğimiz, daha basit bir durumu ele alalım. Örnek

[2] İnsanlar istatistiksel hata kavramını yaygın olarak sınırlı istatistikten kaynaklanan belirsiz ölçüm anlamında kullanırlar.

olarak aspirinin baş ağrınızı geçirip geçirmediğinin denenmesi sürecine bakalım.

Bunu anlamanın yolu oldukça basit gibi görünüyor: bir aspirin alın ve işe yarayıp yaramadığını görün. Ama durum bundan biraz daha karışıktır. Kendinizi daha iyi hissediyor olsanız bile, bunun aspirinden kaynaklandığını nasıl bilebilirsiniz? Gerçekten işe yarayıp yaramadığından emin olmak için –yani baş ağrınızın ilacı almadığınız zamana göre daha hızlı hafiflediğini ya da ortadan kalkıp kalkmadığını söyleyebilmek için– kendinizi ilaç almadan ya da aldıktan sonra nasıl hissettiğinizi karşılaştırabiliyor olmanız gerekir. Ama aspirini ya aldığınız ya da almadığınız için, tek bir ölçüm istediğiniz sonuca ulaşmak için yeterli olmaz.

Bunu anlamanın yolu bu testi tekrar tekrar yapmaktır. Başınız her ağrıdığında aspirin almaya ya da almamaya karar vermek için yazı-tura atın ve sonucu kaydedin. Bunu birçok kez yaptıktan sonra farklı tür baş ağrıları ve bu ağrılar sırasında içinde bulunduğunuz farklı koşullar üzerinden ortalama alabilir (belki de uykulu olmadığınızda daha çabuk geçiyordur) ve doğru sonuca ulaşmak için bu istatistiğinizi kullanabilirsiniz. Karar vermek için yazı-tura attığınızdan ve kullandığınız örneklem grubu yalnızca kendiniz olduğunuzdan, büyük olasılıkla ölçümünüzde sapma (taraflılık) yoktur, bu nedenle kendinize yeterince test uyguladığınızda bulacağınız sonuçlar doğru değere hızla yaklaşır.

İlaçların işe yarayıp yaramadığını her zaman bu kadar basit bir süreçle öğrenebilsek, iyi olurdu. Ama ilaçların çoğu baş ağrısından daha ciddi hastalıkların –kimi zaman ölüme bile yol açabilen hastalıklar– tedavisinde kullanılıyor. Ve birçok ilacın uzun dönemli etkileri olduğundan, isteseniz bile tek bir birey üzerinde kısa sürede tekrarlanan denemeler yapamazsınız.

O yüzden biyologlar ve doktorlar bir ilacın ne kadar etkili olduğunu araştırırken, en azından bilimsel amaçlarla öyle yapmayı tercih etseler bile, tek bir kişi üzerinde çalışmazlar. Yani insanların aynı ilaca farklı tepkiler vereceği gerçeğiyle uğraşmak zorundadırlar. Bir ilaç hastalığı aynı derecede

ilerlemiş olan insanlar üzerinde denense bile bir dizi farklı sonuç verebilir. Bu nedenle çoğu durumda bilim insanlarının yapabileceği en iyi şey, o ilacı verip vermeme kararı almaya çalıştıkları bireye olabildiğince benzeyen bir grup üzerinde bir çalışma tasarlamaktır. Ama gerçeklikte doktorlar bu çalışmaları kendileri tasarlamadıklarından kendi hastalarına benzerliği garanti etmeleri zordur.

Doktorlar bunun yerine, hiç kimsenin dikkatle tasarlanmış denemeler yapmadığı, örneğin Sağlıklı Kalma Örgütü (Health Maintenance Organization, HMO) üyeleri gibi var olan bir grubun gözlenmesine dayanan, önceden var olan çalışmaları kullanmaya çalışabilirler. Bu durumda da doğru yorum yapma zorluğuyla karşılaşırlar. Böyle çalışmalarda yapılan ölçümün yalnızca ilişkili olmak veya yalnızca bağlılaşım (korelasyon) göstermek yerine nedensellik gösterdiğinden emin olmak zor olabilir. Örneğin, bir kimse parmaklarda sararmanın akciğer kanserine neden olduğu sonucuna varabilir çünkü akciğer kanseri hastalarının çoğunun parmaklarının sarı olduğu görülmüştür.

Bilim insanlarının tedavi ve doz alımlarının rastgele seçildiği çalışmaları tercih etmelerinin nedeni budur. Örneğin insanların bir ilacı yazı-tura atarak aldığı bir çalışmanın örneklem grubuna bağlılığı daha az olacaktır çünkü bir hastanın ilaç alıp almaması sadece yazı-tura atışının rastgele sonucuna bağlıdır. Benzer biçimde, rastgele hale getirilmiş bir çalışma, ilke olarak sigara içme, akciğer kanseri ve sararmış parmaklar arasındaki ilişki konusunda öğretici olabilir. Eğer bir grubun üyelerini sigara içen ve sigarayı bırakmış olmak üzere rastgele ayırırsanız, sigara içmenin gözlediğiniz hastalarda en azından hem sararmış parmaklardan hem de akciğer kanserinden sorumlu bir faktör olduğu sonucuna varabilirdiniz, bunlardan biri diğerinin nedeni olsun veya olmasın. Elbette bu tür bir çalışma etik kurallarına uymaz.

Bilim insanları, üzerinde çalışmak istedikleri özel olguları yalıtabilmek için, sistemlerini olabildiğince basitleştirmek isterler. İyi tanımlı bir örneklem grubu ve uygun bir kontrol grubu seçimi, sonucun hem hassaslığı hem de

kesinliği açısından çok önemlidir. Bir ilacın insan biyolojisi üzerindeki etkileri kadar karmaşık bir şeyde, pek çok faktör aynı anda işe karışır. Bu durumda anlamlı soru, sonuçların ne kadar güvenilir olması gerektiğidir.

ÖLÇÜMLERİN AMACI

Ölçümler hiçbir zaman mükemmel değildir. Bilimsel araştırmada –herhangi bir kararda da olduğu gibi– belirsizliğin kabul edilebilir düzeyini belirlemek zorundayız. Bu, ilerlememize olanak verir. Örneğin eğer yapışkan baş ağrınızı azaltacağını umduğunuz bir ilaç alıyorsanız, genel olarak başkalarının üzerinde yüzde 75 oranında yararlı olması sizi tatmin edebilir (yan etkilerinin az olması koşuluyla). Öte yandan eğer beslenme rejiminizdeki bir değişiklik, zaten düşük olan kalp krizi geçirme olasılığınızı örneğin yüzde 5'ten yüzde 4,9'a düşürecekse (yüzde 2 azalma) bu en sevdiğiniz kremalı pastadan vazgeçmeniz konusunda yeterince ikna edici olmayabilir.

Kamu politikası için karar verme noktaları çok daha belirsiz olabilir. Kamuoyu, sınırlamalar koymadan ya da yasaları değiştirmeden önce bir şeyi ne kadar kesin bilmemiz gerektiği konusunda insanların hemfikir olmadığı, gri bir bölgeyi de içerir. Birçok faktör gerekli hesapları daha karmaşık hale getirir. Bir önceki bölümde tartışıldığı gibi, amaçlardaki ve yöntemlerdeki muğlaklık maliyet-fayda analizlerini olanaksız hale getirmese de, güvenilir bir şekilde uygulanamayacak ölçüde zorlaştırır.

New York Times köşe yazarı Nicholas Kristof'un yiyecek ve ambalajlardaki potansiyel olarak tehlikeli olan kimyasallar (BPA) konusuyla ilgili olarak yazdığı gibi, "BPA araştırmaları on yıllar boyunca alarm zillerini çalınmasına neden oldu ama kanıtlar hâlâ karmaşık ve tartışmaya açık. Hayat böyledir: gerçek dünyada düzenleyici kararların genellikle kuşkulu ve çelişkili veriler kullanılarak alınması gerekir."[3]

[3] Kristof, Nicholas. "New Alarm Bells About Chemicals and Cancer," *New York Times*, May 6, 2010.

Bunlardan hiçbiri politikaları incelerken maliyet ve fayda konularında sayısal değerlendirme yapmayı amaçlamamalıyız anlamına gelmez. İncelemelerin ne anlama geldiği, varsayımlar ve hedeflere göre ne kadar değişikliğe uğrayabilecekleri ve hesaplamaların göz önüne alınıp alınmadığı konularında açık olmamız gerektiği anlamına gelir. Maliyet-fayda analizleri yararlı olabilir ama aynı zamanda toplumda yanlış yönlendirilmiş uygulamalara zemin hazırlayan, sahte bir somutluk, kesinlik ve güven duygusu verebilir.

Neyse ki fizikçiler için sorduğumuz sorular, kamu politikaları için sorulanlardan genelde çok daha basittir, en azından formüle edilmeleri daha kolaydır. Uygulamalarla ilgilenmeden yalnızca saf bilgiyle uğraşıyorsak, farklı türde soruşturmalar yaparız. Temel parçacıklarla ilgili ölçümler, en azından ilke olarak çok daha basittir. Bütün elektronlar yapısal olarak aynıdır. İstatistiksel ve sistematik hatalardan kaygı duyabilirsiniz ama ana kitlenin heterojenliğinden değil. Bir elektronun davranışı diğer hepsini temsil eder. Ama aynı istatistiksel ve sistematik hata kavramları geçerlidir ve bilim insanları bunları uygun yollarla azaltmaya çalışırlar. Bununla birlikte bunu yapmak için katettikleri yollar, yanıtını bulmak istedikleri sorulara bağlıdır.

Yine de "basit" fizik sistemlerinde bile, ölçümlerin hiçbir zaman mükemmel olamayacağı bilindiğinden, hedeflenmesi gereken kesinliğe karar vermek zorundayız. Pratik düzeyde bu soru bir deneycinin bir ölçümü kaç kez tekrarlaması gerektiğini ve ölçüm aletinin ne kadar hassas olmasına ihtiyacı olduğunu sormaya eşdeğerdir. Yanıt ona kalmıştır. Kabul edilebilir belirsizlik düzeyi sorduğu soruya bağlıdır. Farklı hedefler, farklı hassaslık ve kesinlik dereceleri gerektirirler.

Örneğin atom saatleri zamanı 10 trilyonda 1 kararlılıkla ölçerler, ama çok az ölçüm bu kadar hassaslık gerektirir. Einstein'ın kütleçekim kuramının testleri istisnadır, bunlar olabildiğince yüksek hassaslık ve kesinlik gerektirirler. Şimdiye kadar yapılan bütün testler bu kuramın doğru olduğunu gösteriyor olsa bile, ölçümler gelişmeye devam ediyor. Daha yüksek hassaslıkla henüz görülmeyen, yeni fiziksel

etkileri temsil eden sapmalar ortaya çıkabilir ki bunların daha önceki, daha az hassas ölçümlerle görülmesi olanaksızdır. Eğer durum buysa, bu sapmalar bize yeni fiziksel olgulara ilişkin önemli kavrayışlar sağlayacaktır. Eğer değilse, Einstein'ın kuramının daha önce kanıtlanmış olduğundan daha da kesin olduğuna güveniriz. Bu kuramı güvenle daha büyük bir enerji ve uzaklık aralığında ve daha büyük bir kesinlikle uygulayabileceğimizi biliriz. Öte yandan eğer aya bir insan göndereceksiniz, roketi doğru yönlendirebilmek için fizik yasalarını yeterince iyi bilmek istersiniz ama işin içine genel göreliliği ve olası sapmaları temsil eden daha küçük potansiyel etkileri katmanız gerekmez.

PARÇACIK FİZİĞİNDE KESİNLİK

Parçacık fiziğinde, maddenin tespit edebildiğimiz en küçük ve en temel bileşenlerini yöneten belli başlı kuralları araştırırız. Tek bir deney bir anda olup biten birçok çarpışmanın veya tekrar tekrar etkileşen parçacıkların ayrıntılarını ölçmez. Tüm tahminlerimiz belirli bir enerjide çarpışan, bilindik parçacıkların çarpışmalarına uygulanır. Parçacıklar çarpışma noktasına girer, etkileşir ve genelde etkileşim süresince enerji depolayarak dedektörlerin içinden geçerler. Fizikçiler parçacık çarpışmalarını, çıkan parçacıkların kütle, enerji ve elektrik yükü gibi ayırıcı özellikleriyle karakterize ederler.

Bu anlamda, deneylerimizin teknik zorluklarına karşın, parçacık fizikçileri şanslıdır. Biz temel bileşen ve yasaları soyutlayabileceğimiz, olabildiğince basit sistemleri inceleriz. Burada düşünce, deneysel sistemleri kaynaklar elverdiğince temiz hale getirmektir. Fizikçiler için esas zorluk karmaşık sistemleri çözmekten çok, gerekli fiziksel parametrelere ulaşmaktır. Deneyler zordur çünkü bilim, ilginç olmak için bilginin sınırlarını zorlamak, ötelemek zorundadır. Bu yüzden deneyler sık sık enerjilerin ve uzaklıkların, teknolojinin erişebildiği dış sınırlarında gerçekleşir.

Doğrusunu isterseniz, parçacık fiziği deneyleri, kesin, temel büyüklükleri incelerken bile o kadar basit değildir.

Sonuçlarını sunan deneyciler birkaç zorlukla karşılaşırlar. Eğer egzotik bir şey görürlerse, bunun sıradan Standart Model olaylarının ara sıra yeni bir parçacık ya da olaya benzeyen bir sonucu olamayacağını kanıtlayabilmelidirler. Öte yandan, eğer yeni bir şey görmezlerse, bilinen Standart Model etkilerinin ötesinde ne olabileceği üzerine daha bağlayıcı, yeni bir sınır koyabilmek için deneyin kesinlik düzeyinden emin olmaları gerekir. Neyi saf dışı bırakabileceklerini bilmek için, ölçüm aletinin hassaslığını çok iyi anlamalıdır.

Buldukları sonuçlardan emin olmak için deneyciler yeni fizik sinyali veren olayları Standart Modelin bilinen fiziksel parçacıklarından kaynaklanan *ardalan* olaylarından ayırt edebilmelidirler. Yeni keşiflerde bulunabilmek için birçok çarpışmaya ihtiyaç duymamızın nedenlerinden biri budur. Birçok çarpışmanın varlığı, yeni fiziği temsil eden olayları, benzeyebilecekleri "sıkıcı" Standart Model süreçlerinden ayırt etmek üzere yeterince olay olmasını garantiler.

Deneyciler bu nedenle yeterli istatistiğe gerek duyarlar. Ölçümlerin kendileri, tekrarlanmalarını gerekli kılan bazı yapısal belirsizliklere sahiptir. Kuantum mekaniği bize, alttaki olaylarda da durumun böyle olduğunu söyler. Kuantum mekaniği, teknolojimizi ne kadar zekice tasarlarsak tasarlayalım, yalnızca etkileşmelerin ortaya çıkma olasılıklarını hesaplayabileceğimizi ifade eder. Ölçümü nasıl yaparsak yapalım bu belirsizlik vardır. Bu, bir etkileşmenin kuvvetliliğini kesin bir şekilde ölçmenin tek yolunun, o ölçümü defalarca tekrar etmek olduğu anlamına gelir. Kimi zaman bu belirsizlik ölçme belirsizliğinden daha küçük olup sorun yapmaya değmez. Ama bazen de hesaba katmak zorunda kalırız.

Örneğin kuantum mekaniksel belirsizlik bize, bozunan bir parçacığın kütlesinin yapısal olarak belirsiz bir büyüklük olduğunu ifade eder. İlke bize, ölçüm sonlu zaman aldığından, hiçbir enerji ölçümünün tam olma olasılığının bulunmadığını bildirir. Ölçüm zamanı mutlaka bozunan parçacığın yaşam süresinden kısa olacaktır, bu ise ölçülen kütlelerdeki beklenen değişim miktarını belirler. O nedenle eğer deneyciler, bozunduğu parçacıkları saptayarak yeni bir

parçacığın kanıtını bulacaklarsa, kütlesinin ölçümü, bu ölçümün defalarca tekrarlanmasını gerektirecektir. Hiçbir tek ölçüm tam olmasa bile, ölçümlerin ortalaması yine de doğru değere yaklaşacaktır.

Pek çok durumda kuantum mekaniksel kütle belirsizliği ölçme aletlerinin sistematik belirsizliklerinden (yapısal hata) daha küçüktür. Bu doğru olduğunda deneyciler kütledeki kuantum mekaniksel belirsizliği göz ardı edebilirler. Bu durumda bile etkileşmelerin olasılıksal doğası nedeniyle ölçümün hassaslığını garanti altına almak için çok sayıda ölçüm yapılması gerekir. İlaç testi konusunda olduğu gibi büyük istatistik doğru sonucu bulmamıza yardımcı olur.

Kuantum mekaniğiyle bağlantılı olasılıkların tam olarak rasgele olmadığını anlamak önemlidir. Olasılıklar iyi tanımlanmış yasalar kullanılarak hesaplanabilirler. Bunu, *W* bozon kütlesini inceleyeceğimiz On Dördüncü Bölümde göreceğiz. Verilen bir kütle ve verilen bir yaşam süresi olan bu parçacığın bir çarpışmadan çıkma olasılığını tanımlayan eğrinin genel şeklini biliyoruz. Her enerji ölçümü doğru değere merkezlenmiştir ve dağılım hem yaşam süresi hem de belirsizlik ilkesiyle tutarlıdır. Kütleyi belirlemede tek bir ölçüm yeterli olmasa da, birçok ölçüm yeterli olur. Belirli bir süreç bize, bu tekrarlanan ölçümlerin ortalama değerinden kütlenin nasıl çıkarılacağını belirtir. Yeterince çok ölçüm, deneycilerin doğru kütleyi belirli hassaslık ve kesinlik düzeyleri içinde belirlemelerini garantiler.

ÖLÇÜMLER VE LHC

Ne bilimsel sonuçları sunmak üzere olasılığın kullanılması ne de kuantum mekaniğinde yapısal olarak bulunan olasılıklar hiçbir şey bilmediğimizi ima eder. Gerçekten de genellikle bunun tersi doğrudur. Çok şey biliyoruz. Örneğin *elektronun manyetik momenti*, elektronun, kuantum mekaniği ile özel göreliliği birleştiren ve temel parçacıkların fiziksel özelliklerini incelemenin yöntemi olan *kuantum alan kuramıyla* kesin bir biçimde hesaplayabildiğimiz, yapısal bir özelliğidir. Harvard'dan arkadaşım olan Gerard Gabrielse elektronun

manyetik momentini virgülden sonra 13. basamak hassaslığı ve kesinliğinde ölçmüş ve hesaplanan değerle hemen hemen bu düzeyde yakın olduğunu bulmuştur. Belirsizlik trilyonda birden daha düşük bir düzeydedir ve bu da elektronun manyetik momentini, doğanın kuramsal hesap ve deneysel sonucun uyumu açısından en uyumlu sabitlerinden biri yapar.

Fiziğin dışında hiç kimse dünya hakkında bu kadar kesin bir hesap yapamaz. Ama böyle bir sayıyla pek çok kimse bu kuramı ve öngördüğü olguları kesinlikle bildiğini söyler. Bilim insanları, herkesten çok daha kesin ifadelerde bulunabileceklerken yine de henüz gözlenemeyen olgulara ve yeni fikirlere yer bırakırlar.

Gelgelelim onlar, bu yeni olayların boyutları konusunda da kesin sınırlar koyabilirler. Yeni hipotezler hesapları değiştirebilirse de bunun düzeyi sadece var olan ölçüm belirsizliği ya da daha aşağıda olabilir. Kimi zaman tahmin edilen yeni etkiler o kadar küçük olabilir ki, evrenin yaşam süresi içinde bu etkilerle karşılaşma şansımız hiç olmayabilir. Bu durumda bilim insanları bile "bu hiçbir zaman olmaz" diyebilirler.

Gabrielse'nin ölçümleri kuantum alan kuramının çok büyük bir hassaslık derecesinde doğru olduğunu açıkça gösteriyor. Bu durumda bile kesinlikle var olanların sadece kuantum alan kuramı veya parçacık fiziği veya Standart Model olduğunu söyleyemeyiz. Birinci Bölümde açıklandığı gibi, gördüklerimizin altında etkileri sadece farklı enerji ölçeklerinde veya çok daha hassas ölçümler yaptığımızda ortaya çıkan yeni olgular olabilir. Bu enerji ve uzaklık rejimlerini henüz mercek altına almadığımız için henüz bunu bilmiyoruz.

LHC deneyleri daha önceleri incelediğimizden daha yüksek enerjilerde gerçekleşiyor ve bu yüzden sadece çok hassas ölçümlerle tanımlanabilen dolaylı etkiler aracılığıyla değil, deneylerde doğrudan aranan yeni parçacıklar ve etkileşmeler şeklinde yeni ufuklar açıyor. Her olasılıkta, LHC'deki ölçümler kuantum alan kuramından sapmaları görmeye yetecek kadar yüksek enerjilere ulaşamayacaktır. Ama bunlar, Standart Modelin şu andaki hassaslık düzeyindeki ölçüm-

lerden sapmalarını –elektronun çok iyi ölçülmüş manyetik momentinde bile– büyük olasılıkla ortaya çıkarabilir.

Standart Modelin ötesindeki belirli herhangi bir fizik modelinde tahmin edilen küçük uyumsuzluklar –ki henüz bilinmeyen bir kuramın iç işleyişleri gözle görülür fark yaratır– gerçekliğin temel doğası hakkında büyük bir ipucu olacaktır. Şimdiye kadar böylesi uyumsuzlukların yokluğu, yeni potansiyel olguların kesin doğasını bilmesek bile, bize yeni bir şey bulmak için kesinlik düzeyini veya enerjinin ne kadar yüksek olması gerektiğini ifade eder.

Açılış bölümünde değinildiği gibi etkin kuramlardan alınacak gerçek ders, incelediğimiz şey ve onun sınırlarını ancak başarısız olduğu noktada tam olarak anlayabileceğimizdir. Var olan kısıtları kapsayan etkin kuramlar sadece düşüncelerimizi verilen bir ölçekte sınıflandırmakla kalmaz, aynı zamanda belirli herhangi bir enerjideki yeni etkilerin ne kadar büyük olabileceğini belirlemek için sistematik yöntemler sağlar.

Elektromanyetik ve zayıf kuvvetlere ilişkin ölçümler Standart Model hesaplarıyla yüzde 0,1 düzeyinde uyuşur. Parçacık çarpışma hızları, kütleleri, bozunma hızları ve diğer özellikler hesaplanan değerleriyle bu düzeyde bir hassaslık ve kesinlikle uyuşur. Bu nedenle Standart Model yeni keşiflere yer bırakır ve yeni fizik kuramları sapmalara neden olabilir ama bunlar şimdiye kadar saptanamamış olduklarına göre çok küçük olmalılar. Yeni herhangi bir olgunun ya da temel kuramın etkileri, ya etkileşimlerin kendileri küçük olduğundan ya da bu etkiler şimdiye kadar erişilen enerjilerde üretilemeyecek kadar büyük kütleli parçacıklarla ilişkili olduklarından, şimdiye kadar gözlenemeyecek ölçüde küçük olmuş olmalı. Var olan ölçümler bize, ölçümlerde şu andaki belirsizliklerin izin verdiğinden daha büyük sapmalara neden olmayan, yeni parçacıklar ya da yeni kuvvetler bulmak için gereken enerjinin ne kadar yüksek olduğunu ifade eder. Bu ölçümler aynı zamanda böylesi yeni olguların ne kadar ender olması gerektiğini de bildirir. Ölçüm hassaslığını yeterince artırmak ya da deneyi farklı fiziksel koşullarda tek-

rarlamak yoluyla deneyciler, şimdiye kadar bütün deneysel parçacık fiziği sonuçlarını tanımlayan bir modelden sapmaları ararlar.

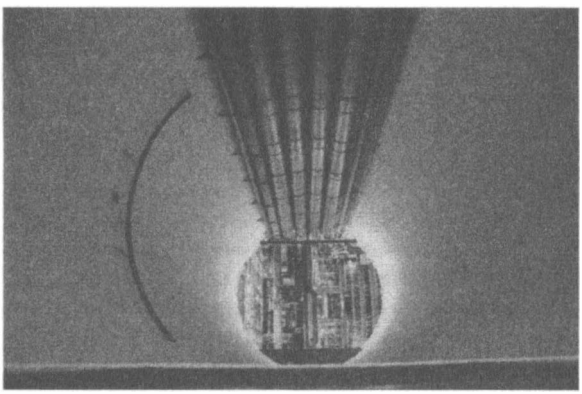
Şu anda yapılan deneyler, yeni fikirlerin düşük enerjilere uygulanan başarılı etkin kuramlar üzerine inşa edileceği anlayışına dayanır. Hedefleri, fiziğin bilgiyi ölçek ölçek inşa ettiğini akıldan çıkarmadan yeni madde ve etkileşmeler bulmaktır. LHC'de daha yüksek enerjide ortaya çıkan olguları gözlemek yoluyla şimdiye kadar gördüğümüz her şeyin temeli olan yeni bir kuram bulmayı ve onu tam olarak anlamayı umuyoruz. Yeni olguları ölçmeden önce bile, LHC'de elde edilen veriler bize Standart Modelin ötesinde hangi olgu ve kuramların var olabileceği konusunda değerli ve bağlayıcı kısıtlar sunacaktır. Ve eğer kuramsal düşüncelerimiz doğruysa, LHC'de şimdi çalışılan yüksek enerjilerde sonunda yeni olgular ortaya çıkmalıdır. Böyle keşifler bizi Standart Modeli daha tam bir formülasyona kavuşturmaya zorlayacaktır. Daha kapsamlı model daha büyük bir ölçekler aralığına daha büyük bir kesinlikle uygulanacaktır.

Doğada hangi kuramın gerçekleşeceğini bilmiyoruz. Ne zaman yeni keşifler yapacağımızı da bilmiyoruz. Yanıtlar ileride bizi neyin beklediğine bağlı ve henüz neye bakmamız ya da neye bakmamamız gerektiğini de bilmiyoruz. Ama neyin var olduğu konusunda yapılacak belirli herhangi bir spekülasyon için deneysel sonuçları nasıl keşfedebileceğimizin ve neyin ortaya çıkacağını nasıl tahmin edebileceğimizin hesabını yapmayı biliyoruz. Gelecek birkaç bölümde LHC deneylerinin nasıl çalıştığına bakacak, önümüzdeki IV. Kısımda nelerin görülebileceğini araştıracağız.

ON ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

CMS VE ATLAS DENEYLERİ

Ağustos 2007'de İspanyol fizikçi ve CERN kuram grup lideri Luis Alvarez-Gaume büyük bir coşkuyla beni Peter Jenni ve Fabiola Gianotti adlı deneysel fizikçilerin CERN'i ziyaret etmekte olan Nobel Ödüllü T. D. Lee ve birkaç başka kişi için planlamış olduğu ATLAS deneyi turuna katılmaya davet etti. O sıralar aynı zamanda deneyin sözcüsü ve sözcü yardımcısı olan, uzmanlık ve deneye aşinalıklarını deneyin bütün ayrıntılarıyla birlikte bizlerle paylaşan Peter ve Fabiola'nın bu bulaşıcı coşkularına direnmek çok zordu.



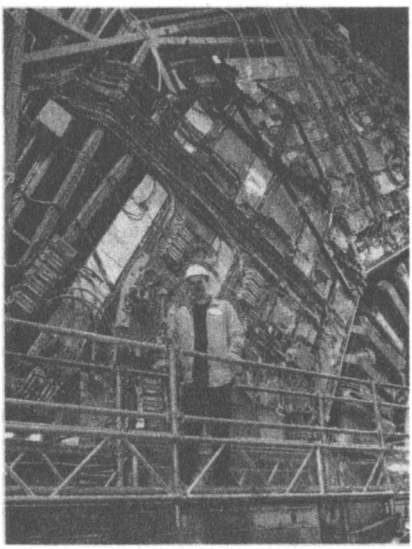
ŞEKİL 29 Atlas çukuruna tepeden bakan bir platformdan aşağıya bakıldığında malzemenin aşağıya taşındığı borular da görülüyor.

Araştırmacı dostlarım ve ben baretlerimizi takarak LHC tüneline girdik. İlk durağımız Şekil 29'da görüldüğü gibi, aşağıdaki çukuru görebildiğimiz bir sahanlıktı. Bulunduğumuz yerden 100 metre aşağıya dedektör parçalarının taşı-

nacağı dikey borularıyla birlikte bu devasa çukuru görmek beni büyüledi. Benimle birlikte olan diğer ATLAS turistleri ve ben hevesle önümüzdeki deneyimleri beklemeye başladık.

İlk duraktan sonra aşağıya, henüz tamamlanmamış olan ATLAS dedektörünün bulunduğu zemine indik. Bitmemiş olmasının avantajı, dedektörün içini görebilmekti. Dedektör sonunda kapanacak ve en azından LHC uzunca bir süre tamir ve bakımlar için kapatılıncaya kadar gözlerden uzak kalacaktı. Bizse etkileyici ölçüde büyük ve renkli olan –Notre Dame Katedralinin nefinden bile büyük– bu özenli yapıya doğrudan bakma şansına erişmiştik.

Ama en büyüleyici olan şey boyutu değildi. New York ya da benzeri büyük şehirlerde yetişen bizler, devasa yapı projelerinden fazla etkilenmeyiz. ATLAS deneyini bu kadar görkemli kılan şey, bu dev dedektörün birçok küçük saptama elemanlarından –ki bunlardan bazıları uzaklıkları mikron hassaslığında ölçmek üzere tasarlanmıştı– oluşmasıdır. LHC dedektörlerindeki ironi, en küçük uzaklıkları hassas bir şekilde ölçmek için bu kadar büyük dedektörlere gerek olmasıdır. Şimdi halk konferanslarında dedektörün resmini gösterdiğimde, kendimi ATLAS'ın sadece büyük değil aynı zamanda hassas olduğunu vurgulamak zorunda hissediyorum. Onu şaşırtıcı yapan da bu zaten.



ŞEKİL 30 Arakadaşım Gilad Perez tabakalı CMS müon dedektörü/mıknatıs dönüş kancasının önünde.

Bir yıl sonra, 2008'de CERN'e döndüm ve ATLAS yapı projesinin ne kadar yol aldığını gördüm. Dedektörün geçen yıl açık olan uçları şimdi kapanmıştı. LHC'deki

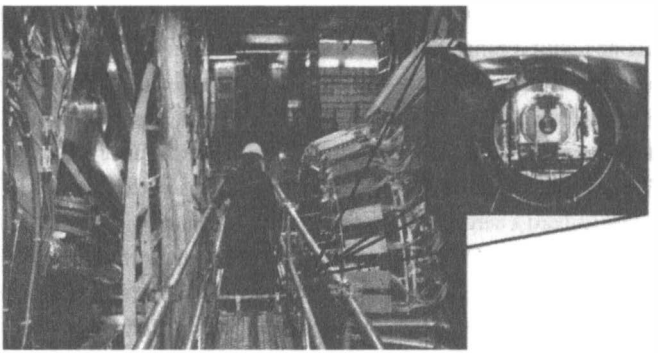
genel amaçlı ikinci dedektör olan CMS'ye fizikçi Cinzia da Via ve Şekil 30'da da görülen iş arkadaşım Gilad Perez'le birlikte olağanüstü bir gezi yaptım.

Gilad henüz bir LHC deneyini ziyaret etmemişti, dolayısıyla ilk deneyimimi onun heyecanıyla yeniden yaşama olanağı buldum.

Denetlemenin gevşek olmasından yararlanarak tırmandık ve demet borusundan aşağıya bile baktık (Şekil 31). Gilad bunun ek boyutlu parçacıkların yaratılacağı yer olabileceğini ve benim ileri sürdüğüm bir kurama kanıt sağlayabileceğine dikkat çekti. Bu modele ya da bir başka modele kanıt oluştursun oluşturmasın, bu demet borusunun yakında gerçekliğin yeni elemanları konusundaki kavrayışın ortaya çıkacağı yer olduğunu yeniden hatırlamak güzeldi.

Sekizinci Bölümde protonları hızlandıran ve birbirleriyle çarpıştıran LHC makinesi tanıtılmıştı. Bu bölümdeyse LHC'nin genel amaçlı olan ve çarpışmalardan nelerin çıktığını tanımlayacak olan iki dedektörü yani CMS ve ATLAS üzerine odaklanılıyor. Geriye kalan LHC deneyleri, yani ALICE, LHCb, TOTEM, ALFA ve LHCf aralarında yeğin nükleer kuvveti daha iyi anlamak ve alt kuarkların daha kesin ölçümlerini yapmak da bulunan, daha özel amaçlar için tasarlanmışlardır. Bu diğer deneylerde büyük olasılıkla Standart Model daha ayrıntılı olarak incelenecektir ama bu deneylerde LHC'nin asıl amacı olan Standart Model fiziğinin ötesinde yeni ufuklar keşfedilmesi olasılığı zayıftır. CMS ve ATLAS, yeni olgular ve yeni madde ortaya çıkaracağını umduğumuz ölçümlerin yapılacağı asıl dedektörlerdir.

Bu bölümde oldukça fazla teknik ayrıntı var. Benim gibi kuramcılar bile bütün bu olguların tümünü bilmeyebilir. Sizlerden yalnızca keşfedebileceğimiz yeni fizikle ya da genel olarak LHC kavramlarıyla ilgilenenler ileriye doğru bir adım atmayı seçebilirler. Yine de LHC deneyleri zekice tasarlanmış olup etkileyicidirler. Bu ayrıntıları göz ardı etmek bu girişime karşı adaletsizlik olurdu.



ŞEKİL 31 Cinzia da Via (*solda*) demet borusundan aşağı bakarak içeriyi (*sağda*) gördüğümüz noktayı geçerek yürüyüşünü sürdürüyor.

GENEL İLKELER

Bir anlamda ATLAS ve CMS dedektörleri, Galileo ve diğerlerinin yüzyıllarca önce başlattığı dönüşümün mantıksal evriminin sonucudurlar. O zamanlarda mikroskobun icadından bu yana giderek gelişen teknoloji, dolaylı olarak fizikçilerin giderek daha uzak mesafeleri incelemelerine olanak vermiştir. Küçük boyutların incelenmesi, maddenin sadece çok küçük sondalarla incelenebilen temel yapısını tekrar tekrar ortaya çıkardı.

LHC'deki deneyler, altyapı ve etkileşmeleri bir santimetreden yüz bin trilyon kez daha küçük bir uzaklık aralığında inceleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yaklaşık olarak daha önceleri herhangi bir deneyde görülen herhangi bir şeyden on kat daha küçük bir boyutu ifade eder. Her ne kadar Batavia, Illinois'teki Fermilab'da bulunan Tevatron'da kullanılanlar gibi, önceki dedektörler, LHC dedektörlerindekilere benzeyen ilkelere dayanıyor olsalar da, bunların ulaştığı rekor enerjiler ve çarpışma sayıları, daha önce görülmemiş boyutları ve karmaşıklıklarının nedeni olan alışılmadık meydan okuyuşlarının sonucuydu.

Tıpkı uzaydaki teleskoplar gibi dedektörler de bir kez yapıldıktan sonra temel olarak erişilmez olurlar. Yeraltının derinliklerine gömülü durumda olup devasa miktarlarda

radyasyona maruz kalırlar. Hiç kimse makine çalışırken dedektöre erişemez. Çalışmıyor olsa bile, belirli bir dedektöre ulaşmak hem çok zor hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle dedektörler, hiç bakım yapılmasa bile en azından on yıl dayanacak şekilde yapılırlar. Yine de, LHC'nin çalıştığı her iki yılda bir fizikçi ve mühendislere çoğu dedektör parçalarına erişme olanağı veren, uzun kapatma süreleri planlanır.

Bununla birlikte, parçacık deneyleri teleskoplardan önemli bir açıdan farklıdır. Parçacık dedektörlerinin belirli bir yönü gözleme zorunluluğu yoktur. Bir anlamda aynı anda her yöne bakarlar. Çarpışmalar olur ve parçacıklar çıkar. Dedektörler ilginç olma potansiyeli taşıyan tüm olayları kaydeder. ATLAS ve CMS genel amaçlı dedektörlerdir. Sadece bir tür parçacık ya da olayı kaydetmezler veya belirli süreçlere odaklanmazlar. Bu deneysel araçlar verilerini olası en geniş etkileşme ve enerji aralığından alacak şekilde tasarlanmışlardır. Ellerinin altında devasa bir hesap gücü olan deneyciler, deneylerde kaydedilen "resimlerden" böyle parçacıklar ve onların bozunma ürünlerini açık bir şekilde çıkarmaya çalışırlar.

38 ülkeyi temsil eden 183 bilimsel kuruluştan 3000'den fazla araştırmacı CMS deneyinde dedektörleri yaparak, çalıştırarak ve verileri analiz ederek işbirliği içinde çalışırlar. Özgün olarak sözcü yardımcılığı görevini yürüten İtalyan fizikçi Guido Tonelli şimdi bu işbirliğinin başındadır.

CERN'in yöneticilerinin erkek fizikçilerden olması geleneğine ara verildiği bir dönemde, etkileyici İtalyan kadın fizikçi Fabiola Gianotti de bu kez diğer genel amaçlı deney olan ATLAS'ın sözcü yardımcılığından sözcülüğe terfi etti. Bu görevi hak ediyor. Yumuşak başlı, dost ve nazik davranışlarının yanı sıra, fizikte ve örgütlenme çabalarında da olağanüstü başarılı. Ama beni gerçekten kıskandıran şey, aynı zamanda mükemmel bir aşçı olması; bu belki de ayrıntılara müthiş değer veren bir İtalyan için affedilebilir bir özellik olabilir.

ATLAS'ta da dev bir işbirliği sürüyor. 38 ülkedeki 174 kurumdan 3000'den fazla bilim insanı ATLAS deneyinde işbir-

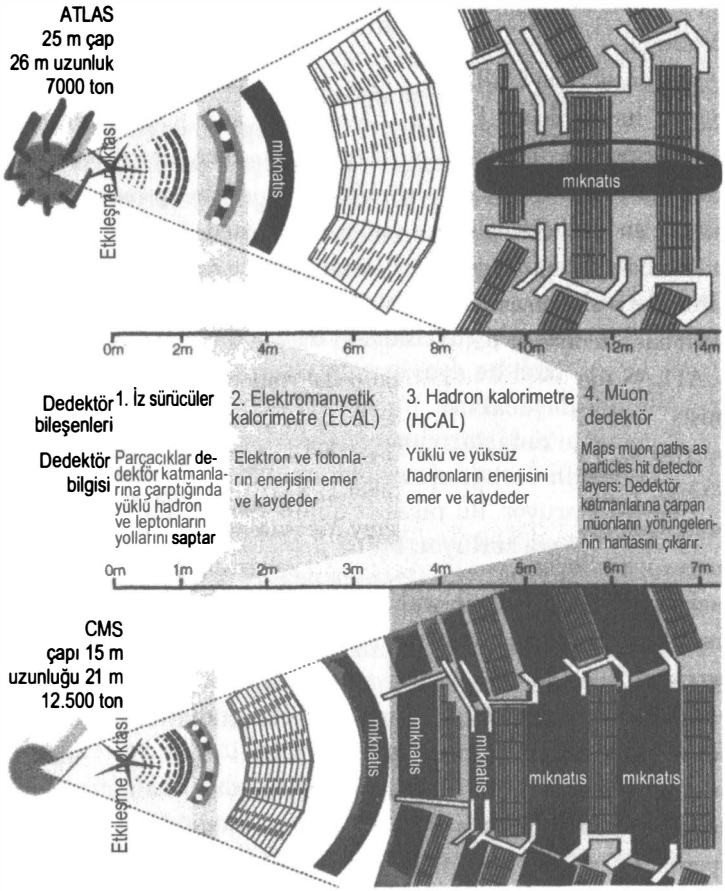
liği yapıyor (Aralık 2009). Bu işbirliği 1992'de, önerilen iki farklı deney olan EAGLE (Experiment for Ac-curate Gamma, Lepton ve Enerji Ölçümleri) ve ASCOT (Apparatus with Super Conducting Toroids) yine önerilen SSC dedektörlerinin bazı özelliklerini de kapsayacak şekilde birleştirildiğinde başladı. Son öneri 1994'te sunuldu ve finansmanı da iki yıl sonra bulundu.

Bu iki deney, Şekil 32'de ayrıntılı bir biçimde gösterildiği gibi, temel çizgi olarak benzer olup, yapı ve uygulama anlamında farklıdır. Birbirlerini tamamlayan bu özellikleri, bu deneylere birbirlerinden biraz farklı güçler veriyor öyle ki, fizikçiler bu iki deneyin sonuçlarını çapraz kontrol edebiliyorlar. Parçacık fiziği keşiflerinin aşırı zorluğundan ötürü, hedefleri ortak olan ve birbirlerinin sonuçlarını doğrulayabilen bu iki deneyin güvenilirliği de çok daha yüksek olacaktır. Eğer her ikisi de aynı sonuca ulaşırsa, herkes çok daha fazla güven duyacaktır.

Deneyci arkadaşlarımın bana sık sık hatırlattıkları gibi, bu iki deneyin varlığı aynı zamanda güçlü bir rekabet ortamı da oluşturuyor. Bu rekabet onları daha hızlı ve ayrıntılı sonuçlar almaya zorluyor. Bu iki deneyin üyeleri birbirlerinden de öğreniyorlar. Her ikisinde de biraz farklı uygulanıyor olsa da, iyi bir fikir her iki deneyde de kendisine yer buluyor. Birbirlerinden farklı yapılara ve teknolojilere sahip olan birbirinden bağımsız iki deneyin varlığıyla birleştiğinde bu rekabet ve işbirliği, ortak hedeflere yönelik iki deney olması kararının altında yatan nedendir.

Bana sık sık LHC'de benim deneylerimin ne zaman yapılacağı ve benimle işbirliği yapanlarla birlikte önerdiğimiz belirli modellerin ne zaman araştıracağı sorulur. Yanıt hemen, şimdi olabilir ama başkalarının önerileri de var. Kuramcılar yani araştırma hedefleri ve yeni bulma stratejileriyle yardımcı olurlar. Araştırmalarımızda yüksek enerjilerde hangi yeni fiziksel elemanlar veya kuvvetlerin bulunabileceğinin yollarını tanımlamayı hedefleriz. Böylece fizikçiler sonuçları bulur, ölçer yorumlar ve en temel gerçekliği –ne olursa olsun– kavramaya çalışırlar. Veriler kaydedildikten sonra

analiz ekipleri halinde bölünmüş olan binlerce deneyci, bu bilgilerin benim ya da başkalarının öne sürdüğü ilginç olma potansiyeli taşıyan modelleri doğrulayıp doğrulamadığını incelerler.



ŞEKİL 32 ATLAS ve CMS dedektörlerinin kesitleri. Genel boyutların yeniden ölçeklendirildiğine dikkat ediniz.

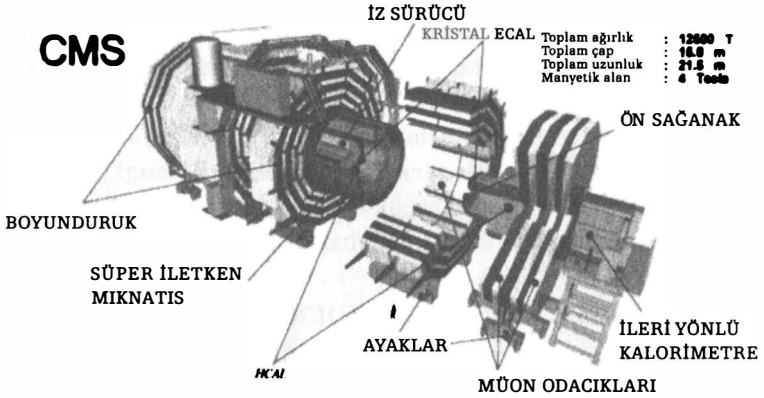
Bundan sonra kuramcı ve deneyciler kaydedilen verileri inceleyerek belli bir tür hipoteze uygun olup olmadığına bakarlar. Her ne kadar birçok parçacığın yaşam süresi sani-

yenin bir kesri kadar olsa ve biz bunlara doğrudan tanık olmasak bile, deneysel fizikçiler bu "resimleri" oluşturan sayısal verileri kullanarak hangi parçacıkların maddenin özünü oluşturduğunu ve bunların nasıl etkileştiklerini belirlerler. Dedektör ve verilerin karmaşıklığı göz önüne alındığında, deneycilerin elinde uğraşacakları bol miktarda bilgi olacaktır. Bu bölümün geri kalanında bu bilginin tam olarak ne olduğu duygusunu vermeye çalışacağız.

ATLAS VE CMS DEDEKTÖRLERİ

Şimdiye kadar LHC'de protonların hidrojen atomlarından koparılışlarından 27 km'lik çemberde yüksek enerjilere kadar hızlandırılışlarını izledik. Tam olarak birbirine paralel olan iki demet ve bunların içinde ters yönlere dönmekte olan proton demetleri hiç kesişmeyecektir. Bu yüzden çember üzerinde birçok noktalarda bulunan dipol mıknatıslar demetleri yollarından saptırır ve dört kutuplu (kuadrupol) mıknatıslar odaklar öyle ki, iki demette bulunan protonlar çapı 30 mikrondan daha az olan bir bölgede karşılaşır ve etkileşirler. Her dedektörün merkezinde bulunan, proton-proton çarpışmalarının olduğu noktalar etkileşme noktaları olarak bilinir.

Deneyler bu etkileşme noktalarının her birinin etrafında eş merkezli olarak konumlandırılmış olup sık sık gerçekleşen proton çarpışmalarından çıkan birçok parçacığı kaydeder ve emerler. (CMS dedektörünün çizimi Şekil 33'te görülebilir.) Her ne kadar proton demetleri birbirlerine ters yönlerde, aynı hızda hareket ediyor olsalar da, çarpışmalarda çok miktarda ileri yönlü hareket olacağından dedektörler silindir şeklinde tasarlanmıştır. Gerçekte protonlar demet boyutlarından çok daha küçük olduklarından, protonların çoğu çarpışmadan, yalnızca yollarından biraz saparak demet borusu boyunca hareketlerini sürdürürler. Protonların kafa-kafaya çarpıştığı ender durumlar ilgi odağıdır.



ŞEKİL 33 Dedektör parçalarının görülmesine olanak veren, CMS'nin parçalanmış bilgisayar görüntüsü. (CERN ve CMS'nin izniyle)

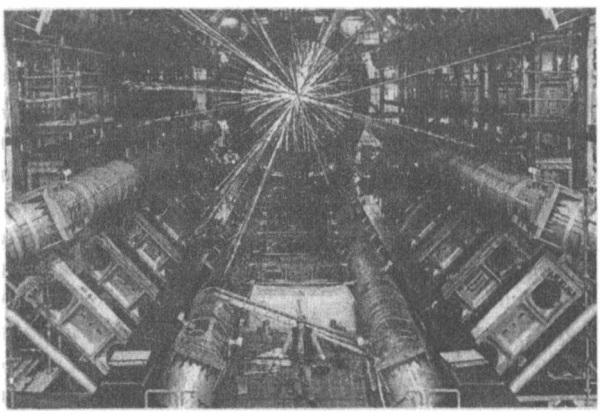
Yani her ne kadar parçacıkların çoğu demet yönünde hareketlerini sürdürse de, ilginç olma potansiyeli taşıyan olaylarda demete önemli ölçüde dik yönde hareket eden parçacık serpintileri ortaya çıkar. Silindirik dedektörler, demet yönünde parçacıkların çokça saçılacağını göz önünde bulundurarak, bu etkileşme ürünlerinden olabildiğince çoğunu saptayacak şekilde tasarlanmışlardır. CMS dedektörü proton çarpışma noktalarından birinin yakınına, Fransa'da Cessy'de yeraltına, Cenevre sınırına yakın bir noktaya yerleştirilmiş olup, ATLAS etkileşme bölgesi ise İsviçre kasabası Meyrin'in altında, CERN kampusünün çok yakınında bulunur. (Çarpışmadan çıkan ve ATLAS dedektörünün kesitinden geçen parçacıkların bir simülasyonunu görmek için *bkz.* Şekil 34.)

Standart modelde parçacıklar kütle, spin ve etkileşmelerdeki kuvvetlerle betimlenir. Sonunda ne yaratılmış olursa olsun, her iki deney de parçacıkların bilinen Standart Model kuvvetleri ve etkileşmelerinin saptanmasına dayanır. Mümkün olan budur. Böyle yükü olmayan parçacıklar etkileşme bölgesini hiçbir iz bırakmadan terk ederler.

Ama deneylerde Standart Model etkileşmeleri ölçülürken, neyin geçtiği tanımlanabilir. Dedektörlerin tasarlanma ama-

cı budur. Hem CMS hem de ATLAS, aynı yöne hareket eden, sıralanmış parçacıklardan oluşan jetlerin içinde bulunan fotonların, elektronların, müonların, tauların ve kuvvetle etkileşen parçacıkların enerji ve momentumlarını ölçer. Proton çarpışma bölgesinden çıkan dedektörler, parçacıkları tanımlamaya yönelik enerji ve momentum ölçmek üzere tasarlanmış olup hepsi de çok yoğun verilerle başa çıkabilmek üzere, karmaşık bilgisayar donanımına, yazılımına ve elektroniğe sahiptir. Yüklü parçacıklar nasıl bulacağımızı bildiğimiz diğer yüklü maddeyle etkileştikleri için deneyciler yüklü parçacıkları hemen tanırlar. Aynı zamanda yeğin kuvvet aracılığıyla etkileşen herhangi bir şeyi de bulurlar.

Dedektör bileşenlerinin hepsi sonuçta tellere ve neyin geçtiğini kaydeden dedektörün içindeki maddeyle etkileşim sonucunda üretilen elektronlara dayanır. Bazen birçok foton ve elektron üretildiğinden yüklü parçacık sağanakları ortaya çıkar, bazense sadece madde kaydedilen yüklerce iyonlaştırılır. Ama her iki durumda da, teller sinyali kaydeder ve bilgisayarların başında bekleyen fizikçiler tarafından analiz edilmek üzere iletirler.



ŞEKİL 34 ATLAS'ta bir olayın dedektör katmanlarının arasından geçen enlemesine parçacık fışkırmasını gösteren simülasyonu. (Ortadaki insan ölçeğin anlaşılmasına yardımcı oluyor ama insanlar dedektör bölgesindeyken çarpışmalar olmaz.) Farklı toroid mıknatıslar kolayca görülüyor (CERN ve ATLAS'ın izniyle).

Mıknatısların her iki dedektörde de kritik önemi vardır. Mıknatıslar hem yükün işaretinin ölçümünde hem de yüklü parçacığın momentumunun belirlenmesinde temel işleve sahiptirler. Yüklü parçacıklar elektromanyetik olarak bir manyetik alan içinde ne kadar hızlı hareket ettiklerine bağlı olmak üzere saparlar. Momentumu daha büyük olan parçacıklar daha düz yollar izlerken ters yüklü parçacıklar ters yönlere saparlar. LHC'deki parçacıkların enerjileri (ve momentumları) çok büyük olduğundan, yüksek enerjili parçacıkların izlerindeki küçük bükülmeleri ölçebilmek için deneylerdeki mıknatıslar çok büyük olmalıdır.

Sıkı Müon Solenoidi [Compact Muon Solenoid] (CMS) aleti iki büyük genel amaçlı dedektörün boyut olarak küçüğü ama 12.500 metrik tonluk ağırlığıyla daha ağır olanıdır. 21 metre boyu, 15 metrelik çapıyla "sıkı" boyutu ATLAS'tan küçüktür ama gene de bir tenis kortu büyüklüğündedir.

CMS'deki ayırıcı eleman, adındaki "solenoid" kısmının gönderme yaptığı 4 Tesla'lık kuvvetli manyetik alandır. Dedektörün iç kısmındaki solenoid süper iletken kablodan yapılmış, altı metre çaplı silindirik bobinden oluşur. Dedektörün dış kısmından geçen manyetik boyunduruk da etkileyici olup devasa ağırlığın çoğunu oluşturur. Burada Paris'teki Eiffel Kulesinden daha fazla demir bulunur.

CMS'nin adındaki "müon" sözcüğünü de merak ediyor olabilirsiniz (ilk duyduğumda ben merak etmiştim). Yüksek enerjili elektronları ve dedektörün dış kesimlerine kadar ulaşan ve elektronların daha ağır benzerleri olan müonları çabucak tanımak, yeni parçacıkların saptanması için önemli olabilir çünkü kimi zaman ağır cisimler bozunduğunda bu yüksek enerjili parçacıklar oluşur. Yeğin nükleer kuvvet yoluyla etkileşmediklerinden –protonlar otomatik olarak bunları üretmeyeceği için– yeni bir şey olma olasılıkları vardır. Kolayca tanınan bu parçacıklar, bu nedenle çarpışmadan çıkmış olan, bozunan ilginç bir parçacığın varlığını işaret ediyor olabilir. CMS'deki manyetik alan başlangıçta, dedektörü tetikleme şansı olan yüksek enerjili müonlara özel önem verilerek tasarlanmıştı. Bu ise, büyük miktarda başka veriyi boşa atmak

anlamına gelse bile, dedektörün bu müonları içeren herhangi bir olayın verilerini kaydedeceği anlamına gelir.

Büyük manyetik alan onun çalışmasında da önemli olduğundan, ATLAS da tıpkı CMS gibi mıknatısını kendi adında taşır. Daha önce belirtildiği gibi ATLAS, A Toroidal LHC ApparatuS sözcüklerinden türetilmiş bir kısaltmadır. "Toroid" sözcüğü manyetik alanı CMS'dekinden daha zayıf olan ama çok büyük bir alanı kaplayan mıknatıslara gönderme yapar. Dev manyetik toroidler ATLAS'ın genel amaçlı iki dedektörün daha büyüğü, hatta şimdiye kadar yapılmış en büyük deney aleti olmasına katkıda bulunur. Boyu 46 metre, çapı 25 metre olup 55 metre uzunluğunda ve 40 metre yüksekliğindeki bir yeraltı açıklığına rahatça sığar. 7000 metrik tonluk ağırlığıyla ATLAS, CMS'nin yarısından biraz daha ağırdır.

Bütün parçacık özelliklerini ölçebilmek için, çarpışmaların olduğu bölgeden giderek daha büyük silindirik dedektör bileşenleri çıkar. Hem CMS hem de ATLAS dedektörleri, içlerinden geçen parçacıkların hem yörüngelerini hem de yüklerini ölçmek üzere tasarlanmış birçok gömülü parça içerir. Çarpışmadan çıkan parçacıklar önce etkileşme noktasına yakın yüklü parçacıkların yörüngelerini kesin bir biçimde ölçen *iç iz sürücülere*, sonra durdurulan parçacıkların depoladığı enerjiyi ölçen *kalorimetrelere*, en sonunda da dış çeperde bulunan ve nüfuz etme yetenekleri çok yüksek olan müonların enerjilerini ölçen *müon dedektörlerine* girer. Bu dedektör elemanlarından her biri ölçümün hassaslığını artırmak üzere katmanlı yapıdadır. Şimdi demetlerden radyal olarak dışarıya doğru en iç dedektörden en dıştakine kadar gidecek ve bir çarpışmadan çıkan parçacık serpintilerinin nasıl olup da kaydedilmiş, tanımlanabilir bilgiye dönüştüğüne bir göz atacağız.

İZ SÜRÜCÜLER

Aletlerin en içinde etkileşme bölgesinden çıkan yüklü parçacıkların, daha sonra izledikleri yolları yeniden oluşturmak ve momentumlarını ölçmek üzere, konumlarını kaydeden iz sürücüler bulunur. ATLAS ve CMS'nin her ikisinde de iz sürücüler eş merkezli birçok bileşenden oluşur.

Demetlere ve etkileşme noktalarına en yakın olan katmanlar çok ince parçalara ayrılmışlardır ve verilerin çoğu buradan sağlanır. Demet borusunun birkaç santimetre yakınından başlayan ve son derece ince dedektör elemanları olan silisyum *pikseller* en iç bölgede bulunurlar. Parçacık yoğunluğunun en yüksek olduğu bölgede, etkileşme noktasının yakınlarında hassas iz sürmek üzere tasarlanmışlardır. Silisyum modern elektronikte her bir küçük parça üzerine çok ince ayrıntılar işlenebildiği için kullanılır ve parçacık dedektörlerinde silisyum kullanılmasının nedeni de budur. ATLAS ve CMS'deki piksel elemanları yüklü parçacıkları son derece yüksek çözünürlükle saptamak için tasarlanmışlardır. Noktaları birbirleriyle ve çıktıkları etkileşme noktasıyla birleştirerek, deneyciler en iç bölgede ve demetin çok yakınlarında parçacıkların izledikleri yolları bulurlar.

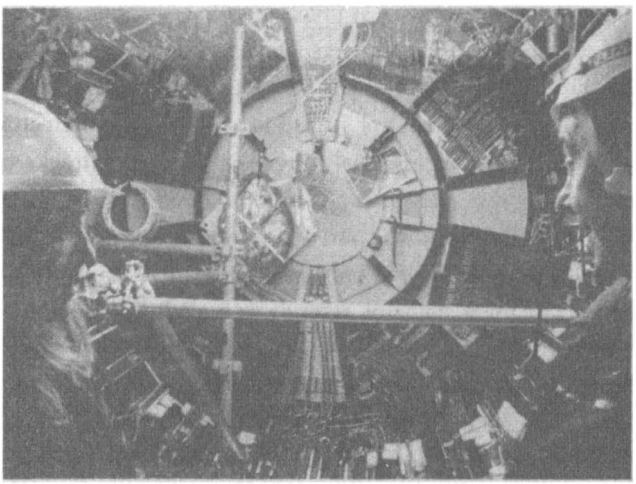
CMS dedektörünün ilk üç sırasında –11 cm yarıçapa kadar– toplam 66 milyon adet 100 X 150 mikrometrelik pikseller bulunur. ATLAS'ın iç piksel dedektörü de benzer şeklide hassastır. ATLAS'ın en iç dedektöründe bilgi alınabilecek en küçük birim 50 X 400 mikrometrelik bir pikseldir. ATLAS piksellerinin toplam sayısı yaklaşık 82 milyon olup, bu sayı CMS'dekinden biraz daha fazladır.

On milyonlarca elemanları olan piksel dedektörlerinin verilerinin ayrıntılı olarak okunması gerekir. Okuyucu sistemin boyutları ve hızıyla iç dedektörlerin maruz kalacağı devasa miktardaki radyasyon her iki dedektörde de karşılaşılan en büyük zorluklardan ikisidir (Şekil 35).

Bu iç iz sürücülerde üç katman bulunduğundan, dedektörden geçen ve yaşam süresi yeterince uzun olan yüklü parçacıklarının her biri için üç *vuruş* kaydedilir. Bu izler genellikle piksel katmanlarının dışındaki dış bir iz sürücüde de devam eder ve böylece parçacıkla kesinlikle eşleştirilebilen, büyük bir sinyal elde edilir.

Ortağım Matthew Buckley ve ben, iç iz sürücülerin geometrisine çok dikkat ettik. Bütünüyle rastlantısal olarak, zayıf kuvvet aracılığıyla yüksüz bir parçacığa bozunan, öngörülen yeni yüklü parçacıkların sadece birkaç santimetre

uzunluğunda izler bırakacağını fark ettik. Bu ise, bu özel durumlarda iç iz sürücülerdeki izlerin *yalnızca* birkaç santimetre uzunluğunda olabileceği, veri okumasının da burayla sınırlı olabileceği anlamına gelir. Yalnızca piksellere, yani iç dedektörün en iç katmanlarına dayanan deneycilerin karşılaşacakları ek zorlukları da göz önüne aldık.



ŞEKİL 35 Cinzia da Via ve bir mühendis olan Domenico Dattola, CMS silisyum izleyicinin bölmelerinden birinin önündeki iskelenin üzerinde duruyorlar.

Bununla birlikte yüklü parçacıkların çoğu diğer izleyici bileşenlerinden geçecek kadar uzun yaşar, böylece dedektörlerde çok daha uzun yörünge uzunlukları kaydedilir. Bu nedenle, iki yöndeki yüksek çözünürlüklü iç piksel dedektörlerinin dışında, iki yönde asimetrik olarak uzanan, biri diğerinden daha düşük çözünürlüklü iki silisyum şerit yer alır. Uzun şeritler deneyin silindirik şekliyle uyumlu olup daha büyük bir yüzeyin kaplanmasını (büyüyen yarıçapla alanın çok daha hızlı büyüdüğünü hatırlayalım) mümkün kılar.

CMS silikon iz sürücü merkezi bölgede toplam 13 katman, ön ve arka bölgelerdeyse toplam 14 katmandan oluşur. Tarif ettiğimiz, ince ince piksellere bölünmüş ilk üç katman-

dan sonra, silisyum şeritlerden oluşan, sonraki dört katman 55 santimetre yarıçapa ulaşır. Buradaki dedektör elemanları 10 santimetre uzunluğunda, 180 mikrometre genişliğinde şeritlerdir. Yönlendirilmeleri daha az hassas olan, kalan altı katman 1,1 metre yarıçapına kadar ulaşan, 20 santimetre uzunluğunda ve 80'den 205 mikrometreye kadar değişen genişliklerdeki şeritlerden oluşur. CMS iç dedektöründeki toplam şerit sayısı 9,6 milyondur. Bu şeritler, içlerinden geçen yüklü parçacıklardan çoğunun izlerinin yeniden oluşturulması için gereklidir. CMS'nin silisyum kaplamalarının toplamı bir tenis kortunu kaplar. Bu, alanı sadece iki metrekare olan, daha önceki silisyum dedektöre göre ciddi bir ilerleme demektir.

ATLAS'ın iç dedektörü bir metre gibi biraz daha küçük bir yarıçapa ve yedi metre uzunluğa sahiptir. CMS'de olduğu gibi, üç adet iç silisyum piksel katmanının dışındaki Yarı İletken İz Sürücü (SCT) dört katman silisyum şeritten oluşur. ATLAS'ta bunların uzunluğu 12,6 santimetre, genişliği ise 80 mikrometredir. SCT'nin devasa alanı da 61 metrekareye ulaşır. Piksel dedektörler etkileşme noktası yakınlarındaki hassas ölçümleri yeniden oluşturmak açısından önemliyken, yüksek hassaslıkta kapladığı alanın büyüklüğü nedeniyle (ne yazık ki tek yönde) SCT izlerin tümden yeniden oluşturulmasında kritik öneme sahiptir.

CMS'den farklı olarak ATLAS'ın dış dedektörü silisyumdan yapılmamıştır. İç dedektörün en dış bileşeni olan geçiş radyasyon iz sürücüsü (TRT), gaz dolu tüplerden oluşur ve hem iz sürücü alet hem de geçiş radyasyon dedektörü olarak kullanılır. Yüklü parçacıklar, merkezlerinde iyonlaşmayı saptayacak teller olan ve boyutları 144 santimetreye 4 milimetre olan pipetlerin içlerindeki gazı iyonlaştırdığında yüklü parçacıkların yörüngeleri ölçülür. Burada yine en yüksek çözünürlük enine yöndedir. Pipetler izleri 200 milimetre hassaslığında ölçer ki bu, en içteki iz sürücüden daha az hassas olmakla birlikte çok daha büyük bir alanı kaplar. Dedektörler ışık hızına çok yakın hızlarla hareket eden ve bu nedenle *geçiş radyasyonu* yayan parçacıkları da ayırt eder.

Daha hafif parçacıklar daha hızlı hareket etme eğiliminde olduklarından, parçacıklar kütlelerine göre de ayrılmış olur. Bu da elektronların tanınmalarına yardımcı olur.

Eğer bütün bu ayrıntıları biraz bunaltıcı buluyorsanız, bunun çoğu fizikçinin bilmesi gerekenden bile daha fazla bilgi olduğunu unutmayın. Bunlar bir büyüklük ve hassaslık duygusu yaratır ve elbette özel bir dedektör bileşeni üzerinde çalışan bir kimse için önemlidir. Ama bir bileşeni çok iyi bilen birisi bile diğerlerinin tümünü bilmeyebilir. Bunu bazı dedektör fotoğraflarını izlerken ve çizimlerin hassaslığından emin olmaya çalışırken kazara fark ettim. O nedenle her şeyi ilk seferinde anlamazsanız moraliniz bozulmasın. Her ne kadar kimi uzmanlar tüm operasyonun eşgüdümünü sağlıyor olsa da, her deneycinin bütün ayrıntıları bilmesine olanak yoktur.

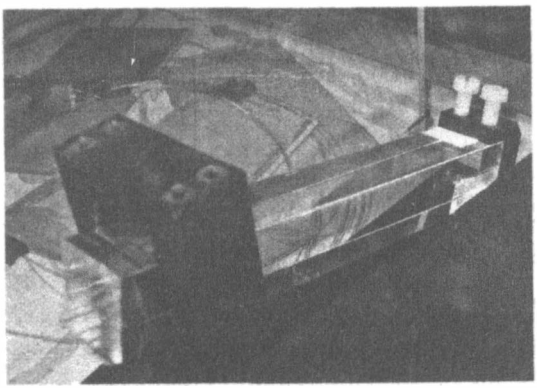
ELEKTROMANYETİK KALORİMETRE (ECAL)

Üç tür iz sürücüden geçtikten sonra parçacığın yarıçap yönündeki hareketi sırasında girdiği dedektörün sonraki kısmı, orada durdurulan yüklü ve yüksüz parçacıklar –elektronlar ve özellikle fotonlar– tarafından depolanan enerjiyi ve bu enerjiyi kaybettikleri konumu kaydeden elektromanyetik kalorimetredir (ECAL). Saptama mekanizmasında aranan, gelen elektron ve fotonların dedektör malzemesiyle etkileştiklerinde yarattıkları parçacık serpintileridir. Dedektörün bu parçası bu parçacıklar için hem hassas enerji hem de konum bilgisi verir.

CMS deneyinde ECAL'de kullanılan malzeme dikkat edilmesi gereken bir harikadır. Yoğun ama optik olarak saydam oldukları için seçilen kurşun tungstat kristallerinden yapılmıştır. Gerçekten gelen elektron ve fotonları durdurmak ve saptamak için tam istenen böyle bir maddedir. Bunu belki de Şekil 36'daki fotoğrafa baktığınızda hissedebilirsiniz. Çok ilginç olmalarının nedeni olağanüstü saydamlıklarıdır. Hiç bu kadar yoğun ve bu kadar saydam bir şey görmemişsinizdir. Bunların yararlı olmalarının nedeni elektromanyetik enerjiyi olağanüstü bir hassaslıkla ölçmeleridir ki bu da Bölüm

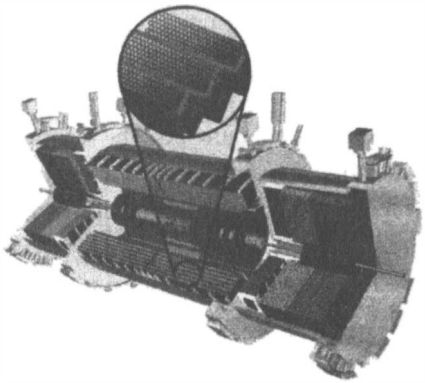
16'da tarif edileceği gibi, yakalanması son derece güç olan Higgs parçacığının bulunması için kritik öneme sahiptir.

ATLAS dedektöründe elektron ve fotonları durdurmak için kurşun kullanılır. Bu emici maddedeki etkileşmeler ilk yüklü yörüngedeki enerjiyi, enerjileri sonradan saptanacak olan bir parçacık sağanağına dönüştürür. Daha sonra, bu parçacık sağanağının enerjisinden ilk parçacığın enerjisini çıkarmak için, başka elementlerle kimyasal olarak etkileşmeyen ve radyasyona son derece dirençli bir soy gaz olan sıvı argon kullanılır.



ŞEKİL 36 CMS'nin elektromanyetik kalorimetresinde kullanılan kurşun tungstat kristalinin fotoğrafı.

Kuramcı olmama karşın gezi sırasında ATLAS'ta gördüğüm bu dedektör elemanı karşısında büyülendim. Fabiola bu öncü gelişmede ve birbirlerinden sıvı argon tabakaları ve elektrotlarla ayrılmış olan radyal yönlü, akordeon şeklindeki kurşun plakalar bulunan bu kalorimetrenin özgün geometrisinin yapımında da rol aldı. Elektronik dedektör elemanlarına çok daha yakın olduğundan Fabiola bu geometrinin elektroniğin okuma hızını nasıl artırdığını anlattı (Şekil 37).



ŞEKİL 37 ATLAS'ın elektromanyetik kalorimetresinin akordeon şeklindeki yapısı.

HADRONİK KALORİMETRE (HCAL)

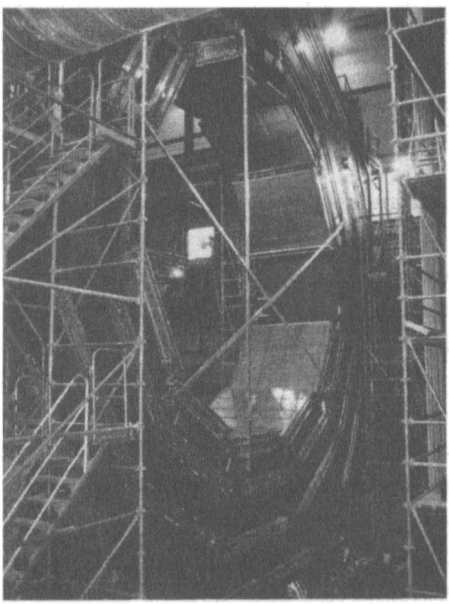
Demet borusundan radyal olarak dışarıya doğru yaptığımız yolculukta şimdi sıra hadronik kalorimetrede (HCAL). HCAL hadronik parçacıkların, yani yeğin kuvvet aracılığıyla etkileşen parçacıkların enerji ve konumlarını ECAL'la yapılan elektron ve foton enerji ölçümlerinden daha düşük hassaslıkla da olsa ölçer. Bunun nedeni zorunluluktur. HCAL çok büyüktür. Örneğin ATLAS'ta HCAL sekiz metre çapında ve 12 metre uzunluğundadır. HCAL'yi ECAL kesinliğinde bölümlendirmek olanaksız derecede pahalı olacağından yörünge ölçümlerinin kesinliği giderek azalır. Üstüne üstlük hadronik sağanaklarda enerji daha çok dalgalandığından, bölümlendirmeden bağımsız olarak yeğin kuvvetle etkileşen parçacıklarda enerji ölçümleri daha zordur.

CMS'deki HCAL'de plastik sintilatör tabakalarının arasında yoğun madde tabakaları –pirinç ya da çelik– bulunur. Bunlar, saçılan ışığın şiddetine bağlı olarak geçen hadronların enerji ve konumlarını kaydederler. ATLAS'ın merkezi bölgesindeki emici malzeme demirdir ama orada HCAL de az çok benzer davranır.

MÜON DEDEKTÖRÜ

Genel amaçlı herhangi bir dedektörün en dış elemanları müon odacıklarıdır. Hatırlayacağınız gibi müonlar, elektronlar gibi yüklü parçacıklardır ama onlardan 200 kat daha ağırdırlar. Elektromanyetik ya da hadronik kalorimetrelerde durdurulamazlar, doğrudan dedektörün yoğun dış kısımlarına doğru devam ederler (Şekil 38).

Yeni parçacıklar aranırken yüksek enerjili müonlar çok yararlıdır çünkü hadronlardan farklı olarak yeterince yalıtılmış olduklarından, göreceli olarak saptanacak ve ölçülecek kadar temizdirler. Deneyciler çapraz geçen yüksek enerjili müonlarla ilgili bütün olayları kaydetmek isterler çünkü müonların çok daha ilginç olaylarla bağlantılı olma olasılığı vardır. Müon dedektörleri aynı zamanda dedektörün daha ağır dış kısımlarına ulaşan, herhangi bir kararlı yüklü parçacık için de çok yararlıdır.



ŞEKİL 38 CMS'nin müon dedektörüyle geçmeli olan manyetik dönüş bobini, yapım halinde.

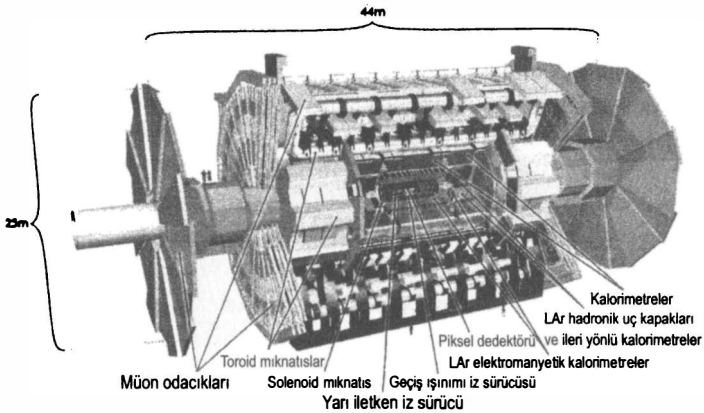
Müon odacıkları bu en dış dedektörlere ulaşan müonların bıraktığı sinyalleri kaydeder. Bazı bakımlardan yörünge ve momentumların ölçülmesi için iz sürücüleri ve yörünge bükücü manyetik alanları olan iç dedektöre benzerler. Yine de müon odacıklarında manyetik alan farklıdır ve dedektörün kalınlığı da daha küçük eğriliklerin, dolayısıyla daha yüksek momentumlu parçacıkların ölçülmesine olanak verecek ölçüde kalındır (yüksek momentumlu parçacıklar manyetik alanda daha az saparlar). ATLAS'ta müon odacıkları dedektörün dış yarıçapında 4 metreden 11 metreye uzanırken CMS'de yaklaşık üç metreden 7,5 metreye uzanır. Bu dev yapılar 50 mikrometrelik parçacık yörünge hızlarının ölçümüne olanak verirler.

UÇ KAPAKLARI

Tanımlanacak son dedektör elemanları, deneylerin ön ve arkasında bulunan dedektörler olan uç kapaklarıdır. (Tüm yapı konusunda bir fikir sahibi olmak için Şekil 39'a bakınız.) Artık demetten radyal yönde dışarı doğru ilerlemiyoruz, o yöndeki son adım müon dedektörleriydi. Şimdi silindirik dedektörlerin ekseni boyunca iki uca doğru ilerliyoruz. Dedektörlerin silindirik kısımları, uç kısımlarda dedektörlerle "kapatılmıştır". Bunun nedeni mümkün olduğunca çok parçacığın yakalanmasının garantilenmeye çalışılmasıdır. Uç kapakları yerlerine konması gereken son dedektörler olduğundan, ben de 2009'daki ziyaretimde bu dedektörlerin içindeki çoklu katmanları görebilmiştim.

Dedektörler bu uç bölgelere LHC'deki deneylerde tüm parçacıkların momentumlarının ölçülmesini garantilemek amacıyla yerleştirilmiştir. Bunun amacı deney aletlerini *hermetik* yapmaktır ki bunun anlamı her yönün kaplandığı, herhangi bir boş ya da kaplanmamış bir bölge kalmadığı anlamına gelir. Hermetik ölçümler hiç etkileşime girmeyen veya çok zayıf etkileşen parçacıkların bile keşfedilmesini garantiler. Eğer "olmayan" enlemesine momentum gözlenirse, etkileşmeleri doğrudan fark edilebilir olmayan bir ya da daha çok parçacık üretilmiş olmalıdır. Böyle parçacıklar mo-

mentum taşır ve alıp götürdükleri momentum sayesinde deneyciler onların varlığından haberdar olur. Eğer dedektörün enlemesine momentumun tamamını ölçtüğünü biliyorsanız ve çarpışmadan sonra demete dik yöndeki momentum korunmuyor gibi görünüyorsa, bu durumda momentum taşıyan bir şey gözlemden kaçmış demektir. Görmüş olduğumuz gibi, dedektörler birbirlerine dik yönlerdeki momentumu büyük bir dikkatle ölçerler. Ön ve arka taraftaki kalorimetreler demete dik yönde çok az enerji ve momentumun fark edilmemiş olarak kalmasını garanti altına alarak aletin hermetik olmasını sağlarlar.



ŞEKİL 39 İç katmanları ve uç kapaklarını ayrılmış durumda gösteren ATLAS'ın bilgisayar görüntüsü (CERN ve ATLAS'ın izniyle).

CMS aletinin uç noktalarda daha yoğun olduklarından parçacık izlerini daha iyi ayırt eden çelik soğurucular ve kuvars iplikçikler bulunur. Uç kapaklarındaki pirinç, özgün olarak Rus top mermilerinde kullanılmış olan, yeniden kazanılmış malzemedir. ATLAS aletinin ön tarafındaki kalorimetrelerde sadece elektron ve fotonlar değil, hadronlar da saptanır.

MIKNATISLAR

Her iki dedektörün de ayrıntılı olarak anlatılacak parçaları her iki alete de adlarını veren mıknatıslardır. Parçacık özelliklerini kaydetmediğinden mıknatıs bir dedektör elemanı değildir. Ama mıknatıslar parçacık yörüngelerini tanımlayan ve karakterize eden kritik özellikler olan momentum ve elektrik yükünün belirlenmesine yardımcı olduklarından parçacıkların belirlenmesinde temel işleve sahiptir. Parçacıklar manyetik alanda büküldüklerinden yörüngeleri doğrusal değil daireseldir. Yörüngenin hangi yönde ve ne kadar bükülecegi parçacıkların enerjisine ve yüküne bağlıdır.

CMS'nin soğutulmuş süper iletken nyobium-titanyum bobinlerden yapılmış olan devasa solenoid mıknatısları 12,5 metre uzunluğunda ve altı metre çapındadır. Bu mıknatıs dedektörün tanımlayıcı niteliği olup bu türde yapılmış olan en büyük mıknatıstır. Solenoidin metal çekirdeğini çevreleyen tel bobinleri elektrik uygulandığında manyetik alan yaratır. Bu mıknatısta depolanan enerji yarım metrik ton TNT'nin ürettiği enerjiyle aynıdır. Bu süper mıknatısın sönüp aniden süper iletkenliğini kaybetmesi durumuna karşı önlemler alındığını söylemeye gerek yok. Solenoidin başarılı 4 Tesla testi 2006 Eylülünde tamamlandıysa da uzun ömürlü olması için biraz daha düşük alanla, 3,8 Tesla üreterek çalışacaktır.

Solenoid iz sürücü ve kalorimetre katmanlarını içine alacak kadar büyüktür. Öte yandan müon dedektörleri, aletin dış çeperinde, solenoidin dışındadır. Bununla birlikte müon dedektörünün dört katmanı alanı ihtiva eden ve yönlendiren manyetik bobinleri çevreleyen dev demir yapının değişik yerlerine serpiştirilmiş olup birörneklik ve kararlılığı garantiler. 21 metre uzunluğa, 14 metre çapa sahip olan bu manyetik alan boyunduruğu dedektörün yedi metrelik yarıçapının tamamına ulaşır. Müon 10.000 metrik ton demire nüfuz edip müon odacıklarını geçen, bilinen tek elektrik yüklü parçacık olduğundan (gerçi yüksek enerjili hadronlar da bazen içeri girerek deneyciler için baş ağrısı olurlar) aslında müon sisteminin de bir parçasıdır. Boyunduruğun yarattığı manyetik alan müonları dış dedektörde büker. Müonların alanda bü-

külme miktarı momentumlarına bağlı olduğundan, boyunduruk müonların momentum ve enerjilerinin ölçümünde çok önemlidir. Yapısal olarak kararlı bu dev mıknatıs bir başka rol daha oynar. Deneyi destekler ve onu kendi manyetik alanının uygulayacağı dev kuvvetlerden korur.

ATLAS'ın manyetik alan düzeni, tümüyle farklıdır. ATLAS'ta iki farklı mıknatıs sistemi kullanılır: iz sürücü sistemleri çevreleyen 2 Tesla gücündeki solenoid ve dış bölgelerde müon odacıklarıyla aralıklı olarak yer alan dev toroid mıknatıslar. ATLAS'ın resimlerine (veya deneyin kendisine) baktığınızda en dikkat çeken elemanlar bu sekiz adet dev toroid yapı (Şekil 34) ve uçları kapatan iki ek toroiddir. Bunların yarattığı manyetik alan demet ekseni boyunca 26 metre ve müon spektrometresinden başlayarak radyal yönde 11 metre uzanır.

ATLAS deneyini ziyaretim sırasında duyduğum pek çok ilginç öyküden biri mıknatısların özgün olarak yapım elemanları sırasında yerlerine nasıl indirildiklerine ilişkindi. Başlangıçta mıknatıslar (yandan bakıldığında) çok daha oval yapıdaydılar. Mühendisler bunları monte etmeden önce kütleçekimi hesaba katmışlar ve mıknatısların bir süre sonra kendi ağırlıklarıyla daha yuvarlak hale gelmesini beklemişlerdi.

Benim etkilendiğim bir başka öykü ATLAS mühendislerinin, tünelin kazımından kaynaklanan hidrostatik basınç nedeniyle tünel tabanının yılda yaklaşık bir milimetrelik yükselmesini nasıl hesaba kattıklarına ilişkindi. Deneyi öyle tasarladılar ki, bu küçük hareketler makineyi başlangıçta planlanan tam kapasiteyle çalışacağı 2010 yılında en uygun konuma getirecekti. LHC'deki gecikmeler nedeniyle bu gerçekleşmedi. Ama artık deneyin altındaki toprak deneyin hareket etmeyeceği kadar oturduğundan, işletme süresince doğru konumda kalacaktır. Yogi Berra'nın "tahminlerde bulunmak zor, özellikle de gelecek konusunda"[1] uyarısına karşın ATLAS mühendisleri işlerini doğru yapmışlardı.

[1] Bu sözler aynı zamanda Robert Storm Peterson ve Niels Bohr'a da atfedilir.

HESAPLAMALAR

Devasa hesap gücünden söz etmeden LHC'nin hiçbir tarifi tam olmuş sayılamaz. İz sürücülerde, kalorimetrelerde, müon sistemlerinde en son sözünü ettiğimiz mıknatıslarda bulunan hatırı sayılır donanıma ek olarak, çarpışmalardan ortaya çıkan inanılmaz miktardaki verilerle başa çıkabilmek için dünya çapında eşgüdümlü hesaplama yöntemleri temel öneme sahiptir.

LHC, sadece bundan önceki en yüksek enerjili çarpıştırıcı olan Tevatron'dan yedi kat büyük olmakla kalmaz, aynı zamanda ondan 50 kat hızlı veri üretir. LHC saniyede yaklaşık bir milyar çarpışmanın son derece yüksek çözünürlüklü resimlerini işlemek zorundadır. Her olay "resmi" yaklaşık bir megabayt bilgi içerir.

Bu herhangi bir hesaplama sisteminin başa çıkamayacağı kadar çok veri demektir. O nedenle tetikleme sistemleri hangi verilerin saklanacağına, hangilerinin ise çöpe atılacağına karar verir. Çarpışmaların ezici bir çoğunluğu, yeğin kuvvet aracılığıyla gerçekleşen, sıradan proton etkileşmeleridir. Bilinen fiziksel süreçlerle ilgili olan ve yeni hiçbir şey içermeyen çarpışmaların çoğunluğuyla hiç kimse ilgilenmez.

Protonların çarpışması bazı bakımlardan iki fasulye torbasının çarpışmasına benzer. Fasulye torbaları yumuşak olduklarından eğilir, bükülür ve çarpışmalar sırasında çoğu kez hiçbir şey olmaz. Ama fasulye torbaları çarpışırken ara sıra içlerindeki fasulyeler büyük kuvvetlerle çarpışır. Bu çarpışmalar bazen o kadar şiddetli olur ki, torbalar yırtılır. Bu durumda sert oldukları ve daha yerel enerjiyle çarpıştıkları için, çarpışan fasulyeler farklı yönlere giderken diğer fasulyeler aynı yönde gitmeye devam ederler.

Benzer şekilde, demetteki protonlar birbirlerine çarptıklarında, tek tek alt birimler çarpışarak ilginç olayı yaratırlarken, protonun geri kalan bölümleri demet borusu yönündeki hareketlerine devam ederler.

Ama fasulyelerin çarpışarak sadece yön değiştirdikleri fasulye çarpışmalarının tersine protonlar birbirleriyle çarpıştığında içlerindeki bileşenler –kuarklar, karşı-kuarklar ve

gluonlar– çarpışır ve bu durumda özgün parçacıklar enerjiye ve başka tür maddeye dönüşebilir. Ve düşük enerjilerde çarpışmalar temel olarak protonun yükünü taşıyan üç kuarkı kapsıyor olsa da, yüksek enerjilerde kuantum mekaniğinin sanal etkileriyle Altıncı Bölümde gördüğümüz gibi önemli gluon ve karşı-kuark içeriği ortaya çıkabilir. İlginç çarpışmalar protonun bu alt birimlerinden bazılarının rol aldığı çarpışmalardır.

Protonların enerjisi yüksek olduğunda içlerindeki kuark, karşı-kuark ve gluonların enerjisi de yüksek olur. Bununla birlikte bu enerji asla proton enerjisinin tümü değildir. Genel olarak toplam enerjinin bir kesrini oluşturur. O nedenle çoğu zaman kuark ve gluonlar protonun enerjisinin bir kesriyle çarpıştıklarından ağır parçacıklar yaratılamaz. Büyük olasılıkla daha düşük etkileşme gücü ya da yeni parçacıklardan beklenen kütlenin ağır olması nedeniyle, henüz gözlenmemiş parçacıklar ya da kuvvetler içeren ilginç çarpışmalar, "sıkıcı" Standart Model çarpışmalarına göre daha seyrek gerçekleşir.

Bu nedenle, fasulye torbalarında olduğu gibi çarpışmaların çoğunluğu ilginç olmaktan uzaktır. Ya birbirini sıyırıp geçen protonları ya da çarpışarak bildiğimiz Standart Model olayları yaratan, dolayısıyla bize pek bir şey öğretmeyen olayları kapsar. Öte yandan, hesaplar bize LHC'de üretilen çarpışmalardan yalnızca trilyonda biri kadarının Higgs bozonu gibi heyecan uyandırıcı, yeni bir parçacık ortaya çıkaracağını göstermiştir.

Sonuç olarak, harcanan zamanın sadece çok kısa ama şanslı bir bölümünde yeni şeyler ortaya çıkabilir. Her şeyden önce çok sayıda çarpışmaya gerek duymamızın nedeni budur. Olayların çoğunda yeni bir şey ortaya çıkmaz. Ama çok ender olarak olaylar çok özel ve bilgi verici olabilir.

Bunları arayıp taramak *tetiklerin* yani potansiyel olarak ilginç olayları tanımak üzere tasarlanmış donanım ve yazılımların görevidir. Bu görevin devasa boyutlarını anlamanın bir yolu şudur (bir kez olası kanalları hesaba kattıktan sonra): sanki 150 megapiksellik kameranız varmış ve saniyede

40 milyon (demetlerin karşılaşma hızı) fotoğraf çekiyormuşsunuz gibi düşünün. Her demet karşılaşmasında 20-25 olay beklentisiyle bu yaklaşık saniyede bir milyar fiziksel olay demektir. Tetik, sadece birkaç ilginç olayın kaydedilmesinden sorumlu olanın benzeri olacaktır. Tetikleri istenmeyen posta filtreleri gibi de düşünebilirsiniz. Görevleri deneycilerin bilgisayarlarına sadece ilginç olayların gitmesini sağlamaktır.

Tetiklerin ilginç olma potansiyeli taşıyan olayları tanıması, yeni bir şey barındırmayanları ise çöpe atması gerekir. Bu olayların kendileri –etkileşme noktasından ayrılan ve dedektörlerde kaydedilen– sıradan Standart Model süreçlerinden yeterince ayrılabilir olmalıdır. Olayların ne zaman ilginç göründüğünü bilmek bize hangi olayların seçilmesi gerektiğini bildirir. Bu da tanınabilir, yeni olayların sayısını daha da azaltır. Tetiklerin zorlu bir görevi vardır. Saniyede bir milyar olaydan, ilginç olma potansiyeli taşıyan birkaç yüzünü ayıklamaları beklenir.

Bu görevi donanım ve yazılım "kapılarının" bir birleşimi yerine getirir. Ardışık her tetik düzeyi, aldığı olaylardan çoğunu ilginç bulmayarak eler ve geriye daha kolay yönetilebilir veriler bırakır. Bunlar da daha sonra dünyanın her yanındaki 160 akademik kurumdaki bilgisayar sistemleri tarafından analiz edilir.

İlk düzey tetik donanıma dayanır –dedektörlerin içine yerleştirilmiştir– ve yüksek enerjili müonlar içeren olaylar ya da kalorimetrelerdeki büyük enlemesine enerji depolanmalarını seçmek gibi ayırıcı özelliklerin tanınmasında büyük sayıda geçişe olanak verir. İlk düzeydeki tetiğin sonucunu birkaç mikrosaniye beklerken, her demet çarpışmasından gelen veriler tampon bellekte tutulur. Daha yüksek düzeydeki tetikler yazılım temellidir. Seçme algoritmaları dedektör yakınlarında bir bilgisayar grubunda tutulur. İlk düzey tetik saniyede bir milyarlık olay hızını saniyede 100.000 olaya düşürürken yazılım tetikleri bu hızı saniyede bin ile saniyede birkaç yüz olay hızına düşürür.

Tetiği geçen her olay devasa miktarda, bir megabayttan daha fazla bilgi –biraz önce incelediğimiz dedektör eleman-

larının okumaları– içerir. Saniyede birkaç yüz olay kabul edildiğinde deneylerde saniyede 100 megabayttan daha fazla disk alanı gerekir ki, bu da yılda bir petabayt (10^{15} bayt) veya bir katrilyon bayt (bu rakamı ne kadar sık kullanıyorsunuz?) eder ve yüz binlerce DVD'de saklanabilecek bir bilgi birikimi oluşturur.

Tim Berners-Lee World Wide Web'i ilk olarak CERN verileriyle uğraşmak ve dünyanın değişik yerlerindeki deneycilerin bilgiyi bilgisayarlarda gerçek zamanlı olarak paylaşmaları için geliştirmişti. LHC hesaplama şebekesi Grid, CERN'in hesaplama konusundaki bir diğer önemli atılımıdır. Ağ Şebekesi [Grid] 2008 sonlarında –kapsamlı bir yazılım geliştirilmesinden sonra– deneycilerin işlemeye niyetlendikleri devasa miktarlardaki veriyi analiz etmelerine yardımcı olmak üzere başlatılmıştı. CERN sistemi hem özel fiber optik kabloları hem de kamusal internetin hızlı bölümlerini kullanır. Böyle adlandırılmış olmasının nedeni, tıpkı bir yerleşim yerindeki elektriğin belirli bir elektrik santraliyle ilişkilendirilememesi gibi, verilerin de tek bir konumda değil, dünyanın değişik yerlerindeki pek çok bilgisayara dağılmış durumda olmasıydı.

Tetikler tarafından belirlenen olaylar bir kez kaydedildikten sonra Ağ Şebekesi [Grid] tarafından tüm dünyaya dağıtılır. Sistem sayesinde tüm dünyadaki bilgisayar ağları fazla fazla depolanan bu bilgiye erişim sağlar. Nasıl ağ bilgi paylaşıyorsa, *Grid* de ortak bilgisayarlar arasında hesaplama gücü ve depolanan verileri paylaşır.

Sistemle sıralı hesaplama merkezleri verileri işler. İlk katman [Tier 0] CERN'in verilerin kaydedildiği ve ham biçimlerinden fizik analizleri için daha uygun biçimlere dönüştürülerek işlendiği merkezi birimidir. Yüksek bant genişliğine sahip bağlantılarla bu veriler ikinci katmanı [Tier 1] oluşturan bir düzine kadar büyük, ulusal bilgisayar merkezine gönderilir. Eğer isterlerse, analiz grupları bu verilere erişebilirler. İkinci katmanı [Tier 1], fiber optik kablolarla üniversitelerde bulunan, fizik süreçlerini simüle etmeye ve bazı özel analizleri yapmaya yetecek bilgisayar gücüne sa-

hip olan 50 kadar üçüncü katman [Tier 2] analiz merkezine bağlıdır. Son olarak, herhangi bir üniversite grubu, gerçek fiziğin çıkarıldığı dördüncü katman [Tier 3] analizi yapabilir.

Bu noktada, herhangi bir yerde bulunan deneyciler verileri inceleyerek yüksek enerjili proton çarpışmalarında nelerin ortaya çıkacağının izini sürebilirler. Bu, yeni ve heyecan verici bir şey olabilir. Ama durumun böyle olup olmadığını saptamak için, deneylerin ilk görevi neyin olduğunu çıkarmaktır. Bunu da önümüzdeki bölümde ayrıntılı olarak göreceğiz.

ON DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

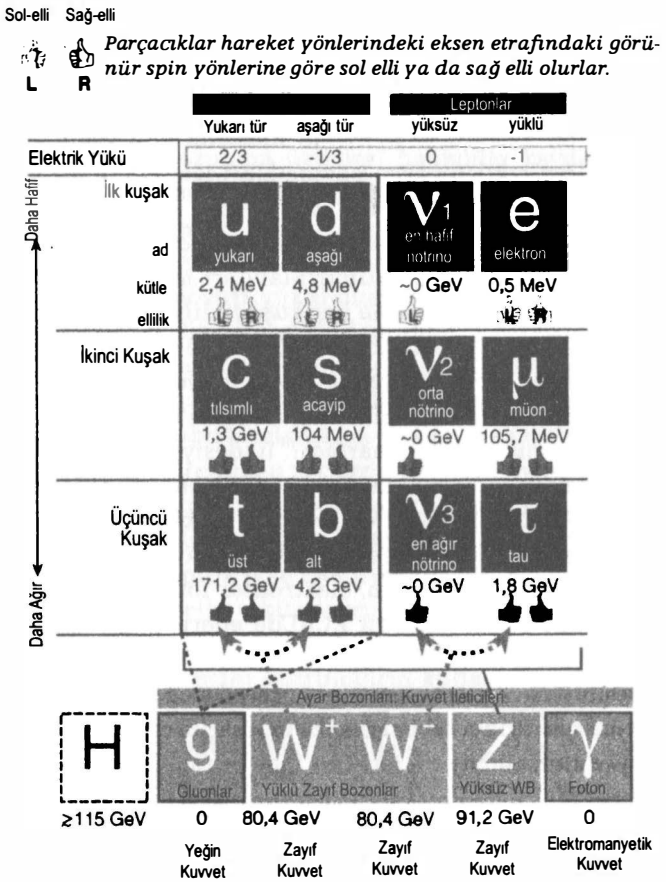
PARÇACIKLARIN TANINMASI

Parçacık fiziğindeki Standart Model temel parçacıklar ve bunların etkileşmeleri hakkında şu andaki kavrayışımızı özlü bir biçimde sınıflandırır (Şekil 40'ta özetlenmiştir).[1] Bu model bildiğimiz maddenin kalbinde yer alan yukarı kuark, aşağı kuark ve elektron gibi parçacıkları içermekle birlikte, aynı kuvvetlerle etkileşen ama doğada genel olarak bulunmayan, yalnızca yüksek enerjili çarpıştırıcı deneylerinde dikkatle inceleyebildiğimiz, bir dizi daha ağır parçacığa da yer verir. Standart Modelin bileşenlerinin LHC'de şu anda incelenen parçacıklar gibi çoğunluğu, akıllı deneysel ve kuramsal kavrayışlarla yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkarılıncaya kadar iyiden iyiye gizli durumdaydı.

LHC'de ATLAS ve CMS deneyleri Standart Model parçacıklarını saptamak ve tanımak üzere tasarlanmıştır. Gerçek hedef, elbette, zaten bildiklerimizin ötesine geçerek olağanüstü sırlar barındıran yeni bileşenler ve kuvvetler bulmaktır. Ama bunu yapabilmek için fizikçiler Standart Modeldeki ardalan olaylarını ayıklayabilmeli ve yeni, egzotik parçacıklara bozunabilecek Standart Model parçacıklarını tanımalıdır. LHC'deki deneyciler, ellerindeki verileri analiz ederek ipuçlarını bir araya getirmeye ve ne olup bittiğini ortaya çı-

[1] Bu tabloda sol ve sağ elli parçacıklar için farklı girişler vardır. Bu parçacıklar, kütlesiz bir parçacık için hareket yönündeki spini belirleyen kiralite özellikleriyle ayırt edilir. Kütleler her ikisini, örneğin sol ve sağ elli elektronları karıştırır. Bu tabloda kesin ayırt etme özelliği, etkileşme farklarından daha az önemlidir. Eğer tüm parçacıklar kütlesiz olsaydı, yukarı kuarkı aşağı kuarka çeviren ve yüksüz leptonlara yük kazandıran zayıf kuvvet sadece sol elli parçacıklar üzerinde etkili olurdu. Öte yandan, yeğin ve elektromanyetik kuvvetler her ikisinin üzerinde de etkilidir ve kuarklar sadece yeğin kuvvet altında yük kazanır.

karmaya çalışan dedektiflere benzerler. Ancak bilindik her şeyi bertaraf ettikten sonra yeni bir şeyin varlığını kabul edebilirler.



ŞEKİL 40 Parçacık fiziğinin Standart Modelindeki elemanlar kütleleriyle birlikte gösteriliyor. Ayrıca sol elli ve sağ elli parçacıklar da görülüyor. Parçacık türünü değiştiren zayıf kuvvet sadece sol elli parçacıklar üzerine uygulanır.

Genel amaçlı deneyleri gördükten sonra bu bölümde LHC'deki fizikçilerin yeni parçacıkları nasıl tanıdığını daha

iyi anlamak üzere, bu deneylere yeniden göz atacağız. Mevcut parçacık fiziğiyle bir parça aşinalık ve Standart Model parçacıklarının nasıl bulunduğu, IV. Kısımda LHC'nin keşif potansiyelini incelerken bize yardımcı olacaktır.

LEPTONLARIN BULUNMASI

Parçacık fizikçileri Standart Modeldeki temel madde parçacıklarını iki kategoriye ayırırlar. Elektron gibi yeğin nükleer kuvvetten etkilenmeyen parçacıkları içeren bir tür lepton adını alır. Standart Modelde elektronun, onunla aynı yükü taşıyan ama daha büyük kütleli olup *müon* ve *tau* adlarını taşıyan iki çeşidi daha bulunur. Standart Modeldeki her parçacığın, yükü aynı olan ama her *kuşağı* diğerinden daha ağır olan üç türü olduğu ortaya çıkıyor. Aynı yüke sahip parçacıkların neden üç türde ortaya çıktığın bilmiyoruz. Nobel ödüllü fizikçi Isidor Isaac Rabi müonun varlığını duyduğunda, şaşkınlığını "Bunu da kim ısmarladı?" ifadesiyle dile getirmişti.

Bulunması en kolay olanlar, hafif leptonlardır. Her ne kadar hem elektronlar hem de fotonlar elektromanyetik kalorimetrede enerji depoluyor olsa da, elektronlar yüklü, fotonlar ise yüksüz olduğundan, elektronlar fotonlardan kolayca ayrılır. Sadece bir elektron ECAL'de enerji depolamadan iç dedektörde bir iz bırakabilir.

Müonların tanınması da göreceli olarak kolaydır. Bütün diğer ağır Standart Model parçacıkları gibi müonlar da o kadar hızlı bozunurlar ki, sıradan maddenin yapısında bulunmadıklarından dünyada ender olarak gözlenirler. Ama yine de müonlar bozunmadan önce dedektörün dış kısımlarına ulaşacak kadar uzun yaşarlar. Bu nedenle deneycilerin iç dedektörden dış müon odacıklarına kadar izleyebildikleri uzun ve açıkça görülen izler bırakırlar. Müonlar bu dış dedektörlere ulaşabilen ve görülebilen işaretler bırakan yegâne Standart Model parçacıkları olduklarından, kolayca yakalanırlar.

Her ne kadar görülür olsalar da tauların bulunması o kadar kolay değildir. Tau da elektron ve müon gibi yüklü bir lepton olmakla birlikte daha da ağırdır. Ağır parçacıkların çoğu gibi kararsızdır, yani arkasında başka parçacıklar bı-

rakarak bozunur. Bir tau hızla daha hafif, yüklü bir leptona ve nötrino adı verilen iki parçacığa veya tek bir nötrino ile birlikte yeğin kuvvetten etkilenen ve pion adı verilen bir parçacığa bozunur. Deneyciler bu bozunma ürünlerini –başlangıçtaki parçacığın bozunduğu parçacıkları– inceleyerek bunların varlığından bozunan, ağır bir parçacığın sorumlu olup olmadığını, eğer öyleyse bu parçacığın özelliklerini bulmaya çalışırlar. Her ne kadar tau doğrudan bir iz bırakmasa da, deneycilerin bozunma ürünleri hakkında kaydettikleri bütün bilgi bu parçacığın tanınması ve özelliklerinin bulunmasında yardımcı olur.

Elektron, müon ve daha ağır olan tau leptonunun hepsinin yükü -1 olup, pozitif yüklü olan protonun yükünün tersidir. Çarpıştırıcılarda bu yüklü leptonların karşı-parçacıkları da yani pozitron, karşı-müon ve karşı-tau da üretilir. Bu karşı-parçacıklar da +1 yükü taşırlar ve dedektörlerde benzer görünüşlü izler bırakırlar. Ama yükleri ters olduğundan, manyetik alanın bulunduğu yerlerde ters yönlere bükülürler.

Tanımlanan üç tür yüklü leptona ek olarak, Standart Model hiç elektrik yükü taşımayan leptonlar olan nötrinoları da kapsar. Üç yüklü lepton hem elektromanyetik kuvvet hem de zayıf nükleer kuvvetle etkileşirken, nötrinoların yükü sıfır olduğundan elektrik kuvvetinden etkilenmezler. 1990'lara kadar, deneysel sonuçlar nötrinoların kütlesinin sıfır olduğunu gösteriyordu. O on yıldaki en ilginç keşiflerden biri, Standart Modelin yapısı konusunda önemli bilgiler veren, nötrinonun son derece küçük olmakla birlikte sıfırdan farklı bir kütlesi olduğunun bulunmasıydı.

Her ne kadar nötrinolar çok hafif, bu nedenle de çarpıştırıcıların erişebildiği enerjilerin içinde olsalar da, LHC'de doğrudan saptanabilmeleri olanaksızdır, çünkü elektik yükleri olmadığından çok zayıf etkileşirler, o kadar zayıf ki, her saniye güneşten gelen 50 trilyon nötrinonun içinizden geçiyor olmasına karşın, birisi söyleyene kadar bu durumdan haberiniz olmaz.

Görünmez olmalarına karşın fizikçi Wolfgang Pauli nötrinoların varlığını "ümitsiz bir çıkışla" nötronlar bozunduğun-

da enerjinin nereye gittiğini açıklamak üzere öngörmüştü. Bozunmadan sonra saptanan proton ve elektronun toplam enerjisi nötronun girdiğindeki enerjisine eşit olmadığından, enerjinin birazını taşıyan nötrinonun olmaması durumunda bu süreçte enerji korunmuyor gibi gözüküyordu. Zamanın Niels Bohr gibi en tanınmış fizikçileri bile ilkelerini kurban edip enerjinin yok olabileceğini kabul etmek üzereydiler. Pauli, bilinen fizik önermelerine daha sadıktı ve aslında enerjinin korunduğunu ama deneycilerin kalan enerjiyi taşıyan yüksüz parçacığı göremediklerini tahmin etti. Haklı da çıktı.

Pauli o zamanlar bu hayali parçacığa nötron adını vermişti ama bu ad başka amaçlarla, yani protonun çekirdekte bulunan yüksüz eşini nitelemek için kullanılagelmişti. O nedenle zayıf etkileşmeler kuramını geliştirmekle birlikte en çok ilk nükleer reaktörü geliştirmesindeki katkılarıyla tanınan İtalyan fizikçi Enrico Fermi bu parçacığa İtalyancada "küçük nötron" anlamına gelen nötrino adını verdi. Bu parçacık elbette nötronun küçüğü değildir ama tıpkı onun gibi yükü sıfırdır. Ve aslında nötrino nötrondan çok daha hafiftir.

Diğer Standart Model parçacıklarında olduğu gibi, nötrinonun da üç türü vardır. Her yüklü leptonla –elektron, müon ve tau– ilişkili bir nötrino vardır ve bu parçacıklar onlarla zayıf nükleer kuvvet aracılığıyla etkileşir.[2]

Elektron, müon ve tauların nasıl bulunacağını gördük. Leptonlar konusunda geriye kalan soru, deneycilerin nasıl bulacağıdır. Nötrinoların elektrik yükü olmadığından ve son derece zayıf etkileştiklerinden, dedektörden herhangi bir iz bırakmadan geçip giderler. LHC'de onların orada oldukları nasıl bilinebilir?

Momentum (parçacıklar yavaş hareket ederken hızla kütlenin çarpımı ama parçacık ışık hızına yakın bir hızla hareket ederken daha çok belirli bir yöne hareket eden enerji) her yönde korunur. Enerjide olduğu gibi momentumun da

[2] Üç tür nötrino üç yüklü leptonla zayıf kuvvet aracılığıyla etkileşirler. Ama bir kez üretildikten sonra sadece ilgili oldukları yüklü leptona bağlı kalmayıp, birbirlerine dönüşebilirler. Nötrinolar kimi zaman göreli kütlelerini belirten rakamlarla bazense bağlama uygun olarak yüklü leptonla tanımlanırlar.

kaybolduğuna ilişkin hiçbir zaman hiçbir kanıt bulunamadı. Dolayısıyla eğer dedektörde ölçülen parçacıkların toplam momentumu tepkimeye giren toplam momentumdan küçükse, bu süreçte kaybolan momentumu taşıyan ama gözlenemeyen bir ya da birkaç parçacık bulunmalıdır. Her şeyden önce Pauli'nin nötrinoların var olduğu sonucunu çıkarmasına neden olan (onun durumunda bu nükleer beta bozunumuydu) ve günümüze kadar görülemeyen ve zayıfça etkileşen parçacıkların varlığını öğrenmemizi sağlayan bu mantıktır.

Hadron çarpıştırıcılarında deneyciler demet yönüne dik momentumu ölçer ve bir şeyin eksik olup olmadığını hesaplarlar. Demet borusu yönünde parçacıklar tarafından büyük miktarlarda momentum taşınıyor olması nedeniyle iz sürmek zor olduğundan demete dik yöndeki momentuma odaklanırlar. Protonların başlangıçtaki yönlerine dik yöndeki momentumun ölçülmesi ve açıklanması daha kolaydır.

Başlangıçtaki çarpışmanın demet yönüne dik toplam momentumu esas olarak sıfır olduğu için son durumda da öyle olmalıdır. Dolayısıyla eğer ölçümler beklentilerle örtüşmezse, deneyciler bir şeyin eksik olduğunu "saptayabilirler". Geriye kalan tek soru bunun potansiyel olarak etkileşmeyen parçacıklardan hangisi olduğunun nasıl ayırt edileceğidir. Standart Model süreçlerinde nötrinoların saptanamayan elemanlar arasında olacağını biliyoruz. Ayrıntılarını yakında göreceğimiz, nötrinonun bilinen zayıf kuvvet etkileşmelerine dayanarak fizikçiler nötrinoların hangi hızda üretilmeleri gerektiğini hesaplar ve tahmin ederler. Buna ek olarak, fizikçiler bir W bozonunun neye benzemesi gerektiğini zaten bilirler; örneğin dik yöndeki momentumu W kütlesinin yarısıyla karşılaştırılabilecek miktarda enerji taşıyan, yalıtılmış bir elektron ya da müon çok karakteristiktir. O nedenle momentum korunumu ve kuramsal girdiler kullanılarak nötrinolar "bulunabilir." Bu parçacıkların üzerinde doğrudan gördüklerimize göre daha az sayıda tanıtıcı bilgi olduğu açıktır. Yalnızca kuramsal düşünceler ve kayıp enerji ölçümleri birlikte bize orada neyin olduğunu söyleyebilir.

Yeni keşifleri göz önüne aldığımızda böyle fikirleri akılda tutmak önemlidir. Yükü olmayan veya çok zayıf yüke sahip oldukları için doğrudan saptanamayan diğer özgün parçacıklarda da aynı düşünceler geçerlidir. Bu durumlarda orada ne olduğunu yalnızca kayıp enerji ve kuramsal girdiler birlikte söyleyebilir. Hermetiklik –olabildiğince çok momentum saptanması– bu nedenle çok önemlidir.

HADRONLARIN BULUNMASI

Şimdiye kadar leptonları ele aldık (elektronlar, müonlar, taular ve onlarla ilgili nötrinolar). Standart modelde geriye kalan parçacık sınıfı *hadron* adını alır ki bunlar yeğin nükleer kuvvet aracılığıyla etkileşen parçacıklardır. Bu sınıf, kuark ve gluonlardan oluşan proton ve nötron gibi parçacıkları ve *pion* adı verilen diğer parçacıkları içerir. Hadronların iç-yapıları vardır; bunlar yeğin nükleer kuvvet tarafından bir arada tutulan kuark ve gluonların bağlı durumlarıdır.

Bununla birlikte, Standart Modelde pek çok olası bağlı durum listelenmez. Bir arada hadronik durumlarda bağlı olan kuark ve gluon gibi daha temel parçacıklar listelenir. Proton ve nötronların içinde bulunan yukarı ve aşağı kuarklara ek olarak, daha ağır *tılsımlı*, *acayip*, *üst* ve *alt* kuarklar da vardır. Tıpkı yüklü ve yüksüz leptonlarda olduğu gibi, daha ağır kuarklar da, daha hafif karşılıkları olan yukarı ve aşağı kuarklarla aynı yüklere sahiptirler. Daha ağır kuarklar doğada hazır olarak da bulunmaz. Onları incelemek için de çarpıştırıcılara gereksinmemiz vardır.

Hadronlar (ki yeğin kuvvetle etkileşirler) parçacık çarpışmalarında leptonlardan (yeğin kuvvetle etkileşmezler) çok farklı görünürler. Bunun temel nedeni, kuark ve gluonların çok kuvvetli etkileştikleri için tek başlarına bulunamamalarıdır. Her zaman özgün parçacığı da içerebilecek olan ama her zaman da yeğin kuvvetle etkileşen diğerlerinden bir demeti içeren ve "jet" adı verilen bir fışkırmanın ortasında bulunurlar. Jetler tek parçacıklardan değil, Şekil 41'de görüldüğü gibi, başlangıçtaki parçacığı "koruyan", yeğin etkileşen parçacık serpintilerinden oluşur. Başlangıçtaki olayda

bulunmasa bile, yeğin etkileşmeler ilk aşamada fışkırmayı başlatan kuark ve gluondan birçok yeni kuark ve gluonlar yaratacaktır. Protonların kendileri yeğin kuvvetle etkileşen parçacıklardan oluştuğu için, proton çarpıştırıcılarında çok miktarda jetler üretilir. Böyle parçacıklar onlarla birlikte hareket eden ve yeğin etkileşen parçacıklardan oluşan pek çok serpinti üretir. Bazen de farklı yönlere hareket eden ve kendi bağımsız jetlerini yaratan kuark ve gluonlar da yaratırlar.

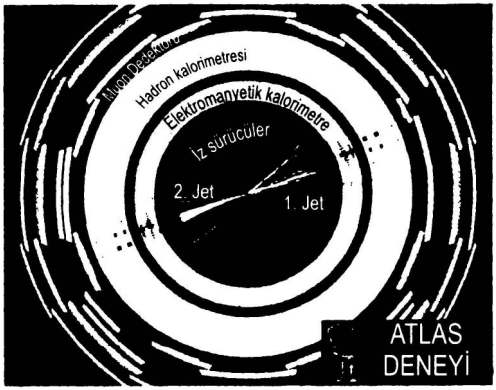
West Side Story'deki "Jet Song"tan buraya aldığım *Warped Passages* aslında hadron fışkırmalarını son derece iyi tanımlıyor:

You're never alone
You're never disconnected!
You're home with your own:
When company is expected,
*You're well protected.**

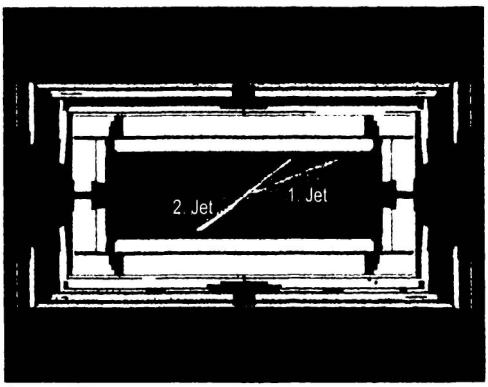
Kuarklar –ve çetenin çoğu üyeleri– kendi başlarına değil, yeğin etkileşen yoldaşlarının arasında bulunur.

Jetlerin içindeki parçacıklardan bazıları yüklü olduğundan, bunlar genelde görülür izler bırakır. Ve bu jetler kalorimetrelere ulaştığında, orada enerji depolar. İlkin, analitik ve bilgisayar hesapları kadar dikkatli deneysel çalışmalar da deneycilerin bu fışkırmaları yaratan hadronların özelliklerini çıkarmalarına yardımcı olur. Bu durumda bile yeğin etkileşmelerle oluşan jetler, kuark ve gluonları gizler. Kuark ve gluonun kendisini değil, içinde bulundukları jeti ölçersiniz. Bu da çoğu kuark ve gluon jetini diğerlerinden ayırmayı olanaksız kılar. Hepsi de çok miktarda enerji depolar ve birçok iz bırakırlar. (Dedektörlerin belli başlı Standart Model parçacıklarını nasıl tanıdığının şeması için Şekil 42'ye bakınız.)

* *Hiçbir zaman yalnız değilsin / Kopuk değilsin / Evde bir başınasın / Arkadaşlık beklendiği zaman / İyi korunmuş durumdasın* –yn.



kesit görünüş

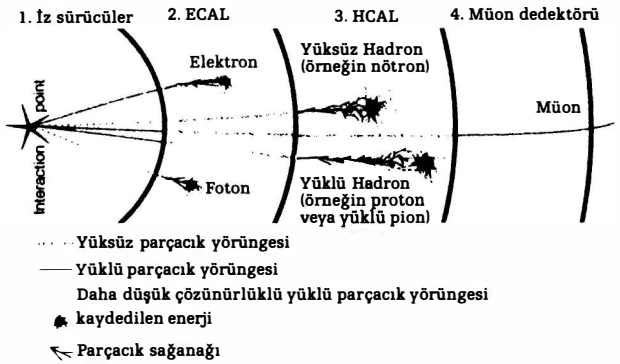


yandan görünüş

ŞEKİL 41 Jetler kuark ve gluon yaratacak şekilde yeğin etkileşen parçacık fışkırmalarından oluşur. Resimde bunların iz sürücülerde ve hadronik kalorimetrede saptanmaları görülüyor (CERN'in izniyle değiştirilmiş fotoğraf).

Bir jetin özelliklerini ölçtükten sonra bile, farklı kuark ya da gluonlardan hangisinin o jeti başlattığını söylemek olanaksız değilse de çok zordur. Alt kuark –aşağı (ve daha ağır olan acayip) kuarkla aynı yüke sahip olan en ağır kuarktır– bu kuralın bir istisnasını oluşturur. Alt kuarkın özel olmasının nedeni, öteki kuarklara göre daha yavaş bozunuyor olmasıdır. Diğer kararsız kuarklar esas olarak ortaya çıktıkları

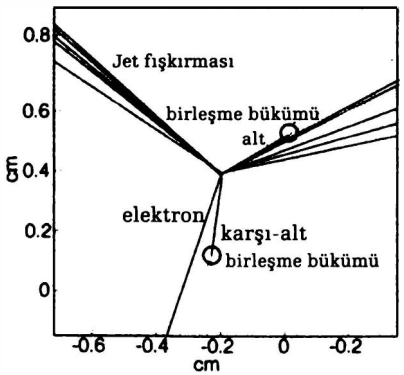
andan hemen sonra bozunurlar, o nedenle bozunma ürünlerinin izleri protonların çarpıştıkları etkileşme noktasından başlıyormuş gibi görünür. Öte yandan alt kuarklar etkileşme noktasından oldukça uzun bir iz bırakmaya yetecek kadar (yaklaşık bir buçuk pikosaniye veya ışık hızıyla yarım milimetre iz bırakacak kadar) uzun yaşarlar. İç silisyum dedektörler, Şekil 43'te görüldüğü gibi, yer değiştirmiş olan bu tepe noktasını belirlerler.



ŞEKİL 42 Standart Model parçacıklarının dedektörlerde nasıl ayırt edildiğinin bir özeti. Yüksüz parçacıklar iz sürücülerde görülmez. Hem yüklü hem de yüksüz hadronlar ECAL'de küçük birikimler bırakabilirlerse de enerjilerinin çoğunu HCAL'de depolarlar. Müonlar dış dedektörden geçer.

Deneyciler bir alt kuark bozunumunun izini yeniden oluşturduklarında, olayın merkezinde bu iz ilk etkileşme noktasına kadar uzanmaz. Bunun yerine iz, iç iz sürücüde alt kuarkın bozunduğu yerden başlıyormuş gibi görünür ve izlerde gelen alt kuarkla çıkan bozunma ürününün arasındaki birleşme yeri olan bir bükülme görülür.[3] Silisyum dedektörlerin ince bölümlendirilmesiyle deneyciler demete yakın bölgede ayrıntılı izlere bakabilirler ve zamanın önemli bir bölümünde alt kuarkları başarıyla tanımlarlar.

[3] Eğer başlangıçtaki *b* mezonu yüksüzse, bunun yerine bozunma noktasından başlayan ve yüksüz başlangıç durumundan hiçbir iz bulunmayan bir iz görürsünüz.



ŞEKİL 43 Alt kuarklardan oluşan hadronlar diğer yüklü parçacıklara bozunmadan önce dedektörde görülebilir bir iz bırakacak kadar uzun yaşarlar. Bu, silisyum tepe dedektörlerinde, alt kuarkların tanınmasında kullanılabilecek bir bükülme izi bırakabilir.

Deneysel bakış açısına göre ayırt edici olan diğer kuark türü, çok ağır olmasından dolayı özel olan üst kuarktır. Üst kuark, yukarı kuarkla aynı yüke sahip olan üç kuarkın en ağırıdır (diğeri tılsımlı olarak adlandırılır). Kütlesi, farklı yüke sahip olan alt kuarktan 40 kat, üst kuarkla aynı yükü taşıyan yukarı kuarktan ise 30.000 kat büyüktür.

Üst kuarklar, bozunma ürünleri belirgin izler bırakacak ölçüde ağırdırlar. Daha hafif kuarklar bozunduğunda, bozunma ürünleri, tıpkı başlangıçtaki parçacık gibi ışık hızına o kadar yakın bir hızla hareket eder ki, aslında jetin merkezi iki ya da daha fazla bozunma ürünü olsa bile, tek bir jet gibi görünürler. Öte yandan, son derece yüksek enerjili olmadıkları sürece üst kuarklar görünür bir şekilde alt kuarklara ve *W* bozonlarına bozunurlar ve bunların her ikisinin de bulunmasıyla tanımlanırlar. Üst kuarkın ağır kütlesi onun en yakından Higgs parçacığıyla ve yakında anlamayı umduğumuz zayıf ölçek fiziğindeki diğer parçacıklarla etkileşeceğini ifade ediyor olduğundan, üst kuarkların özellikleri ve etkileşmeleri, Standart Modelin temelindeki fiziksel kuramlar hakkında değerli ipuçları sağlayabilir.

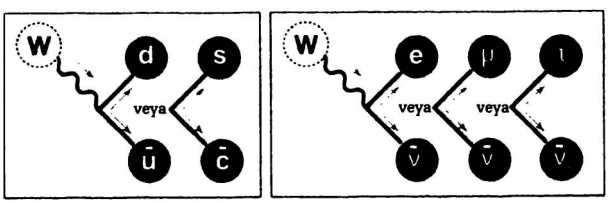
ZAYIF KUVVET TAŞIYICILARININ BULUNMASI

Standart Modeldeki parçacıkların nasıl tanınacağını incelemeyi bitirmeden önce ele alacağımız son parçacıklar zayıf

ayar bozonları, yani zayıf nükleer kuvveti ileten iki *W* ve *Z* parçacıklarıdır. Zayıf ayar bozonlarının kendilerine özgü, garip özellikleri, foton ve gluonların tersine, kütlelerinin sıfırdan farklı olmasıdır. Zayıf kuvveti ileten zayıf ayar bozonlarına ilişkin kütleler, bazı önemli sırlar barındırırlar. Bu kütlenin kökeni –bu bölümde incelenen diğer temel parçacıkların kütlelerinde olduğu gibi– yakında göz atacağımız Higgs mekanizmasındadır.

W'ler ve *Z* ayar bozonları ağır olduklarından, hemen bozunurlar. Bu ise *W* ve *Z* bozonlarının, üst kuark ve diğer kararsız ağır parçacıklarda olduğu gibi, sadece bozundukları parçacıklar sayesinde tanınabilecekleri anlamına gelir. Ağır yeni parçacıkların aynı zamanda kararsız olma olasılıkları olduğundan, zayıf ayar bozonu bozunmalarını, bozunan parçacıkların başka ilginç özelliklerini örneklemekte kullanacağız.

Bir *W* bozonu, zayıf kuvvete duyarlı bütün parçacıklarla (yani incelediğimiz tüm parçacıklarla) etkileşir. Bu da *W*'ya çok sayıda bozunma seçenekleri tanır. Herhangi bir yüklü leptona (elektron, müon veya tau) ve onlarla ilgili nötrinoya bozunabilir. Aynı zamanda, Şekil 44'te gösterildiği gibi, bir yukarı ve bir aşağı kuarka ya da bir tılsımlı ve acayip kuark çiftine de bozunabilir.



ŞEKİL 44 ***W*** **bozonu yüklü bir lepton ve onunla ilgili nötrinoya veya bir yukarı ve bir aşağı kuarka ya da bir tılsımlı ve bir acayip kuarka bozunabilir. Gerçekte bu fiziksel parçacıklar farklı türde kuark ve nötrinoların bir üstdüşümüdür. Bu durum *W*'nun zaman zaman eşanlı olarak farklı kuşaktan parçacıklara bozunumuna olanak sağlar.**

Parçacık kütleleri izinli bozunmaların belirlenmesinde de kritik öneme sahiptir. Bir parçacık sadece kütlelerinin toplamı kendi kütlesinden küçük olan parçacıklara bozunabilir. Her ne kadar *W* bozonu yukarı ve aşağı kuarklarla etkileşiyor olsa da, üst kuark *W*'dan daha ağır olduğundan bu bozunma izinli değildir.[4] *W*'nun iki kuarka bozunumunu ele alalım. Bu durumda deneyciler her iki bozunum ürününü de ölçerler (nötrino "eksik" olduğundan lepton ve nötrino için doğru değildir). Enerji ve momentum korunduğundan, her iki *son durum* kuarkının toplam enerji ve momentumunun ölçülmesi bize, bunlara bozunan parçacığın, yani *W*'nun enerji ve momentumunu verir.

Bu noktada Einstein'ın özel görelilik kuramının kuantum mekaniğiyle birleşmesi hikâyeyi biraz daha ilginç kılıyor. Einstein'ın özel görelilik kuramı bize kütlenin enerji ve momentumla ilgisinin ne olduğunu bildirir. Çoğu kimse $E = mc^2$ formülünü bilir. Eğer m durağan iken parçacığın yapısal kütlesi olan m_0 olarak yorumlanırsa, bu formül durağan parçacıklar için geçerlidir. Parçacıklar hareketli olduğunda ise momentumları vardır ve çok daha tam olan $E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4$ formülü devreye girer.[5] Bu formülle enerji ve momentum deneycilerin parçacığın kütlesini bulabilmeleri olanaklıdır, başlangıçtaki parçacık çoktan bozunarak yok olmuş olsa bile. Deneyciler bütün momentum ve enerjiyi toplar, bu denklemi uygularlar. Daha sonra da ilk kütle belirlenir.

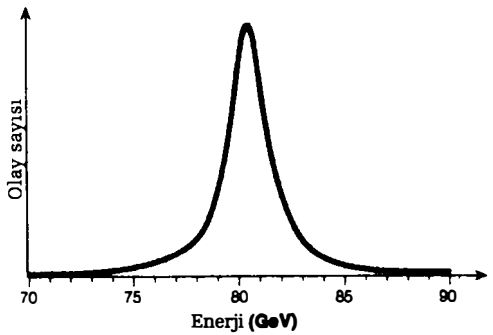
Kuantum mekaniğinin rol almasının nedeni daha inceliklidir. Bir parçacık her zaman tam olarak gerçek ve doğru kütlesine sahipmiş gibi görünmez. Parçacık bozunabileceği için, enerjiyi kesinlikle ölçmenin sonsuz zaman alacağını söyleyen kuantum mekaniksel belirsizlik bağıntısı bize, sonsuz süre yaşamayan bir parçacığın enerjisinin kesin olarak bilinemeyeceğini anlatır. Bu enerji, bozunma hızlı ve yaşam süresi kısa olduğunda daha büyük miktarlarda yanılgı payı

---

[4] *W*, üst kuark ve alt kuark arasındaki ilişki, bununla birlikte, üst kuarkın bir alt kuark ve bir *W*'ya bozunabilmesinin nedenidir.

[5] Momentum ve enerjiye bağlı olan göreli kütle de tanımlanabilir ama sonuç aynıdır.

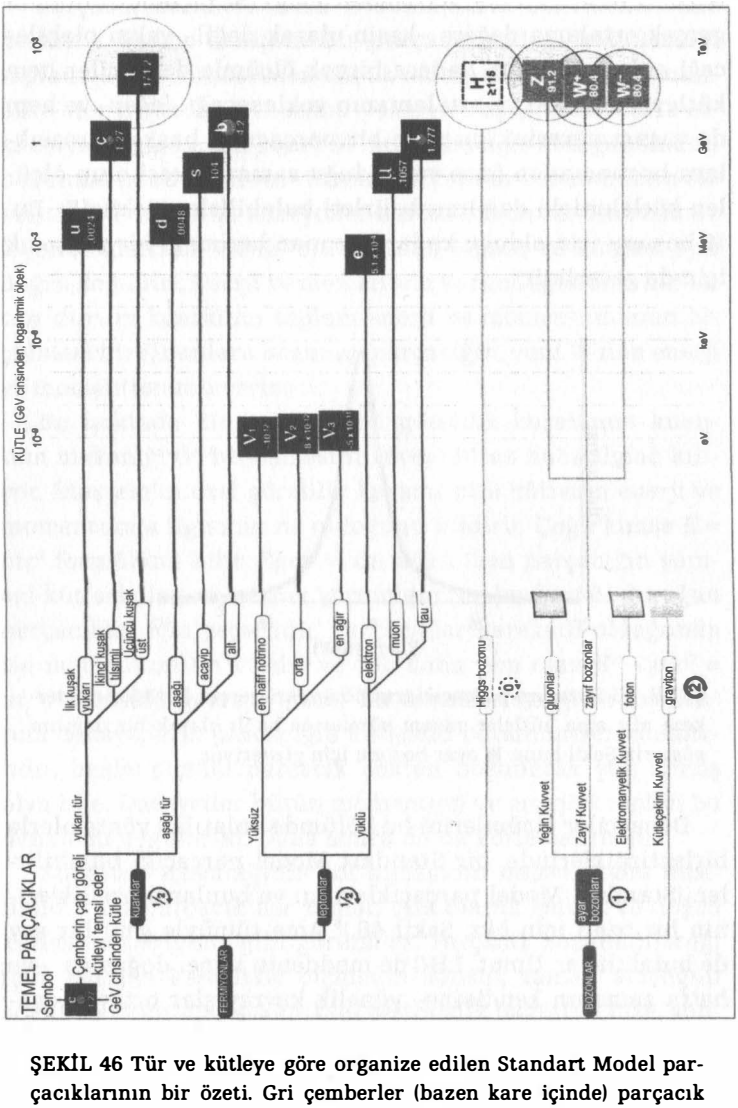
barındırabilir. Bu ise, verilen herhangi bir ölçümde kütlenin gerçek ortalama değere –kesin olarak değil– yakın olabileceği anlamına gelir. Sadece birçok ölçümle deneyciler hem kütleyi –en olası ve ortalamanın yaklaşacağı değer– ve hem de yaşam süresini (bu süre bir parçacığın başka parçacıklara bozunmadan önce var olduğu zaman süresi olup ölçülen kütlelerdeki dağılımı belirler) bulabilirler (Şekil 45). Bu, *W* bozonu için olduğu kadar bozunan herhangi bir parçacık için de geçerlidir.



ŞEKİL 45 Bozunan parçacıkların ölçümleri gerçek kütlelerini merkeze alır ama kütleler yaşam sürelerine bağlı olarak bir dağılım gösterir. Şekil bunu *W* ayar bozonu için gösteriyor.

Deneyciler ölçümlerini bu bölümde anlatılan yöntemlerle birleştirdiklerinde, bir Standart Model parçacığı bulabilirler. (Standart Model parçacıklarının ve bunların özelliklerinin bir özeti için *bkz.* Şekil 46.)[6] Ama tümüyle yeni bir şey de bulabilirler. Umut, LHC'de maddenin temel doğasına –ve hatta zamanın kendisine– yönelik kavrayışlar ortaya koyacak, yeni egzotik parçacıklar bulunmasıdır. Önümüzdeki bölümde daha ilginç olasılıkların bazıları keşfediliyor.

[6] Dikkat edilirse bu dağılım, kuantum mekaniği tarafından ayırt edilen parçacık sınıfları olan bozon ve fermiyonları ayırt ediyor. Kuvvet taşıyıcıları ve varsayımsal Higgs parçacıkları bozonlardır. Tüm diğer Standart Model parçacıkları fermiyonlardır.



ŞEKİL 46 Tür ve kütleye göre organize edilen Standart Model parçacıklarının bir özeti. Gri çemberler (bazen kare içinde) parçacık kütlelerini veriyor. Burada Standart Model parçacıklarının elemanlarının gizemli çeşitliliğini görüyoruz.

Kısım IV

MODELLEME, TAHMİN ETME VE SONUÇLARIN BEKLENMESİ

ON BEŞİNCİ BÖLÜM

GERÇEKLİK, GÜZELLİK VE DİĞER BİLİMSEL KAVRAM HATALARI

2007 Şubatında Nobel ödüllü fizikçi Murray Gell-Mann, bilim, teknoloji, edebiyat, eğlence ve ön sıralardaki diğer sektörlerde çalışan yenilikçilerin yılda bir kez bir araya gelerek çok çeşitli konulardaki yeni gelişme ve kavrayışları tartıştıkları kalburüstü TED toplantısında bir konuşma yaptı. Murray'nin dinleyicileri hoşnut eden ve ayakta alkışlanan konuşmasının konusu bilimde gerçeklik ve güzellikti. Bu konuşmanın temel önermesi, yine onun John Keats'ten aldığı kendi sözleriyle özetlenebilir: "Gerçeklik güzelliktir ve güzellik gerçekliktir."

Gell-Mann'ın bu büyük söze inanmak için iyi nedenleri vardı. Kuarklar konusundaki en önemli, Nobel ödülü alan keşiflerinden bazılarını, 1960'lardaki deneylerde keşfedilen ve görünüşe göre rastgele olan verilerin şık bir biçimde organize edilebilmesi için bir ilke ararken yapmıştı. Murray'nin deneyimlerine göre güzellik –ya da en azından sadelik– arayışı yine gerçekliğe çıkmıştı.

Dinleyicilerden hiç kimse onun bu iddiasına karşı çıkmadı. Ne de olsa çoğu kimse güzellik ve gerçekliğin yan yana olduğu ve çoğu zaman insanın birini ararken diğerini ortaya çıkaracağı düşüncesini seviyordu. Ama itiraf etmeliyim ki ben bu varsayımı biraz muğlak buluyordum. Her ne kadar herkes hem güzelliğin büyük bilimsel kuramların tam kalbinde olduğuna inanmayı seviyor, hem de gerçeklik her zaman estetik olarak tatmin edici olsa da, güzellik en azından kısmen öznel bir ölçüt olup hiçbir zaman gerçekliğin güvenilir bir belirleyicisi olamaz.

Gerçeklik ve güzelliğin tanımlanmasındaki temel sorun, her zaman değil bazen tutmasıdır. Eğer gerçeklik ve güzellik eşdeğerli olsaydı, "çirkin gerçek" deyimi sözcük haznelerimize asla girmezdi. Bu sözcükler bilime doğru özel olarak yönlendirilmemiş olsa bile, dünya hakkındaki gözlemler her zaman güzel değildir. Darwin'in meslektaşı Thomas Huxley "Bilim, birçok güzel kuramın çirkin olgularla öldürüldüğü, örgütlenmiş sağduyudur," dediğinde bu düşünceyi çok güzel ifade etmişti.[1]

Konuyu daha da güçleştiren, fizikçilerin dünya ve dünyanın ögelerinin tam olarak güzel olmadıkları yolundaki rahatsız edici gözlemlerini de hesaba katmalarının gerekmesidir. Gözlediğimiz çok fazla sayıdaki karmaşık olayları ve parçacıklardan oluşan bir hayvanat bahçesini anlamaya çalışıyoruz. İdeal olarak fizikçiler böyle bütün gözlemleri açıklayabilecek, sadece az sayıda kuralı ve olası en az sayıda bileşeni olan, sade bir kuram bulmaktan hoşnut olurlardı. Ama sade, zarif ve birleştirici bir kuram –herhangi bir parçacık fiziği deneyinin sonucunu tahmin etmekte kullanılabilecek bir kuram– ararken, onu bulabilsek bile, bu kuramı dünyamızla ilişkilendirmek için başka birçok adım atmamız gerektiğini biliyoruz.

Evren karmaşıktır. Genelde sade, yetersiz bir formülleştirme çok daha karmaşık olan dış dünyayla ilişkilendirmek için yeni bileşenlere ve ilkelere gerek duyarız. Bu ek bileşenler öne sürülen ilk formülleştirmede var olan güzelliği tahrip edebilir, tıpkı tahsislerin bir kongre yasa tasarısının başlangıçtaki idealist mevzuatını etkilemesi gibi.

Potansiyel tehlikeler dikkate alındığında, bildiklerimizin ötesine geçmeye çalışmak için nasıl işe koyuluruz? Henüz açıklanamamış olayları nasıl yorumlamaya çalışırız? Bu bölümde güzellik düşüncesi, bilimde estetik ölçütlerin rolü ve bir kılavuz olarak güzelliğin avantajları ve dezavantajları işleniyor. Burada aynı zamanda, daha sonra neyin geleceğini tahmin etmeye çalışırken estetik ölçütlere dikkat edilmesi ve bilime aşağıdan yukarıya yaklaşımı kullanan *model yapımı* da ele alınıyor.

---

[1] Stewart, Ian. *Why Beauty is Truth?* [*Güzellik Neden Gerçekliktir?*, Alfa-Bilim Yayınları, 2015] (Basic Books, 2007).

GÜZELLİK

Geçenlerde konuştuğum bir sanatçı mizah yollu modern bilimdeki ironilerden birinin, günümüzdeki araştırmacıların güzelliği bir amaç olarak belirlemelerinin çağdaş sanatçılardan çok daha olası olmasına işaret etti. Elbette sanatçılar estetik ölçütlerden vazgeçmiş değildir ama en azından işlerini tartışırken büyük olasılıkla keşif ve icatlardan da söz ediyorlardır. Bilim insanları bu diğer niteliklerin de üzerine titrerler ama aynı zamanda en ilginç buldukları, en zarif kuramları bulmak için de mücadele ederler.

Ama pek çok bilimcinin zarafete verdiği değere karşın, neyin sade ve güzel olduğu konusunda birbirinden farklı görüşleri olabilir. Nasıl siz ve komşunuz Damien Hirst gibi çağdaş bir sanatçının artistik yetenekleri konusunda şiddetle karşı görüşlerde olabilirseniz, farklı bilim insanları da bilimin farklı yönlerini daha tatmin edici bulur.

Benzer düşüncedeki araştırmacılarla birlikte ben, yüzeysel olarak apayrı gibi görülen olayların arasındaki bağlantıları aydınlatan temel ilkeleri araştırmayı tercih ederim. Sicim kuramındaki meslektaşlarımın çoğu, zor matematiksel formülleştirmeler kullanarak, çok daha sonra gözlenebilir fiziksel olaylara uygulamaları bulunabilecek olan oyuncak problemleriyle (mutlaka gerçek bir fiziksel sistemle ilişkili olmayan) uğraştıkları, özel, çözülebilir kuramlarla ilgilenirler. Başka fizikçiler sistematik olarak hesaplayabildikleri birçok deneysel tahmini üreten şık bir şekilcilik barındıran kuramlar üzerine odaklanmayı tercih ederler. Başkalarıysa sadece hesap yapmayı sever.

İlginç ilkeler, ileri düzeyde matematik ve karmaşık nümerik simülasyonların hepsi de fiziğin parçalarıdır. Çoğu bilim insanı hepsine değer verir ama önceliğimizi en hoşumuza gidene veya bilimsel ilerleme sağlama olasılığı en yüksek olana göre belirleriz. Gerçekte çoğu zaman da yaklaşımımızı hangi yöntemin bizim eğilim ve yeteneklerimize en uygun olduğuna göre seçeriz.

Sadece güzelliğe çağdaş bakış değişmekle kalmaz. Sanatta da doğru olduğu üzere, tavırlar zamanla evrilir. Murray

Gell-Mann'ın kendi uzmanlık alanı, kuantum kromodinamiği buna mükemmel bir örnek oluşturur.

Gell-Mann'ın yeğin nükleer kuvvet hakkındaki varsayımları, 1960'larda sürekli olarak keşfedilen çok sayıdaki parçacığın nasıl varlıklarını ve bolluklarını açıklayabilecek, anlamlı kategoriler şeklinde düzenlenebileceği konusundaki parlak kavrayışına dayanıyordu. Kuark olarak adlandırılan ve yeni bir tür yük taşıdığını öne sürdüğü daha temel parçacıkların var olduğu konusunda bir önerme ortaya atmıştı. Bu durumda yeğin nükleer kuvvet, varsayılan bu yükü taşıyan bütün parçacıkları etkileyecek ve tıpkı elektrik kuvvetinin elektronlarla yüklü çekirdekleri bağlayarak yüksüz atomlar oluşturması gibi, kuarkları bir arada bağlayarak yüksüz nesneler oluşturacaktı. Eğer bu gerçekse, keşfedilen bütün parçacıklar bu kuarkların bağlı durumları, net bir yük taşımayan madde kümeleri olarak yorumlanabilirdi.

Gell-Mann eğer her biri farklı bir renk yükü taşıyan, üç farklı tür kuark varsa, böyle birçok yüksüz bağlı durum birleşimi oluşacağını fark etmişti. Ve bu birçok birleşim, bulunan pek çok parçacığa karşılık geliyor olabilirdi (ve olmuştu). Gell-Mann böylece açıklanamaz bir parçacık karmaşasına güzel bir açıklama bulmuş oluyordu.

Ama Murray ve fizikçi (sonradan nörobiyolog) George Zweig bu fikri ilk kez öne sürdüklerinde insanlar bunun doğru dürüst bir bilimsel kuram olduğuna bile inanmamışlardı. Bunun nedeni biraz teknik olmakla birlikte ilginçtir. Parçacık fiziğinde hesaplar, birbirlerinden uzakta olduklarında etkileşmeyen parçacıklara dayanır, böylece birbirlerine yaklaştıklarında ortaya çıkacak tepkimenin sınırlı etkilerini hesaplayabiliriz. Bu varsayımla etkileşen parçacıklar birbirlerine yakın olduklarında herhangi bir etkileşim, uygulanan yerel kuvvetler tarafından yakalanabilir.

Öte yandan, Gell-Mann'ın varsaydığı kuvvet, parçacıklar birbirlerinden uzakta olduğunda daha büyüktü. Bu da, birbirlerinden çok uzakta olsalar bile kuarkların her zaman etkileşecekleri anlamına geliyordu. O zamanlar hüküm süren ölçütlere göre, Gell-Mann'ın tahminleri, güvenilir he-

saplar için kullanılabilecek, gerçek bir kurama bile karşılık gelmiyordu. Kuarklar daima etkileştikleri için, *asimptotik durumlar* –diğer her şeyden uzak olan kuarkları içeren durumlar– bile çok karmaşıktır. Görünüşte çirkinliğe verilen bir ödün olarak, varsaymış oldukları asimptotik durumlar bile, hesaplanabilir bir kuramda görmek isteyeceğimiz basit parçacıklar değildi.

Başlangıçta hiç kimse kuvvetle bağlı bu karışık durumlar arasındaki hesapların nasıl düzenleneceğini bilmiyordu. Fakat günümüzde fizikçiler yeğin kuvvet hakkında bunun tam tersini düşünüyorlar. Bu kuvveti artık fikrin ilk öne sürüldüğü günden çok daha iyi anlıyoruz. David Gross, David Politzer ve Frank Wilczek "asimptotok özgürlük" adını verdikleri konuyla Nobel Ödülü kazandılar. Onların yaptığı hesaplara göre bu kuvvet sadece düşük enerjilerde yeğindir. Yüksek enerjilerde yeğin kuvvet, ötekilerden çok daha büyük değildir ve hesaplar olması gerektiği şekilde sonuçlanır. Aslında, günümüzde kimi fizikçiler, etkileşim kuvveti yüksek enerjilerde sonsuz büyümeyeceği için, yüksek enerjilerde çok daha zayıflayan yeğin kuvvet gibi kuramların yegâne iyi tanımlı kuramlar olduğunu düşünüyorlar.

Gell-Mann'ın yeğin kuvvet kuramı estetik ve bilimsel ölçütler arasındaki karşılıklı etkileşimin ilginç bir örneğidir. Sadelik onun ilk kılavuzuydu. Ama önerisinin güzelliği konusunda herkesin hemfikir olması için zor bilimsel hesaplar ve kuramsal kavrayışlar gerekiyordu.

Bu, elbette tek örnek değildir. En güvenilir kuramlarımızın çoğunun yüzeysel olarak öylesine çirkin ve caydırıcı yanları vardır ki, saygın ve kabul görmüş bilim insanları bile bunları ilk görüşte reddetmiştir. Parçacık fiziğinin temelinde kuantum mekaniği ile özel göreliliği birleştiren kuantum alan kuramı bulunur. Ama Nobel Ödülü kazanan İtalyan bilim insanı Enrico Fermi (ve başkaları) bu kuramı başlangıçta reddetmişlerdi. Ona göre sorun, her ne kadar kuantum alan kuramı bütün hesapları şekillendirip sistematik hale getiriyor ve birçok doğru tahminde bulunuyor olsa da, günümüzdeki bazı fizikçilerin bile barok olarak nitelendirdikleri

hesap tekniklerinin kullanılıyor olmasıydı. Kuramın çeşitli yanları kesinlikle güzel olup önemli kavrayışlara yol açmıştır. Bütün inceliklerinden etkilenmiyor olsak da, diğer yanlarına katlanmamız gerekiyor.

Bu öykü o zamandan bu yana kendini birçok kez tekrarladı. Güzellik üzerinde genellikle sonradan hemfikir olundu. Zayıf etkileşmeler parite simetrisini ihlal eder. Bu, sol spinli parçacıkların sağ spinlilerden farklı etkileşeceği anlamına gelir. Sol-sağ eşdeğerliği gibi temel bir simetrinin kırılması doğal olarak rahatsız edici ve itici gelir. Ama yapı ve yaşam için gerekli olduğu ortaya çıkan, yeryüzünde gördüğümüz kütle çeşitliliğinden de işte bu asimetri sorumludur. İlk başta çirkin olduğu düşünüldü ama şimdi artık temel olduğunu biliyoruz. Her ne kadar kendi içinde çirkin olsa da, parite simetri kırılması, gördüğümüz bütün maddenin temelinde bulunan, daha karmaşık olaylara güzel açıklamalar getirir.

Güzellik mutlak değildir. Bir düşünce yaratıcısına hoş görünebilir ama başka birinin perspektifinden kullanışsız ve dağınık olabilir. Bazen, daha önce ileri sürülmüş ama işe yaramamış olanları düşündüğümde, karşılaştığım bir hipotezin güzelliğine hayran olurum. Ama öncekinden daha iyi olmak güzelliği garantilemez. Kendi payıma, bu ölçüte uyan modelleri yapmış ama yine de bu modellerin ilgili olduğu konuya benim kadar yakın olmayan meslektaşlarımca kuşku ve şaşkınlıkla karşılanmış biri olarak ben, iyi fikrin daha iyi bir ölçütünün, o problem üzerinde hiç çalışmamış olan birinin de bu fikri çekici bulması olabileceğini düşünüyorum.

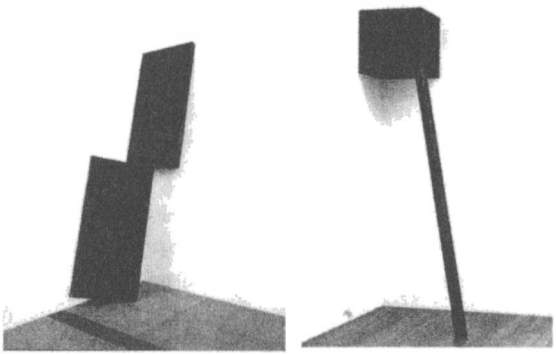
Bunun tersi de kimi zaman doğrudur; yaratıcıları çirkin olduğunu düşündüğünden iyi fikirler reddedilir. Max Planck, fotonların varlığının tahmin edilmesiyle sonuçlanan mantık zincirini başlatmış olmasına karşın, hoş olmayan bir kavram olduğunu düşündüğü fotonlara inanmıyordu. Einstein, kendi genel görelilik denklemlerinden çıkan genişleyen evrenin, kısmen kendi estetik ve felsefi önermeleriyle çeliştiğinden doğru olamayacağını düşünüyordu. Bu düşüncelerden hiçbiri, zamanında çok güzel görünmemiş olabilir ama fizik yasaları ve bunların uygulandığı evren buna aldırış etmemiştir.

İYİ GÖRÜNMEK

Güzelliğin evrim geçiren ve belirsiz doğası bilindiğine göre, bir fikri ya da görüntüyü objektif olarak, evrensel bir albenisi olacak şekilde güzel kılabilecek olan özelliklerden bazılarını ele almaya değer. Estetik ölçütler hakkında belki de en temel soru, insanların –herhangi bir bağlamda– sanat olsun, bilim olsun, neyin güzel olduğu konusunda bir ölçütlerinin olup olmadığıdır.

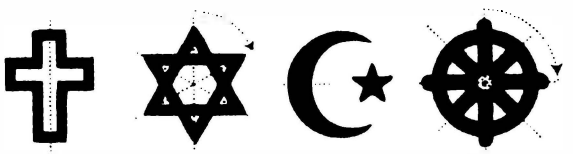
Henüz bunun yanıtını kimse bilmiyor. Ne de olsa güzellik tat almayı içerir ve tat alma öznel bir ölçüt olabilir. Yine de insanların bazı ortak estetik ölçütleri olmadığına inanmak bana zor geliyor. Bir sergide hangi sanat eserinin en güzel olduğu veya görülmesi seçilen sergiler konularında genelde insanların fikirleri arasında çarpıcı benzerlikler buluyorum. Elbette aynı zaman ve mekânı paylaştığımızdan bu, herhangi bir şeyi kanıtlamaz. Güzellik hakkındaki inançları belirli kültürel bağlamdan ya da ortaya çıktıkları dönemden soyutlamak zor olduğundan, kalıtsal olanları öğrenilmiş değerler ya da yargılardan soyutlamak zordur. Kimi uç durumlarda, insanların tümü bir şeyin güzel göründüğü ya da zevksiz ve kaba göründüğü konusunda aynı fikirde olabilir. Ve bazı ender durumlarda herkes bir fikrin güzelliği konusunda hemfikir olabilir. Ama bu birkaç durumda bile, insanlar bütün ayrıntılar konusunda mutlaka aynı fikirde olmak zorunda değildir.

Bu durumda bile bazı estetik ölçütler evrensel gibi görünür. Güzel sanatlar okullarının ilk yıllarında denge öğretilir. Floransa'daki Accademia Gallery'de bulunan Michelangelo'nun *Davut* eseri buna bir örnektir. *Davut* güzel ve zarif durur. Yuvarlanacak ya da düşecek gibi değildir. İnsanlar bulabilecekleri yerlerde denge ve uyum ararlar. Sanat, din ve bilimin hepsi insanlara bu değerlere erişim fırsatı sözü verirler. Fakat elbette denge, basitçe bir düzenleme ilkesi de olabilir. Richard Serra'nın ilk heykellerinde gördüğümüz gibi, sanat denge duygumuzu kışkırttığında da olağanüstü olabilir (Şekil 47).



ŞEKİL 47 Bu erken dönem Richard Serra heykelleri, hafifçe dengesiz olduğunda sanatın daha ilginç olduğunu gösteriyor. (Copyright @ 2011 Richard Serra/Artists Right Society [ARS], New York.)

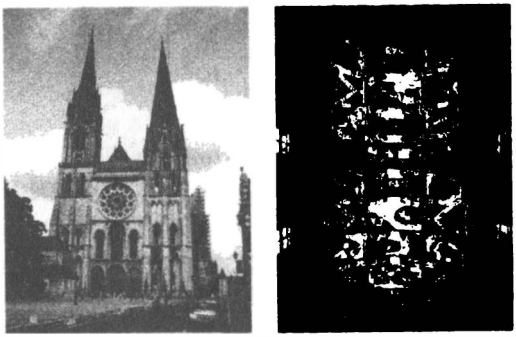
Simetri de sık sık güzelliğin temeli olarak ele alınır, sanat ve mimarlıkta simetrik desenler sergilenir. Bir şeyi eğer örneğin döndürerek, bir aynadan yansıtarak veya bölümlerinin yerlerini değiştirerek ilk halinden ayırt edilemez şekilde değiştirebiliyorsanız simetriktir. Simetrinin ahengi büyük olasılıkla dini sembollerde sergilenmesinin nedenidir. Hıristiyan haçı, Yahudi yıldızı, Budizm'deki dharma çemberi ve İslam'ın hilali bunun örnekleri olup Şekil 48'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 48 Dini sembollerde simetri çok sık kullanılır.

Daha genişletilirse, temsili remin yasak olduğu ve geometrik şekillere dayanan İslam sanatı, simetri kullanımıyla öne çıkar. Hindistan'daki Tac Mahal bunun görkemli bir örneğidir. Tac Mahal'i ziyaret edip de onun ustalıklı düzenliliğinden, şeklinden ve simetrisinden etkilenmemiş hiç kim-

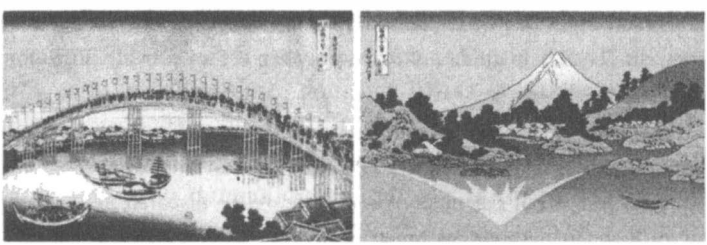
seye rastlamadım. Güney İspanya'da Fas sanatının ve onun ilginç simetrik desenlerinin de kullanıldığı Elhamra Sarayı, günümüzde hâlâ varlığını koruyan en güzel yapılardan biridir.



ŞEKİL 49 Chartres Katedralinin mimarisinde ve Sistine Şapelinin tavanında da simetrik desenler bulunur.

Ellsworth Kelly veya Bridget Riley'in çalışmaları gibi çağdaş sanat eserlerinde de simetri açık bir biçimde ve geometrik olarak sergilenir. Gotik sanatta ve Rönesans sanatında da –örneğin Chartres Katedrali ve Sistine Şapelinin tavanına bakınız– simetriden zarifçe yararlanılmıştır (Şekil 49).

Ama yine de sanat çoğu zaman tümüyle simetrik olmasa da çok güzeldir. Japon sanatı zarafetiyle olduğu kadar iyi tanımlanmış simetri kırılmasıyla da dikkat çeker. Japon tabloları ve ipek perdeleri, Şekil 50'de görülebileceği gibi, insanın gözünü resimde dolaştırmasıyla sonuçlanan bir yönelime sahiptir.



ŞEKİL 50 Japon sanatı kısmen sergilediği asimetri yüzünden ilginçtir.

Sadelik de güzelliği değerlendirirken yardımcı olabilecek bir başka ve kimi zaman da bununla ilişkili bir ölçüttür. Bazen sadelik simetriden kaynaklanır ama simetri olmasa bile temelde bir düzen bulunabilir. Jackson Pollock eserlerinde, her ne kadar ilk izlenim kaotik olsa bile, boyanın yoğunluğunda temel bir sadelik vardır. Tek tek fırça darbeleri tümüyle rastgele gibi görünebilirse de, en ünlü ve en başarılı tablolarında resme giren her renk oldukça birörnek yoğunluklara sahiptir.

Sanatta sadelik çoğu zaman aldatıcı da olabilir. Bir zamanlar Matisse'in, yaşlı ve zayıf olduğu dönemlerde çizdiği, en basit birkaç eskizini çizmeye çalışmıştım. Ama eskizleri kopyalamaya çalışırken o kadar da basit ve sade olmadıklarını fark ettim, en azından benim beceriden yoksun ellerim için. Basit elemanlar bizim yüzeysel olarak gördüğümüzden çok daha fazla ayrıntı barındırıyor olabilir.

Her durumda, güzellik sadece basit temel biçimlerde bulunmaz. Bazı ünlü sanat eserleri, örneğin Raphael ve Tiziano'nun resimlerinde pek çok iç elemanı olan zengin, karmaşık tuvaller vardır. Ne de olsa tam bir sadelik sıkıcı ve bezdirici olabilir. Sanata baktığımızda gözümüze kılavuzluk eden, ilginç bir şeyleri tercih ederiz. İzleyebileceğimiz kadar sade olmasını isteriz, sıkıcı ölçüde basit olmasını değil. Dünyanın yapısı da böyledir.

BİLİMDE GÜZELLİK

Estetik ölçütleri saptamak zordur. Bilimde, sanatta da olduğu gibi, birleştirici temalar varsa da mutlaklıklar yoktur. Ama bilimde estetik ölçütlerin tanımlanması zayıf olsa bile, yine de yararlı olup her yerde, her zaman vardırlar. Başarıyı ya da gerçekliği garantilemeseler bile, araştırmamızı yönlendirmeye yardımcı olurlar. Bilime uyguladığımız estetik ölçütler sanat için özetlediklerimize çok benzer. Simetriler elbette önemli bir rol oynar. Hesaplarımızı düzenlememize yardım eder ve görünüşe göre birbirleriyle ilgisiz olguları ilişkilendirir. İlginç olan, tıpkı sanatta olduğu gibi bilimde de simetrilerin sadece yaklaşık olmasıdır. En iyi bilimsel

betimlemeler çoğu zaman dünyamız hakkında tahminlerde bulunmak için gerekli olan simetri kırılmalarını kapsarsa da, simetrik kuramların zarafetine uyar. Simetri kırılması kapsadığı fikirleri zenginleştirir ve böylece daha fazla açıklayıcı güç kazandırır. Ve genelde sanatta doğru olduğu gibi, simetri kırılmalarını kapsayan kuramlar, kusursuz derecede simetrik olanlardan daha güzel bile olabilir.

Temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu olan Higgs mekanizması buna mükemmel bir örnektir. Önümüzdeki bölümde açıklanacağı üzere Higgs mekanizması zayıf kuvvete ilişkin simetrilerin hafifçe nasıl kırılabileceğini ikna edici bir biçimde açıklar. Henüz Higgs bozonunu, yani bu düşüncenin doğru olduğu konusunda su götürmez bir kanıt sağlayacak olan parçacığı bulamadık. Ama kuram o kadar güzel ve hem deneylerin hem de kuramın gerektirdiği ölçütleri öylesine güzel karşılıyor ki, çoğu fizikçi bunun doğada gerçekleştiğine inanıyor.

Sadelik, kuramsal fizikçiler için bir başka öznel ölçüttür. Gördüğümüz karışık olayların altında basit elemanların yattığına ilişkin, kökü derinlere giden bir inancımız var. Bütün gerçekliğin oluştuğu ya da benzediği bu basit, temel elemanlar konusundaki arayış uzun süre önce başladı. Eski Yunanda Platon dünya üzerindeki cisimlerin sadece yaklaşık benzerleri olduğu, mükemmel biçimler –geometrik şekiller ve ideal varlıklar– olduğunu hayal etmişti. Aristoteles de ideal biçimlere inanıyordu ama o, fiziksel cisimlerin benzeri oldukları ideallerin sadece gözlemler yoluyla ortaya çıkarılabileceğini düşünüyordu. Dinler de sık sık gerçeklikten uzak olmakla birlikte onunla bir şekilde bağlantılı olan, daha mükemmel ve daha birleşik bir durum öne sürerler. Cennetten kovulma öyküsü bile idealleştirilmiş, daha önceki bir dünyanın var olduğunu farz eder. Her ne kadar modern fiziğin soruları ve yöntemleri atalarımızınkilerden çok farklı olsa da, pek çok fizikçi de daha sade bir evren arıyor; felsefede ya da dinde değil ama dünyamızı oluşturan temel bileşenlerde.

Temeldeki bilimsel gerçeği arayış sık sık, gözlediğimiz karmaşık ve zengin olayları oluşturabileceğimiz basit bi-

leşenlerin arayışını kapsar. Böyle araştırmalar çoğunlukla anlamlı desenlerin ve düzenleme ilkelerinin tanınmasıyla bağlantılıdır. Çoğu bilim insanı, sadece basit ve şık fikirlerin özlü bir şekilde kavranmasıyla bir önerinin doğru olma potansiyeli taşıyacağını umar. En az girdi içeren bir başlangıç noktasının bir başka avantajı, en büyük tahmin gücü vaat etmesidir. Parçacık fizikçileri Standart Modelin kalbinde neyin olabileceği konusundaki önerileri ele alırken, bir fikrin anlaşılması çok külfetli olduğunda genellikle kuşkucu olurlar.

Yine, sanatta olduğu gibi, fiziksel kuramlar kendi içlerinde basit olabilecekleri gibi, basit ama öngörülebilir elemanlardan oluşmuş, karmaşık bileşikler de olabilirler. Başlangıçtaki bileşenlerin –ve belki de kuralların kendilerinin bile– basit olmalarına karşın, son nokta elbette basit olmayabilir.

Böyle arayışların en uç türü, küçük bir dizi kurala uyan, birkaç basit elemandan oluşan bir birleştirme kuramı arayışıdır. Bu arayış tutkulu –kimileri gözü pek de diyebilir– bir görevdir. Açık bir engel bizi, bütün gözlemleri tam olarak açıklayan, şık bir kuram bulmaktan alıkoyabilir: çevremizdeki dünya böyle bir kuramın barındırması gereken sadeliğin çok küçük bir kısmını dışa vurur. Bir birleşik kuram, sade ve şık olmakla birlikte bir şekilde gözlemlerle uyumlu bir yapıya da sahip olmalıdır. Bütün fiziğin temelinde yatan sade, şık ve tahmin edilebilir tek bir kurama inanmak isteriz. Ama evren kuramlar gibi saf, sade ve düzenli değildir. Birleştirici, temel bir tanımla bile onu dünyamızda gördüğümüz göz kamaştırıcı ve karmaşık olaylarla bağdaştırmak için çok araştırma gerekecektir.

Elbette bu güzellik ve sadelik nitelendirmesinde çok uç noktalara gidebiliriz. Bizim dalımızdaki ya da matematik bölümündeki öğrenciler arasında standart bir espri, ne kadar karmaşık olursa olsun, iyi anlaşılmış olgulardan söz ederken "önemsiz" sözcüğünü kullanan hocalarla ilgilidir. Hoca yanıtı, temel elemanları ve mantığı zaten çok iyi bilir ama bu durum, sınıfta oturan öğrenciler için pek doğru değildir. Geçmişe bakarak, problemi basit parçalara ayırdıkla-

rında onlara da önemsiz gelebilir. Ama onlar önce bunu nasıl yapacaklarını keşfetmelidirler.

MODEL YAPIMI

Sonuçta, tıpkı hayatta olduğu gibi, bilimde de güzellik için tek bir ölçüt yoktur. Sadece bilgiye ulaşmak için yaptığımız araştırmayı yönlendirmekte kullanacağımız bazı önsezilere –elbette deneysel kısıtlarla birlikte– ihtiyacımız vardır. Güzelliğin –hem sanatta hem de bilimde– bazı objektif yanları olabilir ama neredeyse tüm uygulamalarda tat alma ve öznellik vardır.

Bununla birlikte, bilim insanları için, büyük bir fark vardır. Sonunda hangi fikirlerimizin doğru olduğuna deneyler karar verir. Bilimsel gelişmeler estetik ölçütlerden yararlanabilir ama gerçek bilimsel ilerleme aynı zamanda anlayış, tahmin ve verilerin analizini gerektirir. Bir kuram ne kadar güzel görünürse görünsün, yine de yanlış olabilir ve bu durumda fırlatılıp atılması gerekir. Entelektüel anlamda en doyurucu kuram bile gerçek dünyada işlemiyorsa bir kenara bırakılmalıdır.

Yine de, doğru fiziksel tanımları belirleyen yüksek enerjilere ve büyük uzaklıklara ulaşana kadar fizikçilerin Standart Modelin ötesinde nelerin olduğunu tahmin etmek için estetik ve kuramsal düşünceleri kullanmaktan başka seçenekleri yoktur. Bu arada, ileri yönü göstermek üzere, sınırlı verileri kullanarak tat alma ve düzenleme ölçütleriyle harmanlanmış olup halen var olan bilmecelere dayanırız.

İdeal olarak çeşitli olasılıkların sonuçları üzerinde çalışabilmek isteriz. *Model yapımı* bu amaçla kullandığımız yaklaşımın adıdır. Meslektaşlarım ve ben, Standart Modelin temelinde yatıyor olabilecek fiziksel kuramları tahmin etmeye çalışan çeşitli parçacık fiziği modellerini araştırırız. Hepimizin amacı, kolaylıkla görülebilir ölçeklerde ortaya çıkan karmaşık olayları düzenleyen basit ilkeleri bulmaktır. Böylece kavrayışımızdaki şu andaki bilmeceleri çözebiliriz.

Fizik model yapıcıları etkin kuram bakış açısını ve giderek daha küçük ölçekleri anlama isteğini yürekten benimser.

Bildiklerimizle –hem açıklayabildiğimiz hem de bize bilmece gibi gelen olaylar– başlayan, "aşağıdan yukarıya" bir yaklaşım izler ve gözlenen temel parçacık özellikleri ile bunların etkileşimleri arasındaki ilişkileri açıklayan, temel bir modele ulaşmaya çabalarız.

"Model" terimi bir binanın mimarisini araştıran ve sergileyen, küçük ölçekli benzeri gibi fiziksel bir yapı çağrışımı yapabilir. Ya da iklim modellemesi veya bulaşıcı hastalıkların yayılma modeli gibi, bilgisayarlarda bilinen fiziksel ilkelerin sonuçlarını hesaplayan nümerik simülasyonlar aklınıza gelebilir.

Parçacık fiziğindeki modelleme bu tanımların her ikisinden de farklıdır. Bununla birlikte parçacık modelleri modellerin dergilerdeki ya da moda gösterilerindeki zarafetlerinin birazını paylaşır. Hem podyumlarda hem de fizikte modeller, yaratıcı yeni fikirleri sergiler. Ve insanlar başlangıçta güzel olanların, ya da en azından daha çarpıcı ve şaşırtıcı olanların başına üşüşür. Ama sonunda gerçekten gelecek vaat edenlere doğru yaklaşırlar.

Benzerliklerin burada sona erdiğini sanırım söylemeye gerek yok.

Parçacık fiziği modelleri, öngörüleri hâlihazırda sınanmış olan ve anladığımız kuramların temelinde nelerin olduğu konusundaki tahminlerdir. Estetik ölçütler hangi fikirlerin izlenmeye değer olduğunun kararlaştırılmasında önemlidir. Ama tutarlılık ve bu fikirlerin sınanabilir olması da önemlidir. Modeller, farklı temel fiziksel bileşenleri ve deneysel olarak henüz sınanmamış olanlardan daha küçük uzaklıklara ve boyutlara uygulanan ilkeleri nitelendirir. Farklı kuramsal varsayımların esasını ve sonuçlarını modellerle belirleyebiliriz.

Modeller, daha yüksek açıklayıcı gücü olan, daha kapsamlı kuram önerileri yaratmak üzere, bilinenlerden başlayan tahmin araçlarıdır. Deneylerle daha küçük uzaklıklara ve daha yüksek enerjilere erişmemize ve temellerindeki hipotez ve öngörüleri sınamamıza izin verdiğinde doğruluklarını ya da yanlışlıkları belli olacak olan örnek önerilerdir.

"Kuramın" "modelden" farklı olduğunu aklımızdan çıkarmamamız gerekir. Sözcük kuramına göre, gündelik dilde kullanılanlara benzeyen, kaba spekülasyondan söz etmiyorum. Bilinen parçacıklar ve bunların uyduğu, bilinen kurallar bir kuramın, yani elemanların nasıl etkileştiğini tahmin etmekte kullanılan, kurallar ve denklemlerle birlikte bir grup eleman ve ilkeden oluşan bir setin bileşenleridir.

Ancak, bir kuramı ve çıkarımlarını tam olarak anlamış olsak bile, bu aynı kuram birçok farklı şekilde uygulanabilir ve bunların gerçek dünyadaki fiziksel sonuçları da farklı olur. Modeller bu olasılıkları örneklemenin bir yoludur. Bilinen fiziksel ilkeleri ve elemanları birleştirerek gerçekliğin tanımının bir adayını oluştururuz.

Eğer kuramı bir PowerPoint şablonu olarak düşünürseniz, model sizin belirli bir sununuz olur. Kuram animasyonlara izin verir ama model sadece sizin konuyu anlatmak için ihtiyacınız olanları kapsar. Kuram, bir başlık ve bazı madde imlerinden söz ederken model tam olarak anlatmak istediklerinizi ve umulur ki görevinize iyi uygulanabilecek olanları içerir.

Fizikteki model yapımının doğası fizikçilerin yanıtlamaya çalıştıkları sorulara göre değişmiştir. Fizik her zaman mümkün olan en az sayıdaki varsayımdan mümkün olan en çok sayıdaki fiziksel büyüklüğü hesaplamaya çalışır ancak bu en temel kuramları bile hemen tanıyabileceğimiz anlamına gelmez. Fizikteki ilerlemeler çoğu zaman her şeyin en temel düzeyde anlaşılmasından bile önce gerçekleşmiştir.

On dokuzuncu yüzyılda fizikçiler sıcaklık ve basınç kavramlarını anladılar ve birinin çıkıp da bunları çok daha temel mikroskobik düzeyde, çok büyük sayıdaki atom ve molekülün rasgele hareketlerinin sonucu olarak açıklayabilmesinden çok önce bunları termodinamikte ve motor tasarımında kullandılar. Yirminci yüzyılın başlarında fizikçiler kütleyi elektromanyetik enerji cinsinden açıklayacak modeller yapmaya çalıştılar. Her ne kadar bu modeller, bu sistemlerin nasıl çalıştığı konusundaki güçlü ortak inançlara dayanıyor olsalar da, bu modellerin yanlışlığı kanıtlandı.

Kısa bir süre sonra Niels Bohr insanların gözlediği salma spektrumunu açıklamak üzere bir atom modeli geliştirdi. Bu modelin yerini çok geçmeden Bohr'un temel düşüncesini özümleyip geliştiren, çok daha kapsamlı kuantum mekaniği kuramı aldı.

Günümüzde model yapıcıları parçacık fiziğindeki Standart Modelin ötesinde neyin olduğunu belirlemeye çalışıyor. Her ne kadar günümüzde çok iyi sınanıp anlaşıldığı için Standart Model olarak adlandırılıyor olsa da, geliştirildiği zamanlarda bilinen gözlemlerin nasıl bir araya getirileceğine ilişkin tahminlerden oluşuyordu. Bununla birlikte, Standart Model önermelerinin nasıl sınanacağı konusundaki tahminleri ifade ettiği için, deneyle sonuçta bu modelin doğruluğunu gösterebilir.

Standart Model şimdiye kadar yapılan bütün gözlemlere doğru bir biçimde açıklama getiriyorsa da, fizikçiler henüz bu modelin tam olmadığı konusunda kendilerinden çok eminler. Özellikle temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu olan hassas parçacıklar ve etkileşmeler –Higgs sektörünün elemanları– ve bu sektördeki parçacıkların neden o özel kütlelere sahip oldukları konusundaki soruyu açık bırakır. Standart Modelin ötesine geçen modeller bu soruları yanıtlayabilecek daha derin potansiyel iç bağlantıları ve ilişkileri aydınlatır. Bu modeller, uygulanabilecekleri uzaklık ve enerji ölçeklerini olduğu kadar, temel varsayımların ve fiziksel kavramların özel seçkilerini de içerir.

Şu anda yapmakta olduğum araştırmanın çoğu bu yeni modeller hakkında düşünmeyi olduğu kadar, aksi takdirde yeni olayları kaçıracak olan özgün veya daha ayrıntılı araştırma stratejilerini de kapsıyor. Kendi yarattığım modellerle birlikte bütün diğer olasılıkları da düşünürüm. Parçacık fizikçileri parçacıklar, kuvvetler ve izinli etkileşmeler gibi kapsanabilecek eleman türlerini ve kuralları bilirler. Ama gerçekliği oluşturmak için bu bileşenlerden hangilerinin reçeteye girdiğini tam olarak bilmiyoruz. Bilinen kuramsal bileşenleri uygulayarak son karmaşık kurama giren basit, temel fikirleri tanımlamaya girişiriz.

Bunun kadar önemli olmak üzere, modeller deneysel keşif için hedefler sağlar ve fizikçilerin şimdiye kadar deneysel olarak incelediklerinden daha kısa uzaklıklarda parçacıkların nasıl davranacağına ilişkin önerilerde bulunurlar. Ölçümler, rekabet halindeki adayları birbirinden ayırt etmemiz için gereken ipuçlarını verirler. Henüz en alttaki temel kuramın ne olduğunu bilmiyoruz ama yine de Standart Modelden olası sapmaları karakterize edebiliriz. Temeldeki gerçeklik ve onun sonuçları için aday modeller hakkında düşünerek, modellerin doğru olması durumunda LHC'de nelerin ortaya çıkarılması gerektiğini tahmin edebiliriz. Model kullanımımız düşüncelerimizin spekülatif doğasına izin verir ve var olan verilerle bağdaşabilen ve kafa karıştırıcı olayları açıklayabilen çok sayıda olasılığı ayırt eder. Sadece bazı modellerin doğruluğu kanıtlanacaktır ama bu modelleri yaratmak ve anlamak seçenekleri ayıklamanın ve ikna edici bileşenleri biriktirmenin en iyi yoludur.

Modelleri ve bunların ayrıntılı sonuçlarını araştırmak deneycilerin neyi aramaları gerektiğini belirlememize yardımcı olur. Modeller deneycilere yeni fiziksel kuramları nitelendiren ilginç özellikleri bildirir, böylece deneyciler modeli yapanın, sistemin ilişkilerini ve etkileşmelerini yönlendiren elemanları ya da fiziksel ilkeleri doğru tanımlayıp tanımlamadığını sınayabilir. Ölçülebilir enerjilerde uygulanan yeni fiziksel yasaları olan herhangi bir model, yeni parçacıklar ve bunların arasında yeni ilişkiler öngörmelidir. Çarpışmalardan hangi parçacıkların çıktığını ve bunların özelliklerini gözlemek, var olan parçacık türlerinin, kütlelerinin ve etkileşmelerinin belirlenmesinde yardımcı olmalıdır. Yeni parçacıkların bulunması veya farklı etkileşmelerin ölçülmesi, öne sürülen modelleri doğrulayacak veya devre dışı bırakacak, böylece daha iyilerine yol açacaktır.

Yeterince veriyle deneyler hangi temel modelin doğru olduğunu belirleyecektir, en azından inceleyebileceğimiz hassaslık, uzaklık ve enerji düzeylerinde. Umut edilen, LHC'deki enerjilerde erişebildiğimiz en küçük uzaklık ölçeklerinde temel kuramın koyduğu kuralların, ilgili fizik yasalarının et-

kisini saptayıp hesaplayabilmemize olanak verecek ölçüde basit olacağıdır.

Fizikçiler hangilerinin çalışmaya değer, en iyi modeller olduğu ve deneysel araştırmalarda bunları en iyi açıklayacak, en yararlı yolun ne olduğu konularında hararetli tartışmalar yaparlar. Sık sık deneyci meslektaşlarımla oturur, onların araştırmalarını yönlendirmekte ne kadar iyi olduğunu tartışırız. Belirli modellerdeki özel parametreleri olan kontrol noktaları çok mu özeldir? Bütün olasılıkları göz önüne almanın daha iyi bir yolu var mıdır?

LHC deneyleri o kadar zordur ki, kesin araştırma hedefleri olmaksızın sonuçlar Standart Model zemininde boğucu olur. Deneyler var olan modeller göz önünde bulundurularak tasarlanır ve optimize edilir ama çok daha genel olasılıklar da araştırılır. Kimse çok özel modellerin araştırmaları önyargılı hale getirmesini istemediğinden, deneycilerin ortaya çıkacak olası yeni olayları kapsayacak, geniş bir model yelpazesinden haberdar olmaları gerekir.

Kuramcılar ve deneyciler herhangi bir şey kaçırmadığımızdan emin olmak için çok çalışıyorlar. Farklı önerilerden hangisinin doğru olduğunu veya doğru olup olmadığını deneysel olarak kanıtlanana kadar bilemeyeceğiz. Önerilen modeller gerçekliğin doğru bir tanımı olabilir ama olmasalar bile, bize henüz keşfedilmemiş maddenin ayırt edici özelliklerini anlatan ilginç araştırma stratejileri ortaya koyarlar. Umut edilen LHC'nin bize bu yanıtları vereceği yolundadır ve bunlar ne olursa olsun, hazırlıklı olmak istiyoruz.

ON ALTINCI BÖLÜM

HIGGS BOZONU

30 Mart 2010 sabahı, bir gece önce CERN'de gerçekleşen başarılı 7 TeV enerjili çarpışmaları konu alan bir e-posta sağanağıyla uyandım. Bu zafer, LHC'deki gerçek fizik programının başlangıcını gösteriyordu. Önceki yılın sonuna doğru gerçekleşen ivmeler ve çarpışmalar teknik anlamda kritik kilometre taşlarıydı. Bu olaylar aletlerini artık sadece bu aletlerin içinden geçen kozmik ışınlarla değil, özgün LHC çarpışmalarından gelen verilerle ayarlayıp daha iyi anlayacak olan LHC deneycileri için önemliydi. Ama sonraki bir buçuk yılda CERN'deki dedektörler, fizikçilerin modelleri sınırlamak ya da doğrulamak için kullanabilecekleri gerçek verileri kaydedecekti. Birçok iniş ve çıkıştan sonra en sonunda LHC'de fizik programı başlamıştı.

Bu program neredeyse tam planlandığı gibi devam etti ki bu, bir gün önce gazetecilerin varlığı nedeniyle o günün teknik hedeflerinden ödün verilebileceği yolunda kaygılarını dillendiren, deneysel çalışan meslektaşlarıma göre iyi bir şeydi. Gazeteciler (ve orada bulunan herkes), kısmen eğer herhangi bir şey ters giderse tetiklenmek üzere kurulan koruma mekanizmalarından kaynaklanan birkaç yanlış başlangıca tanık oldu. Ama birkaç saat içinde demetler turladı ve çarpıştı. Gazete ve web sitelerinin elinde yayımlayabilecekleri çok güzel resimler oldu.

7 TeV çarpışmalar hedeflenen LHC enerjisinin sadece yarısında gerçekleşti. Hedeflenen gerçek enerji olan 14 TeV'e birkaç yıl daha ulaşılamayacaktı. 7 TeV çalışmasında amaçlanan ışıma gücü –yani saniyedeki proton çarpışması sayısı– tasarımcıların özgün olarak planladıklarının çok altındaydı.

Yine de bu çarpışmalarla en sonunda LHC yoluna girmişti. Sonunda maddenin en içyapısı konusundaki kavrayışımızın çok yakında gelişeceğine inanabilirdik. Ve eğer her şey yolunda giderse, birkaç yıl içinde makine kapatılacak, hızı artırılacak ve tam kapasiteyle yeniden çalışarak beklediğimiz yanıtları vermeye başlayacaktı.

En önemli amaçlardan biri temel parçacıkların kütlelerini nasıl edindiklerini öğrenmek olacaktı. Çevremizdeki her şey neden sıfır kütleli parçacıklardan bekleneceği gibi ışık hızında hareket etmiyordu? Bu sorunun yanıtı, aralarında *Higgs Bozonu*'nun da bulunduğu ve toplu olarak *Higgs Sektörü* adı verilen bir parçacıklar setine bağlıdır. Bu bölümde söz konusu parçacık konusundaki başarılı bir araştırmanın, temel parçacık kütlelerinin edinilmelerine ilişkin düşüncelerimizin doğru olup olmadığını nasıl göstereceği açıklanıyor. LHC yeniden çalışmaya başladığında daha büyük yeğinlik ve daha yüksek enerjiyle yapılacak araştırmalar, bu kritik ve görece önemli olayın temelindeki parçacık ve etkileşmeler konusunda bilgi vermelidir.

HIGGS MEKANİZMASI

Hiçbir fizikçi Standart Modelin şu ana kadar incelediğimiz enerjilerde işleyip işlemediğini sorgulamıyor. Deneylerle bu modelin beklentilerle yüzde bir hassasiyetle örtüşen birçok tahminini sınadı.

Ama yine de, Standart Model şimdiye kadar hiç kimsenin gözleyemediği bir bileşene dayanıyor. Adını Britanyalı fizikçi Peter Higgs'den alan Higgs mekanizması temel parçacıkların kütlelerini edinmesi için bilinen tek tutarlı yoldur. Standart Modelin daha sade bir türünün temel önermelerine göre ne kuvvetleri ileten ayar bozonlarının, ne de Standart Modelde esas olan kuark ve lepton gibi parçacıkların kütleleri sıfırdan farklı olmalıdır. Ama fiziksel olayların ölçümleri bunun açıkça böyle olduğunu gösteriyor. Temel parçacıkların kütleleri evrende yapının oluşumu şöyle dursun, bir atomdaki elektron yörüngesinin yarıçapı veya zayıf kuvvetin son derece zayıf olan erimi gibi atom ve parçacık fiziği olaylarını

bile anlamak açısından kritiktir. Kütleler aynı zamanda $E = mc^2$ denklemine göre, temel parçacıkların yaratılması için ne kadar enerji gerektiğini belirler. Ama Higgs mekanizmasının olmadığı bir Standart Modelde temel parçacıkların kütleleri bir sır olurdu. Kütle edinmeleri mümkün olmazdı.

Parçacıkların kütleleri konusunda devredilemez haklarının olması, gereksizce zorba bir kavram gibi görünebilir. Son derece mantıklı olarak bu parçacıkların her zaman sıfırdan farklı kütlelere sahip olma seçeneğine sahip olmalarını bekleyebilirsiniz. Ama Standart Modelin ince yapısı ve herhangi bir kuvvet kuramı işte bu kadar acımasızdır. İzinli kütleleri sınırlar. Ayar bozonlarına getirilen açıklamalar, fermiyonlara getirilenlerden biraz daha farklı görünecektir ama her ikisinin altındaki mantık da herhangi bir kuvvet kuramının merkezinde bulunan simetrileri ilişkilendirir.

Parçacık fiziğindeki Standart Model elektromanyetik, zayıf ve yeğin nükleer kuvvetleri içerir ve her kuvvet bir simetriyle ilişkilidir. Kuantum mekaniği ve özel göreliliğin bunları tanımladığını söylediği kuram, böyle simetriler olmaksızın ayar bozonlarının, yani bu kuvvetleri ileten parçacıkların çok fazla salınım kipi bulunacağını tahmin eder. Simetrilerin olmadığı bir kuramda, kuramsal hesaplamalar sahte salınım kipleri için yüksek enerjili etkileşmelerde birden büyük olasılıklar gibi anlamsız tahminlerde bulunur. Doğanın her hassas tarifinde böyle fiziksel olmayan parçacıkların, yani yanlış yönde salındıkları için gerçekte var olmayan parçacıkların ayıklanmasının gerekli olduğu açıktır.

Bu bağlamda simetriler istenmeyen posta filtreleri ya da kalite kontrol sınırlamaları gibi çalışır. Kalite gereklilikleri örneğin sadece simetrik olarak dengeli araçların kalmasını belirtebilir öyle ki, fabrikadan çıkan bütün araçlar beklendiği şekilde davransın. Herhangi bir kuvvet kuramındaki simetriler de kötü davranışlı elemanları da dışarıda tutar. Bunun nedeni istenmeyen, fiziksel olmayan parçacıklar arasındaki etkileşmelerin simetrilere uymaması, gerekli simetrileri koruyarak etkileşen parçacıkların ise gerekli olduğu gibi salınmalarıdır. Böylece simetriler kuramsal tahminlerin

sadece fiziksel parçacıkları içermesini garanti altına alır ve akla uygun olarak deneylerle uyuşur.

Bu nedenle simetriler kuvvetler kuramının şık bir formülleştirmesini olanaklı kılar. Her hesapta fiziksel olmayan kipleri teker teker ayıklamak yerine simetriler fiziksel olmayan bütün parçacıkları tek bir darbeyle ayıklar. Simetrik etkileşmelerin yer aldığı herhangi bir kuram, sadece davranışlarını tanımlamak istediğimiz fiziksel salınım kiplerini kapsar.

Bu, elektromanyetizma veya yeğin nükleer kuvvet gibi sıfır kütleli yük taşıyıcıları içeren herhangi bir kuvvetler kuramında mükemmel işler. Simetrik kuramlarda, yüksek enerjili etkileşme tahminlerinin tümü anlamlıdır ve sadece fiziksel kipler, yani doğada var olanlar kapsanır. Kütlesiz ayar bozonlarında uygun simetri kısıtları kötü davranan ve fiziksel olmayan kipleri kuramdan çıkardığı için, yüksek enerjili etkileşme probleminin çözümü göreceli olarak kolaydır.

Böylece simetriler iki problemi çözer: fiziksel olmayan kiplerle birlikte onlara eşlik eden, kötü yüksek enerjili tahminler de ayıklanır. Bununla birlikte, kütlesi sıfırdan farklı olan bir ayar bozonunun ek bir fiziksel, yani doğada var olan salınımı daha vardır. Zayıf nükleer kuvveti ileten ayar bozonları bu kategoriye girerler. Simetriler bunların çok fazla sayıda salınım kipini ayıklar. Başka, yeni bir bileşen olmadan zayıf bozon kütleleri Standart Model simetrilerine uyamaz. Kütleleri sıfırdan farklı olan ayar bozonlarında kötü davranan bir kipi muhafaza etmekten başka seçeneğimiz yoktur ve bu da kötü yüksek enerjili davranışın çözümünün o kadar kolay olmadığı anlamına gelir. Yine de anlamlı yüksek enerjili etkileşmeler üretmek için kuram hâlâ bir şey gerektirir.

Dahası, Higgs'in bulunmadığı Standart Modelde temel parçacıklardan hiçbiri, çoğu sade kuvvetler kuramının simetrilerine uyacak sıfırdan farklı kütleye sahip olamaz. Bunun nedeni ayar bozonlarının mantığıyla ilgisiz gibi duruyor ancak bu neden simetrilere kadar izlenebilir.

On Dördüncü Bölümde içinde hem sol hem de sağ elli fermiyonlar, yani sıfırdan farklı kütlelerin varlığında eşleşen parçacıklar bulunan bir tablo vermiştik. Kuark ya da lepton

kütleleri sıfırdan farklı olduğunda, bunlar sol elli fermiyonları sağ elli fermiyonlara dönüştüren etkileşmeleri getirirler. Ama sol elli ve sağ elli fermiyonların birbirlerine dönüşebilmeleri için, her ikisinin de aynı kuvvetlerden etkilenebilmeleri gerekir. Ancak deneyler, zayıf kuvvetin sol elli fermiyonlar üzerindeki etkisinin, büyük kütleli kuark ve leptonların dönüşebildikleri sağ elli fermiyonlar üzerindeki etkisinden farklı olduğunu gösteriyor. Korunduğunda fizik yasalarında sol ve sağa eşdeğerli davranan parite simetrisinin bu ihlali, ilk kez öğrenen herkes için şaşırtıcıdır. Ne de olsa doğanın bilinen diğer yasaları solu ve sağı ayırt etmez. Ama bu dikkate değer özellik –zayıf kuvvetin sol ve sağa eşit davranmaması– deneysel olarak gösterilmiş olup Standart Modelin temel bir özelliğidir.

Sol ve sağ elli kuark ve leptonların farklı etkileşmeleri bize, yeni bir bileşen olmadığı sürece, kuark ve leptonların kütlelerinin sıfırdan farklı olmasının bilinen fizik yasalarıyla tutarsız olduğunu bildirir. Sıfırdan farklı böylesi kütleler zayıf yük taşıyan parçacıkları taşımayanlara bağlar.

Bir başka deyişle, sadece sol elli parçacıklar bu yükü taşıdığından, zayıf yük kaybolabilir. Yükler görünüşe göre *boşlukta* –evrenin herhangi bir parçacık barındırmayan durumu– yok olurlar. Genel olarak bu olmamalıdır. Yükler korunmalıdır. Eğer yük ortaya çıkabilir ya da kaybolabilirse, karşılık gelen kuvvetle ilgili simetriler kırılır ve yüksek enerjili ayar bozonu etkileşmelerinin ayıklamaları beklenen tuhaf olasılıksal tahminler yeniden ortaya çıkar. Eğer boşluk gerçekten boşsa ve hiçbir parçacık ya da alan içermiyorsa, yükler hiçbir zaman böyle esrarlı bir şekilde ortadan yok olmamalıdır.

Ama eğer boşluk gerçekten o kadar boş olmayıp boşluğa zayıf bir yük sağlayan bir *Higgs alanı* içeriyorsa, yükler ortaya çıkabilir ya da yok olabilir. Bir Higgs alanı, boşluğa bir yük veren bir Higgs alanı bile gerçek parçacıklardan oluşmaz. Böyle bir alan, temelde sadece alanın kendisinin sıfırdan farklı bir değer aldığında olan, evrende dağınık bir biçimde bulunan bir zayıf yük dağılımıdır. Higgs alanı sı-

fırdan farklı ise, sanki evrende sonsuz bir zayıf yük deposu varmış gibidir. Sonsuz miktarda paranız olduğunu düşleyin. İstediğiniz kadar borç verebilir ya da alabilirsiniz ve yine de kullanabileceğiniz sonsuz miktarda paranız olur. Benzer bir anlamda Higgs alanı boşluğa sonsuz zayıf yük koyar. Bunu yaparken kuvvetlerle ilgili simetrileri kırar ve parçacık kütleleri hiçbir sorun çıkarmadan ortaya çıkacak şekilde yüklerin boşluğa ve boşluktan dışarıya akmasına izin verir.

Higgs mekanizması ve kütlelerin kökeni hakkında düşünmenin bir yolu, bu mekanizmanın boşluğun zayıf yük taşıyan, kıvamlı bir akışkan gibi yani boşluğa sızan bir Higgs alanı gibi davranmasına olanak vermesidir. Zayıf ayar bozonları ve Standart Modelin kuark ve leptonları gibi bu yükü taşıyan parçacıklar bu akışkanla etkileşebilir ve bu etkileşmeler onları yavaşlatır. Kütlesiz parçacıklar boşlukta ışık hızıyla hareket edeceklerinden, bu durumda bu yavaşlama parçacıkların kütle edinmesine karşılık gelir.

Parçacıkların kütlelerini edindikleri bu üstü kapalı süreç Higgs mekanizması olarak bilinir. Bize sadece parçacıkların kütlelerini nasıl edindiklerini anlatmakla kalmaz, bu kütlelerin özelliklerinden de biraz söz eder. Bu mekanizma, örneğin neden bazı parçacıkların ağır, diğerlerininse hafif olduğunu açıklar. Higgs alanıyla çok etkileşen parçacıklar daha büyük kütleli, daha az etkileşenler daha küçük kütleli olur. En ağır olan üst kuarkın etkileşmesi en şiddetlidir. Göreli olarak daha küçük kütlelere sahip olan elektron ya da yukarı kuarkın etkileşmeleri ise çok hafiftir.

Higgs mekanizması aynı zamanda elektromanyetizma ve bu kuvveti ileten foton konularında derin bir kavrayış kazandırır. Higgs mekanizması bize, sadece boşluğa dağılmış olan zayıf yükle etkileşen yük taşıyıcılarının yük edineceğini söyler. *W* ayar bozonları ve *Z* bozonu bu yüklerle etkileştikleri için, kütleleri sıfırdan farklıdır. Ancak, boşluğu dolduran Higgs alanı zayıf yük taşımakla birlikte elektriksel olarak yüksüzdür. Foton zayıf yükle etkileşmediği için kütlesi sıfırdır. Bu anlamda foton tektir. Higgs mekanizması olmasaydı, sıfır kütleli üç zayıf ayar bozonu ve hiper yük ayar bozonu

olarak bilinen, yine sıfır kütleli bir diğer yük taşıyıcısı olacaktı. Hiç kimse fotondan söz etmeyecekti. Ama Higgs alanının varlığında, sadece hiper yük ayar bozonu ve üç zayıf ayar bozonundan birinin oluşturduğu bir birleşim boşluktaki yükle etkileşmez ve bu birleşim, tam olarak elektromanyetizmayı ileten fotondur. Fotonun kütlesiz olması elektromanyetizmadan çıkan önemli bir olayda kritik bir rol oynar. Neden radyo dalgalarının devasa uzaklıklar kat edebilirken zayıf kuvvetin sadece minik uzaklıklara bile takıldığını açıklar. Higgs alanı zayıf yük taşır ama elektrik yükü taşımaz. O nedenle tanım olarak fotonun kütlesi sıfır olup ışık hızında hareket ederken zayıf yük taşıyıcıları ağırdır.

Kafanız karışmasın. Fotonlar temel parçacıklardır. Ama bir anlamda, belirli (sıfır da olabilir) kütleleri olan fiziksel parçacıklara karşılık gelmedikleri ve boşlukta hiçbir şeyden etkilenmeden hareket edebildikleri için, yanlış tanınmışlardır. Boşlukta Higgs mekanizması yoluyla dağılmış olarak bulunan zayıf yükleri öğreninceye kadar hangi parçacıkların kütlelerinin sıfır, hangilerininse sıfırdan farklı olduklarını anlamanın bir yolu yoktu. Boşluğa Higgs mekanizmasıyla atanan yüklere göre hiper yük ayar bozonu ve zayıf ayar bozonu boşlukta hareket ederlerken sürekli salınımlarla biri diğerine dönüşür ve bunların hiçbirine kütle atayamayız. Boşluğun zayıf yükü bilindiğine göre, sadece foton ve Z bozonu boşlukta hareket ederken kimlik değiştirmezler, Z bozonu kütle edinirken foton edinmez. Dolayısıyla Higgs mekanizması foton adı verilen özel parçacığı ve ilettiği elektrik yükü olarak bildiğimiz yükü seçip ayırır.

Bu nedenle Higgs mekanizması kütlesi sıfır olanın neden bir başka kuvvet taşıyıcısı değil de foton olduğunu açıklar. Kütlelerin bir diğer özelliğini de açıklar. Diğer ders biraz daha incelikli olmakla birlikte bize, Higgs mekanizmasının neden anlamlı yüksek enerji tahminleriyle tutarlı kütlelere izin verdiği konusunda derin bir kavrayış kazandırır. Eğer Higgs alanını bir akışkan olarak düşünürsek, yoğunluğunun da parçacık kütleleriyle bağlantılı olduğunu hayal edebiliriz. Ve eğer bu yoğunluğun birbirlerine uzaklıkları eşit olan yük-

lerden kaynaklandığını düşünürsek, o zaman bu parçacıklar –o kadar kısa mesafelerde hareket ederler ki hiçbir zaman bir zayıf yüke çarpmazlar– sanki kütleleri sıfırmış gibi hareket ederler. Oysa büyük mesafeler kat eden parçacıklar zayıf yüklere çarparak yavaşlayacaklardır.

Bu, Higgs mekanizmasının zayıf kuvvetle ilgili simetrinin *kendiliğinden kırılması* ve simetri kırılmasının belirli bir ölçekle bağlantılı olduğu gerçeğiyle tutarlıdır.

Kendiliğinden simetri kırılması doğanın yasalarında simetrinin kendisi var olduğunda –kuvvetler kuramında olduğu gibi– ortaya çıkar ve bir sistemin gerçek durumu tarafından kırılır. İleri sürdüğümüz gibi simetriler, kuramdaki parçacıkların yüksek enerjili davranışlarına bağlı nedenlerden dolayı var olmalıdırlar. Bu durumda tek çözüm simetrilerin var olmasıdır, ama bu simetriler kendiliğinden kırılırlar; öyle ki, zayıf ayar bozonları kütleye sahip olabilir ama kötü yüksek enerji davranışı sergilemezler.

Higgs mekanizmasının arkasındaki fikir, simetrinin gerçekten kuramın bir parçası olduğudur. Fizik yasaları simetrik davranır. Ama dünyanın güncel durumu simetriye uymaz. Önce bir ucu üzerinde duran ve sonra düşerek belirli bir yönü seçen bir kurşunkalemi düşünelim. Kalem bir ucu üzerinde dururken bütün yönler aynıdır ama kalem düştüğünde simetri kırılır. Bu yüzden yatay kurşunkalem bir ucunun üzerinde duran kurşunkalemin koruduğu dönme simetrisini kendiliğinden kırar.

Benzer biçimde Higgs mekanizması zayıf kuvvet simetrisini kendiliğinden kırar. Bu, fizik yasalarının simetrik olduğu ama simetrinin zayıf kuvvet yüküyle dolu olan boşluğun durumuyla kırıldığı anlamına gelir. Evreni simetrik olmayan bir şekilde dolduran Higgs alanı, onsuz var olacak zayıf kuvvet simetrisini kırdığı için, temel parçacıkların kütle edinmelerine olanak verir. Kuvvetler kuramı zayıf kuvvetle ilgili simetriyi korur ama bu simetri boşluğu dolduran Higgs alanı tarafından kırılır.

Higgs mekanizması boşluğa yük koyarak zayıf kuvvetle ilgili simetriyi kırar. Ve bunu belirli bir ölçekte yapar. Bu ölçek

yüklerin boşluktaki dağılımıyla belirlenir. Yüksek enerjilerde ve buna eşdeğer olarak –kuantum mekaniği yoluyla– kısa mesafelerde parçacıklar herhangi bir zayıf yükle karşılaşmaz ve bu nedenle kütleleri yokmuş gibi davranmazlar. Kısa mesafelerde veya eşdeğer olarak yüksek enerjilerde simetri bu nedenle geçerliymiş gibi görünür. Ama uzun mesafelerde zayıf yük bazı bakımlardan parçacıkları yavaşlatan sürtünme kuvveti gibidir. Yalnızca düşük enerjilerde ya da eşdeğer olarak büyük uzaklıklarda Higgs alanı parçacıklara kütle edindiriyor gibidir.

Bu da tam olması gerektiği gibidir. Büyük kütleli parçacıklar için anlamlı olmayacak, tehlikeli etkileşmeler sadece yüksek enerjilere uygulanır. Düşük enerjilerde parçacıklar kütle sahibi olabilirler ve deneylere göre olmalıdırlar da. Zayıf kuvvet simetrisini kendiliğinden kıran Higgs mekanizması bu görevi yerine getirmenin, bildiğimiz tek yoludur.

Her ne kadar henüz temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu Higgs mekanizmasından sorumlu olan parçacıkları gözlememiş olsak da, elimizde Higgs mekanizmasının doğada uygulandığı yönünde deneysel kanıtlar var.* Bu mekanizma, tümüyle farklı bir bağlamda, *süper iletken* malzemede çok kez görülmüştür. Süper iletkenlik elektronlar eşleştiğinde bu çiftler bir malzemeye yayıldığında ortaya çıkar. Bir süper iletkende *yoğuşku* (*condensate*), yukarıdaki örneğimizdeki Higgs alanıyla aynı rolü oynar.

Ama zayıf yük yerine, bir süper iletkendeki yoğuşku elektrik yükü taşır. Bu nedenle yoğuşku süper iletken malzeme içinde elektromanyetizmayı ileten fotona kütle verir. Kütle yükü *perdeler* ki bu, bir süper iletkenin içinde elektrik ve manyetik alanların çok uzağa gidemeyeceği anlamına gelir. Kuvvet, çok kısa bir mesafede çok hızlı düşer. Kuantum mekaniği ve özel görelilik bize, bir süper iletkenin içindeki bu *perdeleme uzaklığı*nın, sadece süper iletken substratın içinde bulunan foton kütlelerinin doğrudan sonucudur. Bu

* Bu kitap yazıldıktan çok kısa bir süre sonra, 2012'de CERN'deki LHC deneylerinde (ATLAS ve CMS) Higgs parçacığı gözlendi ve kütlesi 125 GeV olarak ölçüldü –yn.

maddelerde elektrik alanları perdeleme mesafesinden uzağa gidemez çünkü süper iletkenin içinde yaygın bir şekilde bulunan elektron çiftlerinden yansıyan foton kütle edinir.

Higgs mekanizması da benzer biçimde işler. Ama maddeye yayılan elektron çiftleri (elektrik yükü taşırlar) yerine boşluğa yayılan Higgs alanı (zayıf yükü taşır) bulunduğunu tahmin ediyoruz. Ve elektrik yükünü perdeleyen kütle edinen bir foton yerine zayıf yükü perdeleyen kütle kazanan zayıf ayar bozonları buluruz. Zayıf ayar bozonlarının kütleleri sıfırdan farklı olduğundan, zayıf kuvvet sadece çekirdek altı boyutlardaki çok kısa mesafelerde etkilidir.

Bu, Ayar bozonlarına kütle vermenin tek tutarlı yolu olduğundan, fizikçiler Higgs mekanizmasının doğada işlediğinden çok eminler. Ve onun sadece ayar bozonu kütlelerinden değil, tüm temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu olmasını bekliyoruz. Standart Modelde zayıf yüklü parçacıkların kütle sahibi olmalarına izin veren, bildiğimiz başka tutarlı bir kuram yok.

Bu, birçok soyut kavram barındıran, zor bir bölümdü. Higgs mekanizması ve Higgs alanı yapısal olarak kuantum alan kuramı ve parçacık fiziğiyle bağlantılı olup, göz önünde canlandırabileceğimiz olaylardan uzaktır. Onun için bazı belirgin noktaları özetleyeyim. Higgs mekanizması olmazsa anlamlı yüksek enerji tahminlerinden ve parçacık kütlelerinden yoksun kalırız. Oysa bunların ikisi de doğru bir kuramın temelidir. Çözüm, doğa yasalarında simetrinin olduğu ama Higgs alanının sıfırdan farklı değeriyle kendiliğinden kırılabileceğidir. Boşluğun kırılan simetrisi Standart Modeldeki parçacıkların sıfırdan farklı kütle sahibi olmalarına izin verir. Ama kendiliğinden simetri kırılması bir enerji (ve uzunluk) ölçeğiyle ilgili olduğundan, etkisi sadece düşük enerjilerdedir; temel parçacık kütleleri veya daha küçük (ve zayıf uzunluk ölçeği veya daha büyük). Bu enerji ve kütlelerde kütleçekim etkisi ihmal edilebilir olup Standart Model (kütlelerin göz önüne alınmasıyla) parçacık fiziği ölçümlerini doğru bir biçimde tanımlar. Ancak, doğa yasalarında simetri hâlâ var olduğundan, anlamlı yüksek enerji tahminlerine olanak

verir. Artı, bir ödül olarak, Higgs mekanizması fotonun sıfır kütlesini, evrene yayılmış olan Higgs alanıyla etkileşmemesinin sonucu olarak açıklar.

Ama yine de, kuramsal olarak başarılı olsa da, bu fikirleri doğrulayan deneysel kanıtlar bulmalıyız. Peter Higgs bile böyle testlerin önemini kabul etti. 2007'de matematiksel yapıyı son derece doyurucu bulduğunu söyledi ama şöyle devam etti: "eğer deneysel olarak kanıtlanamazsa bu sadece bir oyundur. Sınava tabi tutulması gerekir."[1] Peter Higgs'in önerisinin gerçekten doğru olmasını umduğumuz için, önümüzdeki birkaç yıl içinde heyecan uyandıran bir keşif bekliyoruz. Bu kanıt, LHC'de parçacık ya da parçacıklar şeklinde görülmelidir. Düşüncenin en basit uygulamasıyla bu kanıt, *Higgs bozonu* olarak bilinen parçacık olacaktır.

DENEYSEL KANITIN ARAŞTIRILMASI

"Higgs" hem bir isme, hem bir mekanizmaya, aynı zamanda varsayımsal bir parçacığa atıfta bulunur. Higgs bozonu Standart Modelin en önemli eksik bileşenidir.[2] Higgs mekanizmasının LHC deneylerinde bulunacağını beklediğimiz izidir. Bulunması kuramsal değerlendirmeleri doğrulayacak ve bize gerçekten de Higgs alanının boşluğu doldurduğunu gösterecektir. Higgs mekanizmasının doğada işlemekte olduğuna inanmak için iyi nedenlerimiz var çünkü hiç kimse o olmaksızın temel parçacıkların kütleleri konusunda anlamlı bir kuramı nasıl inşa edeceğini bilmiyor. Bu mekanizmanın kanıtının çok yakında, LHC'nin erişmesi beklenen enerji ölçeklerinde ortaya çıkacağına ve bu kanıtın Higgs bozonu olacağına da inanıyoruz.

Higgs mekanizmasının bir bölümü olan Higgs alanıyla gerçek bir parçacık olan Higgs bozonu arasındaki ilişki, güç algılanır olmakla birlikte elektromanyetik alanla foton arasındaki ilişkinin bir benzeridir. Bir magneti buzdolabına

---

[1] On WNYC's *The Takeaway*, March 31, 2007.

[2] Kimi zaman insanlar sağ elli nötrinoların da Standart Modelin içinde olup olmadığını tartışır. Eğer varsalar bile, büyük olasılıkla çok ağır olacaklarından düşük enerji süreçlerinde önemli bir rol oynamayacaklardır.

yakın tuttuğunuz zaman, gerçekte hiçbir fiziksel foton yaratılıyor olmasa da klasik manyetik alanın etkilerini hissedersiniz. Klasik bir Higgs alanı –kuantum etkilerinin bile yokluğunda var olan bir alan– uzaya yayılır ve parçacık kütlelerini etkileyen, sıfırdan farklı bir değer alabilir. Ama alanın bu sıfırdan farklı değeri uzay hiçbir gerçek parçacık içermediğinde bile var olabilir.

Ancak, eğer bir şey bu alanı "gıdıklarsa" –yani birazcık enerji eklerse– bu enerji alanda parçacık üretimine yol açan dalgalanmalar yaratabilir. Elektromanyetik alan durumunda yaratılacak parçacık fotondur. Higgs alanı durumunda ise bu parçacık Higgs bozonudur. Higgs alanı uzayda yayılır ve elektrozayıf simetri kırılmasından sorumludur. Öte yandan, Higgs parçacığı enerji olması durumunda –LHC'de olduğu gibi– Higgs alanından yaratılır. Higgs alanının var olduğunun kanıtı parçacıkların kütleye sahip olmalarıdır. LHC'de (ya da herhangi bir yerde yaratılabilir) bir Higgs bozonunun keşfi, Higgs mekanizmasının kütlelerin kökeni olduğu yolundaki kanımızı doğrulayacaktır.

Bazen basın ve terimi ilginç bulan başkaları Higgs bozonuna "Tanrı parçacığı" adını yakıştırıyorlar. İnsanların dikkatini çektiği için gazeteciler bu terimi seviyor ki fizikçi Leon Lederman'ın bu terimin kullanılmasını teşvik etmesinin temel nedeni zaten buydu. Ama bu terim yalnızca bir isimdir. Higgs bozonu önemli bir keşif olacaktır, bu lakabın boşa gitmemesi gerekir.

Her ne kadar aşırı derecede kuramsal görünse de, Higgs bozonunun rolünü oynayan, yeni bir parçacığın varlığının arkasındaki mantık son derece sağlamdır. Yukarıda sözü edilen kuramsal doğrulamaya ek olarak, büyük kütleli Standart Model parçacıkları kuramı da bunu gerektirir. Sadece kütleli parçacıkların temel kuramın parçası olduğunu, bu kütleyi açıklayabilecek hiçbir Higgs mekanizması olmadığını varsayalım. Bu durumda bölümün başlarında anlatıldığı gibi, yüksek enerjili parçacıkların etkileşmeleri konusundaki tahminler anlamsız olurdu ve birden büyük olasılıklar ortaya çıkardı. Elbette bu tahmine inanmıyoruz. Ek yapılar

olmadan Standart Model eksik olmak zorundadır. Tek çıkış yolu ek parçacık ve etkileşmelerin katılmasıdır.

Higgs bozonu olan bir kuram yüksek enerji problemlerinden zarif bir biçimde kurtulur. Higgs bozonuyla olan etkileşmeler yüksek enerjili etkileşme tahminlerini değiştirmekle kalmaz, kötü yüksek enerjili davranışları tam anlamıyla yok eder. Elbette bu bir rastlantı değildir. Bu, tam olarak Higgs mekanizmasının garantilediği şeydir. Higgs mekanizmasının doğadaki gerçek uygulamasını doğru tahmin ettiğimizden tam olarak emin olmasak da, fizikçiler zayıf ölçekte bazı yeni parçacık ya da parçacıkların ortaya çıkması gerektiği konusunda kendilerinden çok eminler.

Bu değerlendirmelere dayanarak, kuramı kurtaracak olan şey, yeni parçacıklar ya da etkileşmeler olsun, çok büyük kütleli ya da çok yüksek enerjide olamaz. Ek parçacıkların olmaması durumunda, zaten yaklaşık 1 TeV civarında hatalı tahminler ortaya çıkacaktır. O nedenle Higgs bozonu (veya aynı rolü oynayan bir şey) var olmakla kalmamalı, LHC'de bulunabilecek kadar da hafif olmalıdır. Daha kesin söylemek gerekirse, görünen o ki, Higgs bozonu yaklaşık 800 GeV'den küçük olmadıkça Standart Model yüksek enerjili etkileşmeler için olanaksız tahminlerde bulunacaktır.

Gerçekte, Higgs bozonunun bundan çok daha hafif olmasını bekliyoruz. Güncel kuramlarda göreceli olarak hafif Higgs bozonu tercih ediliyor, çoğu kuramsal ipuçları 1990'lardaki LEP deneylerinde bulunan güncel kütle sınırının, yani 114 GeV'in biraz üzerinde bir kütleye işaret ediyor. Bu, LEP'te üretilebilecek ve bulunabilecek en yüksek kütleli Higgs bozonu olup pek çok kimse bu parçacığın bulunmak üzere olduğunu düşünüyordu. Günümüzde de fizikçiler Higgs bozonunun kütlesinin bu değere çok yakın olmasını bekliyor ve büyük olasılıkla 140 GeV'den daha ağır olmadığını düşünüyor.

Bu hafif Higgs bozonu beklentisinin en kuvvetli argümanı deneysel verilere –sadece Higgs bozonunun kendisinin araştırılmasına değil, diğer Standart Model büyüklüklerinin de– ölçümüne dayanır. Standart Model tahminleri ölçümler-

le şaşırtıcı derecede iyi örtüşüyor ve küçük sapmalar bile bu uyumu bozabilir. Higgs bozonu Standart Model hesaplarına kuantum etkileriyle katkıda bulunur. Eğer aşırı derecede ağırsa, bu etkiler kuramsal hesaplarla veriler arasında uyumu sağlayamayacak kadar büyük olur.

Kuantum mekaniğinin bize, sanal parçacıkların bütün etkileşmelere katkıda bulunduğunu öğrettiğini hatırlayalım. Bunlar hangi durumdan başlamış olursanız olun, kısa sürede ortaya çıkıp yok olur ve net etkileşmeye katkı yaparlar. O nedenle birçok Standart Model sürecinde Higgs bozonu hiç bulunmuyor olsa bile, Higgs parçacığı değiş-tokuşu *Z* ayar bozonunun kuark ve leptonlara bozunum hızı ve *W* ile *Z* kütleleri arasındaki oran gibi bütün Standart Model hesaplarını etkiler. Higgs'in bu *hassas elektrozayıf* testler üzerindeki sanal etkileri kütlesine bağlıdır. Ve hesapların, sadece eğer Higgs kütlesi çok büyük değilse iyi işlediği ortaya çıkıyor.

Hafif Higgs bozonu lehindeki ikinci (ve daha spekülatif) nedenin yakında göz atacağımız süpersimetri kuramıyla ilgisi vardır. Birçok fizikçi süpersimetrinin doğada var olduğuna inanır ve süpersimetriye göre, Higgs bozonunun kütlesi ölçülen *Z* ayar bozonunun kütlesine yakın, yani hafif olmalıdır.

Böylece Higgs bozonunun çok ağır olmadığı beklentisi verildiğinde, haklı olarak neden bütün Standart Model parçacıklarını görürken henüz Higgs bozonunu görmemiş olduğumuzu sorabilirsiniz. Bunun yanıtı Higgs bozonunun özelliklerinde yatar. Bir parçacık hafif olsa bile, çarpıştırıcılarda üretilip saptanana kadar göremeyiz. Bu olay ise parçacığın özelliklerine bağlıdır. Ne de olsa hiçbir etkileşmeye girmemiş olan bir parçacık ne kadar hafif olursa olsun asla görülemez.

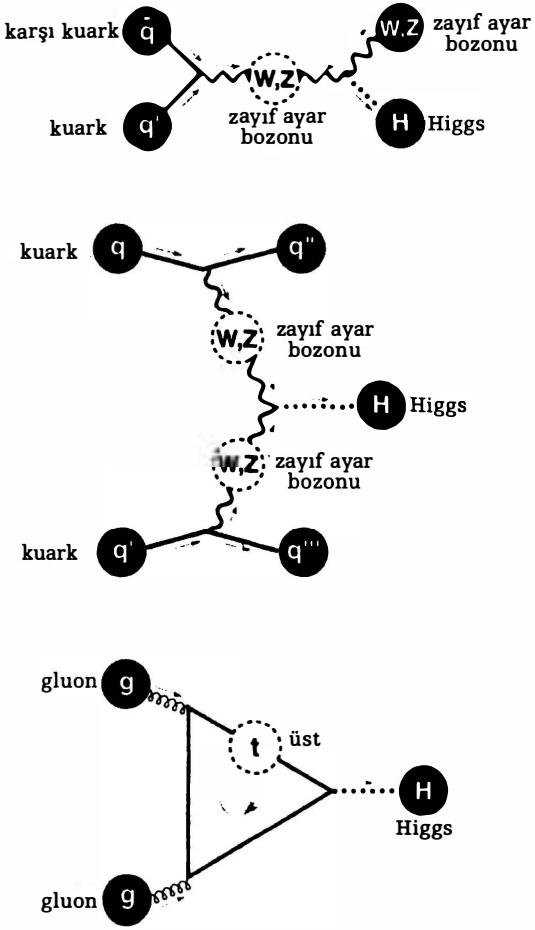
Higgs bozonu ve Higgs alanı, her ne kadar farklı şeyler olsa da, diğer temel parçacıklarla benzer şekilde etkileşeceklerinden Higgs bozonunun etkileşmeleri konusunda epeyce şey biliyoruz. Higgs alanının temel parçacıklarla olan etkileşmelerini bu parçacıkların kütlelerinden biliyoruz. Higgs mekanizması temel parçacıkların kütlelerinden sorumlu

olduğundan, Higgs alanının büyük kütleli parçacıklarla en kuvvetli şekilde etkileştiğini biliyoruz. Higgs bozonu Higgs alanından yaratıldığından, onun etkileşmelerini de biliyoruz. Higgs bozonu da tıpkı Higgs alanı gibi Standart Modeldeki en büyük kütleli parçacıklarla daha kuvvetli etkileşir.

Higgs bozonu ile daha ağır parçacıklar arasındaki bu daha büyük etkileşim, eğer Higgs bozonu üretmek üzere ağır parçacıkları çarpıştırırsanız, Higgs bozonunu daha kolayca üretebileceğinizi ifade ediyor. Ne yazık ki çarpıştırıcılarda Higgs bozonunu ortaya çıkarmak için ağır parçacıklarla çalışamıyoruz. LHC'de nasıl Higgs bozonu ya da başka parçacık üretilebileceğini bir düşünün. LHC'deki çarpışmalarda hafif parçacıklar kullanılır. Bu parçacıkların küçük kütleleri bize şunu ifade eder: bunların Higgs parçacığıyla etkileşmeleri o kadar zayıftır ki, eğer Higgs üretiminde rol alan diğer parçacıklar olmasaydı, şimdiye kadar yapılan hiçbir çarpıştırıcıda hiçbir şey saptama olanağı olmazdı.

Neyse ki kuantum mekaniği seçenekler oluşturur. Parçacık çarpıştırıcılarında Higgs üretimi sanal ağır parçacıklar içeren, gizemli bir şekilde sürer. Hafif kuarklar çarpıştığında, sonradan Higgs bozonu salan ağır parçacıklar ortaya çıkabilir. Örneğin hafif kuarklar çarpışarak sanal bir W üretebilir, daha sonra bu sanal parçacık bir Higgs bozonu salabilir. (Bu üretim kipi için *bkz.* Şekil 51.) *W* bozonu protonun içindeki yukarı ya da aşağı kuarklardan o kadar ağırdır ki, Higgs bozonuyla etkileşmesi önemli ölçüde büyüktür. Yeterince proton çarpışmasıyla bu şekilde Higgs bozonu üretilmelidir.

Higgs üretiminin bir başka kipi, Şekil 51'deki ikinci resimde görüldüğü gibi, kuarkların iki zayıf sanal ayar bozonu salması, bunların da sonradan çarpışarak tek bir Higgs üretmesidir. Bu durumda Higgs, ayar bozonları salındığında saçılan kuarklarla ilgili iki jetle birlikte üretilir. Hem bu, hem de bir önceki üretim mekanizmasıyla bir Higgs'le birlikte başka parçacıklar da üretilir. İlk durumda Higgs, bir ayar bozonuyla çakışmayla üretilir. LHC için daha önemli olan ikinci durumdaysa, Higgs bozonu jetlerle birlikte üretilir.



ŞEKİL 51 Higgs üretiminin üç kipi: sırayla (yukarıdan aşağıya, Higgs-strahlung, *WZ* füzyonu ve *gg* füzyonu.

Ama Higgs bozonları kendi başlarına da ortaya çıkabilir. Üçüncü resimde görüldüğü gibi, gluonlar çarpışarak bir üst, bir de karşı-üst kuark üretip bunlar da yok olarak bir Higgs bozonu ürettiğinde bu gerçekleşir. Gerçekten de üst kuark ve karşı-kuark çok uzun süre yaşamayan sanal kuarklardır ancak üst kuark Higgs'le kuvvetli bir şekilde etkileştiğinden,

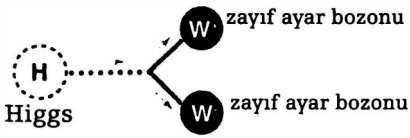
kuantum mekaniği bize, bu sürecin oldukça sık ortaya çıktığını bildirir. Bu üretim mekanizması, yukarıda sözü edilen diğer ikisinin aksine, sonradan bozunan Higgs parçacığı dışında başka bir iz bırakmaz.

O nedenle Higgs'in kendisi mutlaka çok ağır olmasa bile –yine belirtelim, kütlesi olasılıkla zayıf ayar bozonlarının kütlesiyle karşılaştırılabilir ama üst kuarkınkinden küçüktür– üretiminde ayar bozonları veya üst kuarklar gibi ağır parçacıkların rol alma olasılığı vardır. LHC'dekiler gibi daha yüksek enerjili çarpışmalar bu nedenle tıpkı parçacık çarpışmalarının müthiş hızı gibi Higgs bozonu üretilmesine yardımcı olur.

Ama büyük üretim hızıyla bile Higgs bozonunun gözlenmesi yolunda varlığını sürdüren bir başka zorluk, bozunma biçimidir. Higgs bozonu, tıpkı birçok diğer ağır parçacık gibi kararsızdır. Bozunanın Higgs alanı değil, Higgs parçacığı olduğuna dikkat ediniz. Higgs alanı temel parçacıklara kütle edindirmek üzere boşluğa yayılır ve yok olmaz. Higgs bozonu gerçek bir parçacıktır. Higgs mekanizmasının deneysel olarak saptanabilecek olan sonucudur. Diğer parçacıklar gibi çarpıştırıcılarda üretilebilir. Ve kararsız diğer parçacıklar gibi, ömrü sonsuz değildir. Bozunma esas olarak anlık olduğundan, Higgs bozonunu bulmanın tek yolu, bozunma ürünlerini bulmaktır. Higgs bozonu etkileştiği parçacıklara bozunur. Bunlar kütlelerini Higgs mekanizması yoluyla edinen ve üretilebilecek kadar hafif olan bütün parçacıklardır. Bir parçacık ve onun karşı-parçacığı Higgs bozonunun bozunumu sonucu ortaya çıktığında, enerjinin korunması için bu parçacıklardan her birinin kütlesi bozonun kütlesinin yarısından daha küçük olmalıdır. Böyle bir gereklilik söz konusu olduğundan, Higgs parçacığı, esas olarak üretebileceği en ağır parçacıklara bozunacaktır. Sorun şuradadır ki bu, göreceli olarak hafif olan Higgs bozonunun çok ender olarak tanınması ve gözlenmesi en kolay parçacıklara bozunacağı anlamına gelir.

Eğer Higgs bozonu beklentileri boşa çıkaracak şekilde hafifse fakat W bozonu kütlesinin iki katından daha ağırsa

(ama üst kuark kütlesinin iki katından hafifse) Higgs araştırması göreceli olarak kolay olacaktır. Yeterince büyük kütleli Higgs, pratik olarak her zaman *W* bozonlarına veya *Z* bozonlarına bozunurdu. (*W*'lara bozunum için *bkz.* Şekil 52.) Deneyciler kalan *W*'ları ve *Z*'leri nasıl tanıyacaklarını bildiklerinden, Higgs'in keşfi çok zor olmazdı.

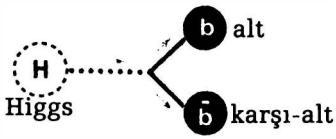


ŞEKİL 52 Çok ağır bir Higgs bozonu *W* ayar bozonlarına bozunabilir.

Bu göreceli olarak ağır Higgs senaryosunda en olası diğer bozunum kipi, bir alt kuark ve onun karşı-parçacığını içerir. Ancak, bir alt kuark ve onun karşı-parçacıklarına bozunma hızı çok daha düşüktür çünkü alt kuarkın kütlesi *W* ayar bozunundan çok daha küçüktür ve bu nedenle Higgs bozonuyla etkileşmesi de küçüktür. *W*'lara bozunacak ölçüde ağır bir Higgs alt kuarka zamanın sadece yüzde birinden daha azında dönüşecektir. Daha hafif parçacıklara bozunum daha da düşük frekansta olacaktır. Dolayısıyla, eğer Higgs bozonu göreceli olarak ağır –yani beklediğimizden daha ağır– ise, zayıf ayar bozonlarına bozunacaktır. Ve bu bozunmaları görmek de göreceli olarak kolay olacaktır.

Bununla birlikte, daha önce önermiş olduğumuz gibi, Standart Model hakkında deneysel verilerle birlikte kuram, bize Higgs bozonunun büyük olasılıkla iki zayıf ayar bozonuna bozunamayacak kadar hafif olduğunu anlatır. Bu durumda en sık rastlanan bozunum, karşı-parçacığıyla –alt karşı-kuark– birlikte bir alt kuarka olur (Şekil 53) ve bu bozunumun gözlenebilmesi zordur. Problemlerden biri, protonlar çarpıştığında çok sayıda kuvvetli bir biçimde etkileşen kuark ve gluonların üretilmesidir. Ve bunlar kolayca hayali bir Higgs bozonu bozunumundan çıkacak az sayıdaki

alt kuarklarla karıştırılabilir. Bunun da ötesinde, LHC'de o kadar çok sayıda üst kuark üretilecektir ki, bunların alt kuarklara bozunumu da Higgs sinyalini maskeleyecektir. Higgs bozunumunun alt/karşı-alt kuark son evresini kontrol altına almanın mümkün olup olmadığını görmeye çalışan deneyciler ve kuramcılar çok sıkı bir çalışma içindeler. Yine de, daha yüksek hızına karşın, bu kip büyük olasılıkla LHC'de Higgs'i keşfetmenin en umut veren yolu olmasa da, kuramcı ve deneyciler bundan yaralanmanın bir yolunu bulacaklardır.



ŞEKİL 53 hafif bir Higgs bozonu esas olarak alt kuarklara bozunacaktır.

Deneyciler Higgs bozunumlarının alternatif son evrelerini, bunlar daha az sıklıkta ortaya çıkıyor olsa da araştırmak zorundadırlar. En umut veren adaylar tau/karşı-tau ve bir foton çiftidir. Tauların üç tür yüklü leptonun en ağırları ve alt kuarklar dışında Higgs bozonunun bozunabileceği en ağır parçacıklar olduğunu hatırlayalım. Fotonlara bozunum hızı çok daha düşüktür –Higgs bozonları fotonlara sadece kuantum sanal etkileriyle bozunabilir– ama fotonların saptanması göreceli olarak kolaydır. Her ne kadar bu kip zor olsa da, bir kez Higgs bozonu bozunduğunda, deneylerde foton özellikleri o kadar iyi ölçülebilecektir ki, bunlara bozunan Higgs bozonu tanınabilecektir.

Aslında, Higgs keşfinin kritik olmasından ötürü, CMS ve ATLAS'ta fotonları ve tauları bulmak için ayrıntılı ve dikkatli arama stratejileri geliştirilmiş olup, her iki deneydeki dedektörler de Higgs bozonunun saptanması öncelikli olarak düşünülecek şekilde planlanmış ve inşa edilmiştir. On Üçüncü Bölümde tarif edilen elektromanyetik kalorimetreler, müon dedektörleri daha ağır tauların kaydedilmesine yar-

dımcı olurken, fotonları dikkatli bir biçimde ölçecek şekilde tasarlanmışlardır. Bu kiplerin, birlikte Higgs bozonunun varlığını saptamaları bekleniyor. Ve bir kez Higgs bozonları saptandığında, özelliklerini de öğreneceğiz.

Hem üretim hem de bozunum süreçleri, Higgs bozonunun keşfinin zorluklarını ortaya koyuyor. Ama kuramcı ve deneycilerle birlikte LHC'nin kendisi de bu zorlukları göğüslemeye hazır olmalıdır. Fizikçiler, birkaç yıl içinde Higgs bozonunun keşfini kutlayacağımızı ve özellikleri konusunda daha fazla şey öğreneceğimizi umuyorlar.

HIGGS SEKTÖRLERİ

Yakında Higgs bozonunu bulmayı ümit ediyoruz. İlke olarak, LHC'nin ilk çalışmasında, hedeflenen enerjinin yarısında üretilebilirdi çünkü bu da bu parçacığı yaratmak için gerekli olan enerjiden daha fazladır. Ancak, Higgs bozonunun proton çarpışmalarından zamanın sadece küçük bir oranında üretileceğini görmüştük. Bu, Higgs parçacıklarının, birçok proton çarpışmasının olduğu ortamlarda –ki bu, yüksek ışıma gücüdür– yaratılacağı anlamına gelir. Hedef enerjisine ulaşacak şekilde yeniden çalışmaya başlamak üzere bir buçuk yıllığına kapatılmadan önce LHC'de programlanan özgün çarpışmaların sayısı büyük olasılıkla gözlenebilecek yeterince Higgs bozonu üretemeyecek kadar azdır ama yeniden bir yıllık kapanmadan önce, 2012 süresince yürütülecek çalışmada Higgs bozonu gözlenebilir. Elbette LHC tam kapasiteyle çalıştığında ışıma gücü yeterince büyük olacak ve Higgs bozonu araştırmaları LHC'nin temel amaçlarından biri olacaktır.

Eğer Higgs bozonunun varlığı konusunda kendimize bu kadar güveniyorsak (ve araştırmak çok güçse) bu araştırma gereksiz gibi görünebilir. Ama bu çabaya birçok bakımdan değer. Bunlardan belki de en önemlisi, kuramsal tahminlerin bizi buraya kadar getirmiş olmasıdır. Birçok kimse haklı olarak sadece gözlemlerle doğrulanmış bilimsel sonuçlara inanır ve güvenir. Higgs bozonu herhangi bir kimsenin bulduğu herhangi bir şeyden çok farklıdır. Şimdiye kadar gözlenmiş tek

temel skaler olacaktır. Kuark ve ayar bozonu gibi parçacıklardan farklı olarak, spinleri sıfır olan parçacıklar olan skalerler, sisteminizin yerini değiştirdiğiniz ya da döndürdüğünüzde aynı kalırlar. Şimdiye kadar gözlenmiş olan sıfır spinli parçacıkların tek örneği, sıfırdan farklı spinlere sahip olan kuark gibi parçacıkların bağlı (kompozit) durumlarıdır. Ortaya çıkıp dedektörde görülür bir iz bırakıncaya kadar bir Higgs skalerinin var olduğundan tam olarak emin olamayacağız.

İkincisi, Higgs bozonunu bulsak bile, ya da bulduğumuzda ve varlığından emin olduğumuzda özelliklerini bilmek isteyeceğiz. En önemli bilinmeyen kütledir. Ama bozunumları bilmek de önemlidir. Ne beklememiz gerektiğini biliyoruz ama verilerin tahminlerle örtüşüp örtüşmediğini ölçmemiz gerekir. Bu bize Higgs alanı konusundaki basit kuramımızın doğru olup olmadığını veya daha karmaşık bir kuramın parçası olup olmadığını bildirecektir. Higgs bozonunun niteliklerini ölçerek, Standart Modelin ötesinde ne bulunabileceği konusunda kavrayış kazanacağız.

Örneğin, eğer elektrozayıf simetrinin kırılmasından bir yerine iki Higgs alanı sorumlu olsaydı, bu durum gözlenebilecek Higgs bozonu etkileşmelerini önemli ölçüde değiştirebilirdi. Alternatif modellerde Higgs bozonunun üretim hızı beklenenden farklı olabilir. Ve eğer Standart Model kuvvetlerinin altında yüklü olan başka parçacıklar varsa, Higgs bozonunun olası son durumlara göreceli bozunum hızlarını etkileyecektir.

Bu bizi Higgs bozonunu incelemek için üçüncü nedene getirir: henüz Higgs mekanizmasını gerçekten neyin sağladığını bilmiyoruz. En basit model –bu bölümde şimdiye kadar odaklandığımız model– bize, deneysel sinyalin tek bir Higgs bozonu olacağını söylüyor. Bununla birlikte, her ne kadar temel elemanların kütlelerinden Higgs mekanizmasının sorumlu olduğuna inansak da, henüz bunun uygulanmasında rol alan kesin parçacıklar takımı konusunda kendimize güvenmiyoruz. Çoğu kimse hâlâ hafif bir Higgs bozonu bulma olasılığımızın olduğunu düşünüyor. Eğer böyle olursa bu, önemli bir düşüncenin önemli bir doğrulaması olacak.

Ama alternatif modeller daha da zengin bir tahminler setiyle daha karmaşık Higgs sektörleri içerir. Örneğin, daha ayrıntılı olarak önümüzdeki bölümde incelenecek olan süpersimetrik modeller, Higgs sektöründe daha fazla sayıda parçacık öngörür. Hâlâ Higgs bozonunu bulmayı bekleyebiliriz ama etkileşmeleri, tek bir Higgs parçacığının olduğu modelden farklı olacaktır. Üstelik Higgs sektöründeki diğer parçacıklar eğer üretilebilecek ölçüde hafiflerse, süreçte kendi ilginç imzalarını atabilirler.

Hatta bazı modeller temel bir Higgs skalerinin var olmadığını, Higgs mekanizmasının temel olmayan, bir süper iletken malzeme içinde fotona kütle veren, eşleşmiş elektronlara benzer şekilde, daha temel parçacıkların bağlı durumları tarafından uygulandığını öne sürüyorlar. Eğer bu doğruysa, bağlı durumdaki Higgs parçacığı şaşırtıcı ölçüde ağır olmalı ve onu temel Higgs bozonundan ayırt eden başka etkileşme özelliklerine sahip olmalıdır. Şu anda bütün deneysel gözlemlerle örtüştürmek zor olduğundan bu modeller biraz gözden düşmüş durumdadır. Ama yine de LHC deneycileri, emin olmak için araştırmalarını sürdürüyorlar.

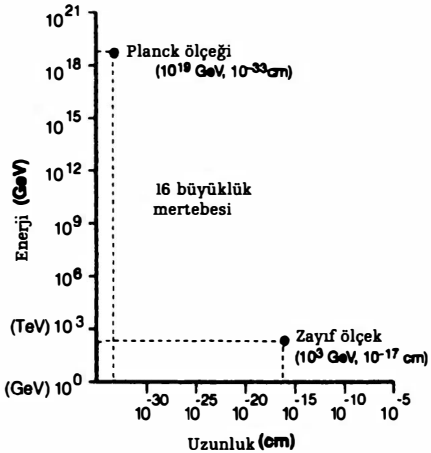
PARÇACIK FİZİĞİNDE SIRADÜZEN PROBLEMİ

Higgs bozonu LHC'de bulunabilecek olan buzdağının sadece ucudur. Higgs bozonunun keşfi kadar ilginç olan şey, bunun LHC'deki deneysel araştırmanın tek amacı olmamasıdır. Zayıf ölçeğin incelenmesinin temel nedeni belki de hiç kimsenin artık bulunması beklenen tek şeyin Higgs bozonu olduğunu düşünmemesidir. Fizikçiler Higgs bozonunun bize maddenin doğası ve belki de uzayın kendisi hakkında daha çok şey öğretecek, daha zengin bir modelin sadece bir parçası olacağını umuyorlar.

Bunun nedeni, başka hiçbir şeyin değil, Higgs bozonunun *sıradüzen (hiyerarşi) problemi* olarak bilinen bir başka devasa bilmeceye yol açmasıdır. Sıradüzen problemi parçacık kütlelerinin –ve özellikle Higgs'in kütlesinin– neden sahip oldukları değerleri aldığıyla ilgilenir. Temel parçacıkların kütlelerini belirleyen zayıf kütle ölçeği bir başka kütle ölçe-

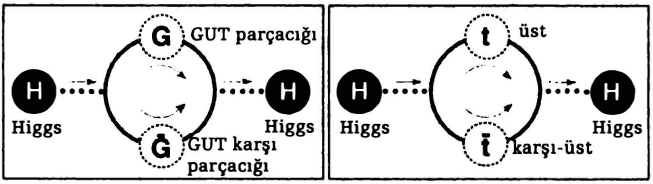
ğinden –kütleçekim etkileşmelerini belirleyen Planck kütlesinden– on bin trilyon kez daha küçüktür (Şekil 54).

Planck kütlesinin zayıf kütleye göre devasa büyüklüğü, kütleçekimin zayıflığını gösterir. Kütleçekim etkileşmeleri Planck kütlesinin *tersine* bağlıdır. Eğer bildiğimiz kadar büyük olduğu ortaya çıkarsa, kütleçekim son derece zayıf olmalıdır.



ŞEKİL 54 Parçacık fiziğindeki sıradüzen problemi: Zayıf enerji ölçeği kütleçekimle ilgili olan Planck ölçeğinden 16 büyüklük mertebesi daha küçüktür. Planck uzunluk ölçeği de LHC'de erişilebilen uzunluklardan aynı oranda küçüktür.

Gerçek şudur ki, kütleçekim bilinen uzak ara en zayıf kuvvettir. Kütleçekim zayıf gibi görünmeyebilir ama bunun nedeni yerkürenin tüm kütlesinin sizi çekiyor olmasıdır. Bunun yerine iki elektron arasındaki kütleçekimi ele alsaydınız, elektromanyetizma kuvvetinin 43 büyüklük mertebesi daha büyük olduğunu anlardınız. Yani bu yarışı elektromanyetizma 10 milyon trilyon trilyon trilyon kez kazanır. Temel parçacıklar üzerine etkiyen kütleçekim tümden ihmal edilebilir düzeydedir. Bu yönde düşünmenin sıradüzen problemi şudur: Kütleçekim neden bildiğimiz diğer temel kuvvetlerden bu kadar zayıftır?



ŞEKİL 55 Higgs bozonu kütlesine ağır bir parçacıktan –örneğin GUT kütle ölçekleriyle– ve bunun karşı-parçacığından gelen (*solda*) ve sanal bir üst kuark ve bunun karşı-parçacığından (*sağda*) gelen kuantum katkıları.

Parçacık fizikçileri Planck kütlesinin zayıf kütleye göre büyüklüğü gibi açıklaması olmayan, büyük rakamlardan hoşlanmazlar. Ama bu sorun gizemli büyük rakamlara estetik bir itirazdan daha kötüdür. Kuantum mekaniği ile özel göreliliği birleştiren kuantum alan kuramına göre, ortada bu kadar büyük bir çelişki olmamalıdır. Sıradüzen probleminin, en azından kuramcılar açısından aciliyeti en iyi bu terimlerle anlaşılır. Kuantum alan kuramı zayıf kütleyle Planck kütle sabitinin hemen hemen aynı olduğunu belirtir.

Kuantum alan kuramında Planck kütlesinin önemli olmasının nedeni sadece kütleçekimin kuvvetli olduğu ölçek olması değildir. Aynı zamanda hem kütleçekimin hem de kuantum mekaniğinin temel olduğu ve bildiğimiz şekliyle fizik yasalarının çökmek zorunda olduğu kütle olmasıdır. Bununla birlikte, daha düşük enerjilerde, birçok başarılı tahminin altında yatan ve fizikçilerin doğruluğu konusunda ikna olduğu kuantum alan kuramını kullanarak parçacık fiziği hesaplarının nasıl yapılacağını biliyoruz. Gerçekten de tüm bilimlerde en iyi ölçülen sayılar, kuantum alan kuramına dayanan hesaplarla örtüşür. Böyle bir örtüşme rastlantı değildir.

Ama benzer ilkeleri kuantum mekaniksel katkıları sanal parçacıklardan gelen Higgs kütlesinin bünyesine dahil etmek amacıyla uyguladığımızda ortaya çıkan sonuç olağanüstü şaşırtıcıdır. Kuramdaki herhangi bir parçacıktan gelen sanal katkılar, Higgs parçacığına neredeyse Planck kütlesi kadar bir kütle veriyormuş gibi görünür. Ara parça-

cıklar devasa GUT ölçekli kütleleri olan ağır cisimler (Şekil 55'te sol taraf) veya üst kuark gibi sıradan Standart Model parçacıkları olabilir (sağ taraf). Her iki durumda da sanal düzeltmeler Higgs kütlesini çok daha fazla büyütür. Buradaki sorun, değiş-tokuş edilen sanal parçacıklar için izinli enerjilerin Planck enerjisi kadar büyük olmasıdır. Bu doğru olduğunda, Higgs kütlesinin katkısı da bu kadar büyük olabilir. Bu durumda zayıf etkileşmelerle ilgili simetrinin kendiliğinden kırıldığı kütle ölçeği de Planck enerjisi olur ve bu, 16 büyüklük mertebesi, yani on bin trilyon kat büyüktür.

Sıradüzen problemi sadece bir Higgs bozonu olan Standart Model için kritik önemde bir konudur. Teknik olarak bir kaçamak noktası vardır. Sanal katkıların yokluğu durumunda Higgs kütlesi devasa olabilir ve sanal katkıları tam ihtiyacımız olan hassaslıkta nötrleştirecek bir değer alabilir. Sorun şu ki, her ne kadar ilke olarak olası olsa da, bunun anlamı 16 ondalık basamağın nötrleştirileceğidir. Bu da biraz fazla rastlantı olur.

Hiçbir fizikçi bu kadar uydurmaya –biz ince ayar diyoruz– inanmaz. Hepimiz bilinen kütleler arasındaki çelişki olan sıradüzen probleminin, temel kuramdaki daha büyük ve iyi bir şeyin göstergesi olduğunu düşünüyoruz. Bu problemi hiçbir basit model tam olarak ele alamayacakmış gibi duruyor. Elimizdeki umut vaat eden tek yanıt, bazı özellikleri olan Standart Modeli kapsıyor. Higgs mekanizmasını uygulayan her neyse, onunla birlikte, sıradüzen probleminin çözümü LHC'nin temel araştırma hedefi olup, önümüzdeki bölümün konusudur.

ON YEDİNCİ BÖLÜM

DÜNYANIN GELECEK EN ÜST MODELİ

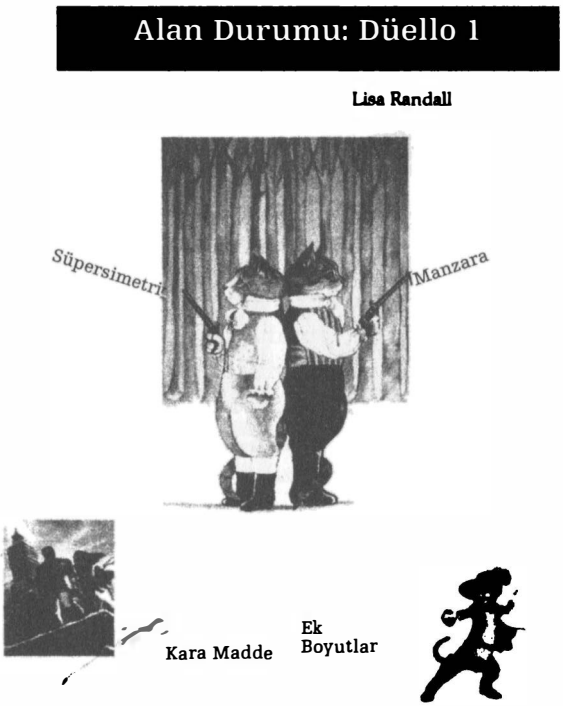
2010 Ocak ayında meslektaşlarım LHC çağında parçacık fiziği ve kara madde araştırmalarını tartışmak üzere Güney California'da bir konferansta toplanmışlardı. Caltech fizik bölümü öğretim üyesi ve CMS'de deneyci olan toplantı organizatörü Maria Spiropulu benden ilk konuşmayı yapmamı, LHC'deki temel konuları özetlememi ve yakın gelecekteki fizik hedeflerini anlatmamı istedi.

Maria dinamik bir konferans olmasını istiyordu, onun için üç açılış konuşmacısı arasında bir "düelloyla" başlamayı önerdi. Üç kişiye uyarlanan "düello" teriminin yeterince kafa karıştırıcı olduğu yetmiyormuş gibi, bu alanda uzman olanlardan California teknoloji dünyasından ilgili gözlemcilere kadar değişik kesimlerden gelen, davetli konuklardan oluşan dinleyiciler epey zorlukla karşılaşacaklardı. Maria derinlere dalmamı ve çağdaş kuram ve deneylerin gizli kalmış ya da üstünkörü geçiştirilmiş konularından söz etmemi isterken, katılımcılardan biri olan, Applied Minds şirketini temsil eden, fizikçi olmamakla birlikte parlak bir kariyer geçmişi olan Dany Hillis, her şeyi sıradan dinleyicilerin de anlayabileceği, olabildiğince basit düzeyde anlatmamı rica etmişti.

Böyle çelişkili ve gerçekleştirilmesi olanaksız isteklerle karşılaşan, rasyonel herhangi bir kimsenin yapacağını yaptım: sürüncemede bıraktım. Web'deki gezintimin sonucu olan ilk slaydım (Şekil 56) Dennis Overbye'ın bu konuda *New York Times*'ta yazdığı makalede dizgi yanlışları ve hatalarla dolu olarak boy gösterdi.

Konuyla ilgili benim ve diğer konuşmacıların konuşma başlıklarının zamanlamaları yapılmıştı. Ama düello yapan

kedilerin her birinin girişine koyduğum ses efektlerindeki (ki burada yeniden yapamayacağım) mizah, bu modellerin her birine ilişkin heyecan ve belirsizliği yansıtıyordu. Toplantıdaki herkes, üzerinde çalışmakta olduğu düşünce konusunda ne kadar kuvvetle ikna olduğundan bağımsız olarak, verilerin yakında geleceğini biliyordu. Ve veriler son gülenin kim olduğu konusunda son hakem olurdu (ya da Nobel Ödülü).



ŞEKİL 56 Konferansta sunduğum şekliyle aday modelleri.

LHC bize eşsiz bir yeni anlayış ve yeni bilgi yaratma fırsatı sunuyor. Parçacık fizikçileri yakında, üzerinde düşünmekte olduğumuz derin soruların yanıtlarını öğrenmiş olacaklarını umuyorlar: Parçacıkların neden sahip oldukları kütleleri var? Kara madde neden oluşuyor? Ek boyutlar sıradüzen problemini çözecek mi? Uzayzamanın fazladan si-

metrileri de işin içinde mi? Veya tümden öngörülemeyen bir şey olabilir mi?

Önerilen yanıtların arasında süpersimetri, technicolor ve ek boyutlar gibi adları olan modeller vardır. Yanıtların beklenen herhangi bir şeyden farklı olduğu ortaya çıkabilir ama bu modeller bize araştırılacak, sağlam hedefler sağlar. Bu bölümde sıradüzen problemine değinen ve LHC'nin ortaya koyacağı araştırmaların türü ve çeşnisini veren birkaç aday model tanıtılıyor. Bunlar ve diğer modeller konusundaki araştırmalar, hangisinin doğanın gerçek kuramı olduğunun ortaya çıkacağından bağımsız bir biçimde, eş zamanlı olarak yürüyor.

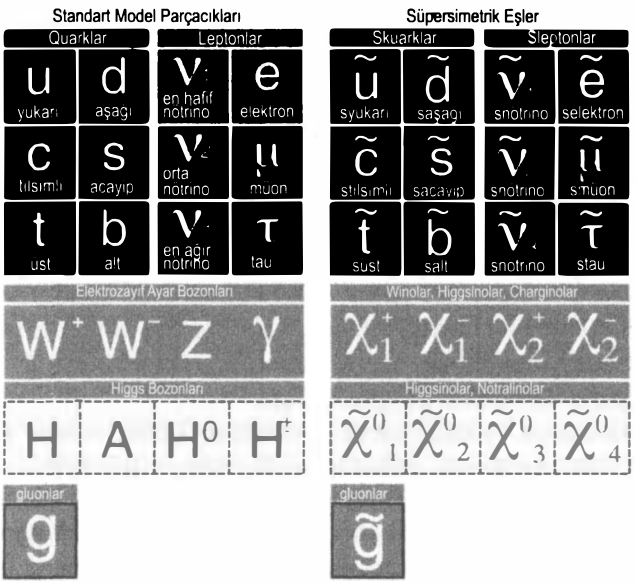
SÜPERSİMETRİ

Süpersimetri adı verilen tuhaf simetriden ve ona yer veren modellerden başlayacağız. Eğer kuramsal parçacık fizikçileri arasında bir anket yapsaydınız, çok yüksek oranda kimse, süpersimetrinin sıradüzen problemini çözeceğini söyleyebilirdi. Ve eğer deneycilere neyi araştırmak istediklerini sorsaydınız, yine büyük oranda süpersimetri yanıtını alırdınız.

1970'lerden beri birçok fizikçi süpersimetrik kuramların varlığını o kadar güzel ve şaşırtıcı addetmişlerdir ki, doğada var olmak zorunda olduklarını düşünmüşlerdi. Ayrıca bir süpersimetrik modelde kuvvetlerin yüksek enerjideki yeğinliklerinin aynı olduğunu hesaplamışlar, Standart Modeldeki yakınsamayı geliştirerek birleştirme olasılığına olanak sağladığını öne sürmüşlerdi. Pek çok kuramcı, süpersimetriyi, ayrıntıları bildiklerimizle örtüştürme güçlüğüne karşın, sıradüzen probleminin en ikna edici çözümü olarak görür.

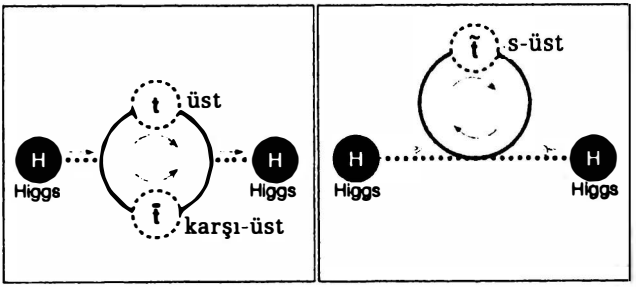
Süpersimetrik modeller Standart Modeldeki her temel parçacığın –elektronlar, kuarklar vb– benzer etkileşmelere giren ama farklı kuantum mekaniksel özellikleri olan bir parçacık şeklinde bir eşi olduğunu önerir. Eğer dünya süpersimetrik ise, o zaman yakında bulunabilecek olan birçok bilinmeyen parçacık vardır; yani her parçacık için süpersimetrik bir eş (Şekil 57).

Süpersimetrik modeller sıradüzen problemini dikkate değer bir yolla çözebilir. Tam olarak süpersimetrik bir modelde parçacıklardan ve karşı-parçacıklardan gelen sanal katkılar birbirini tam olarak yok eder. Yani süpersimetrik bir modelde her parçacığın kuantum mekaniksel katkısını toplar ve Higgs bozonu üzerindeki etkisinin hesabını tutarsanız sıfır bulursunuz. Süpersimetrik bir modelde, kuantum mekaniksel sanal düzeltmeler var olsa bile, Higgs bozonu ya kütlesiz ya da çok hafif bir parçacık olacaktır. Gerçekten süpersimetrik olan bir kuramda her iki türden parçacıklardan gelen katkılar birbirini tam olarak yok eder (Şekil 58).



ŞEKİL 57 Süpersimetrik bir kuramda Her Standart Model parçacığının bir karşı-parçacığı vardır. Higgs sektörü de Standart Modeldekinin ötesinde büyür.

Bu belki de kulağa mucizevi gibi geliyor olabilir ama süpersimetri çok özel tür bir simetri olduğundan, garantilidir. Tıpkı dönme ve ötelenmeden aşina olduğunuz gibi uzay ve zamanda bir simetridir ancak bunları kuantum rejimine de taşır.



ŞEKİL 58 Süpersimetrik bir modelde sanal süpersimetrik parçacıkların Higgs bozonunun kütlesine olan katkıları Standart Model parçacıkların katkılarını yok eder. Örneğin yukarıdaki iki diyagramda görülen katkıların toplamı sıfırdır.

Kuantum mekaniği maddeyi birbirinden çok farklı olan iki kategoriye böler: bozonlar ve fermiyonlar. Fermiyonlar *spin*'leri yarı tamsayı olan parçacıklardır. Spin, eğer parçacıklar dönüyor olsalardı nasıl davranacakları gibi bir şey hakkında bilgi veren kuantum sayısıdır. Yarı tamsayı, ½, 3/2, 5/2 vb gibi değerler anlamına gelir. Standart Modeldeki kuark ve leptonlar fermiyonlara örnek olup spinleri ½'dir. Bozonlar, kuvvetleri ileten ayar bozonları veya henüz keşfedilmemiş olan Higgs bozonu gibi spinleri 0, 1, 2, vb gibi tamsayılarla gösterilen parçacıklardır.

Fermiyon ve bozonların ayrıldıkları nokta sadece spinleri değildir. Kendi türlerinden iki veya daha fazlası bulunduğunda birbirlerinden çok farklı davranırlar. Örneğin, aynı niteliklere sahip, özdeş fermiyonlardan ikisi hiçbir zaman aynı yerde bulunamaz. Bu, Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli'nin adını taşıyan *Pauli dışarlama ilkesinin* bize anlattığı şeydir. Fermiyonlar hakkındaki bu gerçek, elektronların, bir kuantum sayısı tarafından ayırt edilmedikleri sürece, çekirdek çevresinde farklı yörüngelerde dolanmak zorunda olduklarını söyleyen periyodik tablonun yapısını açıklar. Aynı zamanda sandalyemin neden yerkürenin merkezine doğru düşmediğini de açıklar: sandalyemdeki fermiyonlar yerkürenin malzemesindekilerle aynı yerde bulunamaz.

Öte yandan bozonlar, tam tersi yönde davranır. Aslında, aynı yerde bulunma olasılıkları çok daha yüksektir. Bozonlar birbirlerinin üzerine birikebilirler, bu da aynı kuantum mekaniksel durumda olan birçok parçacığın yığılmasını gerektiren Bose yoğuşkusu gibi olguların nasıl var olabileceğini açıklar. Lazerler de bozonik fotonların birbirlerine olan eğilimlerine dayanır. Yoğun demet, aynı anda hareket eden birçok özdeş foton tarafından yaratılır.

Süpersimetrik bir modelde birbirlerinden çok farklı parçacıklar –bozonlar ve fermiyonlar– olarak ele aldığımız parçacıkların, sonuçta yine başladığımız kuramla aynı olacak şekilde değiş-tokuş edilebiliyor olması dikkat çekicidir. Her parçacığın karşıt kuantum mekaniksel türde ama tam olarak aynı kütle ve yüke sahip olan bir eş parçacığı vardır. Bu yeni parçacıkların adlandırılmaları biraz komiktir, ne zaman bir topluluk önünde bunlardan söz etsem, kıkırdamalar eksik olmaz. Örneğin fermiyonik elektronun eşi bozonik *selektron*dur. Bozonik bir foton, fermiyonik bir *fotino*'yla bir W ise bir *Wino*'yla eşleşir. Bu yeni parçacıklar, Standart Model parçacıklarıyla eşleştikleri parçacıklara benzer etkileşmelere girerler. Ama sahip oldukları kuantum mekaniksel nitelikler zıttır.

Süpersimetrik bir kuramda her bozonun özellikleri, onun süper eşleştiği fermiyonun özelliklerine bağlı olup bunun tersi de doğrudur. Her parçacığın bir eşi olduğundan ve etkileşmeler de dikkatlice sıralanmış olduğundan kuram fermiyon ve bozonların değiş-tokuş edildiği bu tuhaf simetriye olanak verir.

Higgs kütlesine yapılan sanal katkılardaki görünüşe göre bu mucizevi birbirini yok etme durumunu anlamanın bir yolu, süpersimetrinin herhangi bir bozonu eş fermiyonuyla ilişkilendirmesidir. Özellikle, süpersimetri Higgs bozonunu bir eş Higgs fermiyonuyla, Higgsino'yla ilişkilendirir. Kuantum mekaniksel katkılar bir bozonun kütlesini radikal bir şekilde etkiliyor olmasına karşın, bir fermiyonun kütlesi hiçbir zaman bu klasik kütleden, yani kuantum mekaniksel düzeltmeler yapıldığında bile, yola çıktığınız kuantum katkılarıyla açıkladığınız kütleden çok daha büyük olmayacaktır.

Buradaki mantık biraz karışıktır ama fermiyon kütleleri hem sol elli hem de sağ elli parçacıkları kapsadığından büyük düzeltmeler ortaya çıkmaz. Kütle terimleri bunların birbirlerine dönüşmelerine olanak verir. Eğer klasik kütle terimi olmasaydı ve kuantum mekaniksel sanal etkiler işin içine girmeden önce birbirlerine dönüşmeselerdi, kuantum mekaniksel etkiler hesaba katıldığında bile bunu yapamazlardı. Eğer bir fermiyonun başlangıç kütlesi olmasaydı (klasik kütle olmasaydı), kuantum mekaniksel katkılar göz önüne alındığında bile kütlesi sıfır olacaktı.

Bu tartışma bozonlara uygulanmaz. Örneğin Higgs bozonunun spini sıfırdır. O nedenle Higgs bozonunun spininin sola doğru mu yoksa sağa doğru mu olduğunu konuşacağımız bir yön yoktur. Ama süpersimetri bize bozon kütlelerinin fermiyon kütleleriyle aynı olduğunu söylüyor. Bu yüzden eğer Higgsino'nun kütlesi sıfırsa (veya küçükse), süpersimetrik bir kuramda eş Higgs bozonunun kütlesi de, kuantum mekaniksel düzeltmeler göz önüne alındığında bile küçük olmalıdır.

Henüz sıradüzenin kararlılığının ve Higgs kütlesine yapılacak büyük düzeltmelerin birbirini yok etme durumunun bu oldukça şık açıklamasının doğru olup olmadığını bilmiyoruz. Ama eğer süpersimetri, sıradüzen problemini irdeliyorsa, o zaman LHC'de ne bulunmasını bekleyeceğimiz konusunda epeyce bir şey biliyoruz demektir. Bunun nedeni, bilinen her parçacığın bir eş parçacığı olması gerektiğinden, hangi yeni parçacıkların var olması gerektiğini biliyor olmamızdır. Üstelik, yeni süpersimetrik parçacıkların kütlelerinin ne olacağını da hesaplayabiliriz.

Elbette eğer süpersimetri doğada tam olarak korunuyorsa, bütün süper eşlerin kütlelerini tam olarak biliriz. Eşleştikleri parçacıkların kütleleriyle aynı olacaktır. Buna karşın, süper eşlerin hiçbiri gözlenmemiştir. Bu da bize, süpersimetri doğada uygulanıyor olsa bile, tam olamayacağını gösterir. Eğer olsaydı, şimdiden selektronu, skuarkı ve süpersimetrik bir kuramın öngördüğü bütün diğer süpersimetrik parçacıkları keşfetmiş olurduk.

O nedenle süpersimetri *kırılmış* olmalıdır ki bu da süpersimetrik bir kuramda öngörülen ilişkilerin yaklaşık olabilirlerse de tam olamayacakları anlamına gelir. Kırılmış bir süpersimetrik kuramda da hâlâ her parçacığın bir süper eşi olacaktır ama bu süper eşlerin kütleleri Standart Modeldeki eş parçacıklarının kütlelerinden farklı olacaktır.

Yine de, eğer süpersimetri çok kötü kırılmış olsaydı, sıradüzen probleminin çözümüne bir yardımı olmazdı çünkü o zaman dünya sanki doğada süpersimetri uygulanmıyormuş gibi görünürdü. Süpersimetri o şekilde kırılmış olmalı ki, Higgs kütlesi her şeye karşın çok büyük kütle edindirecek büyük kuantum mekaniksel katkılardan korunurken henüz süpersimetrinin kanıtlarını keşfedemiyoruz.

Bu bize süpersimetrik parçacıkların zayıf ölçekte kütleleri olması gerektiğini söylüyor. Biraz daha hafif olmaları durumunda gözlenmiş olurlardı, biraz daha ağır olsalardı, Higgs parçacığının kütlesinin de daha büyük olmasını beklerdik. Kütleleri kesin olarak bilemiyoruz çünkü Higgs kütlesini yalnızca yaklaşık olarak bilebiliyoruz. Ama eğer kütleler çok büyük olsaydı, sıradüzen probleminin varlığını sürdüreceğini biliyoruz.

O nedenle, eğer doğada süpersimetri varsa ve sıradüzen problemini irdeliyorsa, kütleleri birkaç yüz GeV'den birkaç TeV'e kadar olan çok sayıda yeni parçacık var olmalı. Bu, tam olarak LHC'nin araştırabileceği kütle aralığıdır. LHC, 14 TeV enerjiyle, protonların enerjilerinin sadece bir kesri çarpışan ve yeni parçacıklar üreten gluon ve kuarklara gidiyor olsa bile, bu parçacıkları üretebilmelidir.

LHC'de üretilmesi en kolay olan parçacıklar, yeğin nükleer kuvvet altında yüklenen süpersimetrik parçacıklardır. Protonlar (ya da içlerindeki kuark ve gluonlar) çarpıştığında bu parçacıklar çok miktarda ortaya çıkar. Bu çarpışmalar olduğunda yeğin kuvvetle etkileşen yeni süpersimetrik parçacıklar üretilebilir. Eğer bu gerçekleşirse, bu parçacıklar dedektörlerde çok ayırt edici ve karakteristik izler bırakır.

Bu *imzalar* –bıraktıkları deneysel kanıt parçaları– yaratıldıktan sonra parçacığa ne olduğuna bağlıdır. Çoğu sü-

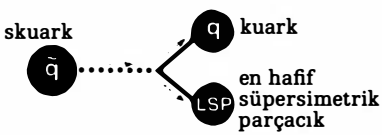
persimetrik parçacıklar bozunacaktır. Bunun nedeni, genelde daha hafif parçacıkların (Standart Modelde olanlar gibi) toplam yükün ağır süpersimetrik parçacıklarla aynı olduğu durumlarda var olmasıdır. Eğer durum buysa, ağır, süpersimetrik parçacık, başlangıçtaki yükü koruyacak bir yolla daha hafif Standart Model parçacıklarına bozunacaktır. Daha sonra da dedektörlerde bu Standart Model parçacıkları saptanacaktır.

Bu, büyük olasılıkla süpersimetriyi tanımlamak için yeterli değildir. Ama neredeyse bütün süpersimetrik modellerde, süpersimetrik bir parçacık yalnızca Standart Model parçacıklarına bozunmaz. Bozunmanın sonunda bir başka (daha hafif) süpersimetrik parçacık kalır. Bunun nedeni süpersimetrik parçacıkların sadece çiftler halinde ortaya çıkmasıdır (ya da yok olması). Bu nedenle, süpersimetrik bir parçacığın bozunumunun sonrasında yine süpersimetrik bir parçacık kalmalıdır. Bir süpersimetrik parçacık basitçe yok olamaz. Sonuç olarak, en hafif böyle parçacık kararlı olmalıdır. Hiçbir şeye bozunamayacak olan en hafif parçacık, fizikçiler tarafından en hafif süpersimetrik parçacık ya da LSP (Lightest Supersymmetric Particle) olarak bilinir.

Süpersimetrik parçacık bozunumlarının deneysel bakış açısından ayırt edici özellikleri vardır; bozunumun tamamlanmasından sonra bile yüksüz süpersimetrik parçacıklardan en hafifi kalacaktır. Kozmolojik kısıtlar bize LSP'nin yük taşımadığını, dolayısıyla dedektörün herhangi bir elemanıyla etkileşmeye girmeyeceğini anlatır. Bu ise, ne zaman süpersimetrik bir parçacık üretilse ya da bozunsa, momentum ve enerjinin kaybolur gibi görüneceği anlamına gelir. LSP dedektörden yok olacak, enerji ve momentumu kaydedilemeyecekleri bir yere taşıyacak ve geriye imza olarak kayıp enerjiyi bırakacaktır. Kayıp enerji yalnızca süpersimetriye özgü de değildir, ama süpersimetrik spektrum hakkında zaten epeyce çok şey bildiğimiz için, ne görmemiz ve ne görmememiz gerektiğini biliyoruz.

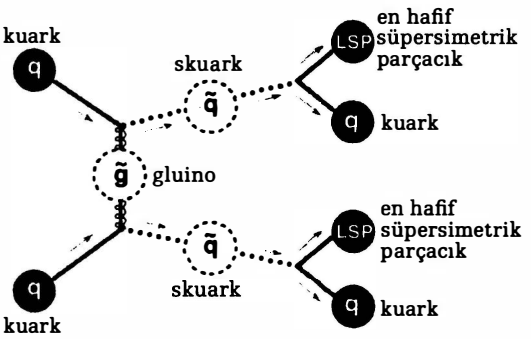
Örneğin kuarkın süpersimetrik eşi olan bir skuark üretildiğini varsayalım. Bunun hangi parçacıklara bozunacağı,

parçacıklardan hangisinin (hangilerinin) daha hafif olduğuna bağlı olacaktır. Olası bir bozunum kipi her zaman bir skuarkın bir kuark ve en hafif süpersimetrik parçacığa dönüşmesi olacaktır (Şekil 59). Bozunmalar esasında anında ortaya çıkabilecekleri için, dedektörlerin sadece bozunum ürünlerini kaydedebileceğini hatırlayalım. Eğer böyle bir skuark bozunumu ortaya çıkarsa, dedektörler kuarkın geçişini iz sürücülerde ve yeğin etkileşen parçacığın depoladığı enerjiyi ölçen hadronik kalorimetrede kaydeder. Ama deneyde aynı zamanda enerji ve momentumun kaybolduğu da ölçülecektir. Deneyciler nötrinoların üretildiğinde izledikleri aynı yolla momentumun kaybolduğunu söyleyebilmelidir. Demet yönüne dik momentumu ölçer ve sıfır olmadığını görürler. Deneycilerin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri bu kayıp momentumu açık bir şekilde tanımlayabilmek olacaktır. Ne de olsa saptamayan bir şey kayıp gibi görünür. Eğer hatalı veya ölçülememiş bir şey varsa ve az miktarda enerji bile saptanamamışsa, egzotik hiçbir şey üretilmemiş de olsa, kayıp momentum kaçan süpersimetrik bir parçacığın sinyalini taklit ediyor anlamına gelir.



ŞEKİL 59 Bir skuark, bir kuark ve en hafif süpersimetrik parçacığa bozunabilir.

Aslında, skuark hiçbir zaman kendi başına değil, sadece yeğin etkileşen bir cisimle (bir başka skuark ya da karşı-skuark) birlikte yaratıldığı için, deneyciler en azından iki jet ölçeceklerdir (örneğin *bkz.* Şekil 60).Eğer protonların çarpışmasıyla iki skuark yaratıldıysa, bunlar dedektörlerin saptayabileceği iki kuarka yol açarlar. Net kayıp enerji ve momentum kaydedilmemiş olarak kalır ama onların yokluğu dikkat çeker ve yeni parçacıklar için kanıt olur.



ŞEKİL 60 LHC'de, her ikisi de kuarklara ve LSP'lere bozunan ve kayıp enerji imzası veren iki skuark birlikte üretilebilir.

LHC programındaki bütün gecikmelerin önemli bir avantajı, deneycilerin dedektörlerini tanımaya zaman bulabilmesi oldu. Aletlerini o şekilde kalibre ettiler ki, ölçümler makinenin çalışmaya başladığı ilk andan itibaren son derece hassastı, o nedenle kayıp enerji ölçümleri sağlıklı olmalıydı. Öte yandan, kuramcıların, süpersimetrik ve diğer modeller için alternatif araştırma stratejileri üzerinde düşünmek için zamana ihtiyaçları vardı. Örneğin, Williams Kolejinden bir kuramcı olan Dave Tucker-Smith ve ben, biraz önce tarif edilen skuark bozunumunu araştırmanın farklı –ama bağlantılı– bir yolunu bulduk. Bizim yöntemimiz, aldatıcı olabilecek kayıp momentum ölçümüne gerek olmadan, olaydan çıkan kuarkların enerji ve momentumlarının ölçümüne dayanır. Son zamanlardaki LHC heyecanının harika tarafı, bir grup CMS deneycisinin bu fikirle hemen harekete geçmesi ve sadece fikrin işlediğini göstermekle kalmayıp, birkaç ay içinde bu fikri geliştirip genelleştirmeleriydi. Bu düşünce artık standart süpersimetri araştırma stratejisinin bir parçası oldu ve CMS'deki ilk süpersimetri araştırmasında çok yakın zamanda önerdiğimiz bu teknik kullanıldı.[1]

Yakın bir gelecekte süpersimetri keşfedilmiş bile olsa, deneyciler orada durmayacaktır. Bütün süpersimetrik spektrumu belirlemek için ellerinden geleni yapacaklar ve kuram-

[1] http://xxx.lanl.gov/PS_cache/arxiv/pdf/1101/1101.1628v1.pdf.

cılar, sonuçların ne anlama geleceğini yorumlamaya çalışacaklardır. Süpersimetrinin ve onu kendiliğinden kırabilecek parçacıkların altında birçok ilginç kuram vardır. Eğer süpersimetri sıradüzen problemiyle ilgiliyse, hangi süpersimetrik parçacıkların var olması gerektiğini biliriz ama henüz bunların sahip olmaları gereken kütleleri ve bu kütleleri nasıl edindiklerini bilmiyoruz.

LHC'de neyin görülmesi gerektiği konusunda farklı kütle spektrumları devasa fark yaratacaktır. Parçacıklar sadece kendilerinden daha hafif parçacıklara bozunabilirler. Bozunum zinciri, yani süpersimetrik parçacıkların olası bozunum dizisi kütlelerine; neyin daha hafif, neyin daha ağır olduğuna bağlıdır. Çeşitli süreçlerin hızları da parçacık kütlelerine dayanır. Daha ağır parçacıklar genelde daha hızlı bozunurlar. Ve bunları sadece yüksek enerjideki çarpışmalar yaratabileceği için üretilmeleri daha zordur. Bütün sonuçların bir araya getirilmesi Standart modeli arkasında neyin olduğu ve gelecek enerji ölçeklerinde bizi nelerin beklediği konularında bize önemli kavrayışlar kazandırabilir. Bu, bulabileceğimiz yeni fiziksel kuramların bütün analizleri için doğru olacaktır.

Yine de, süpersimetrinin fizikçiler arasında popüler olmasına karşın, bu kuramın gerçekten sıradüzen problemine ve gerçek dünyaya uygulanıp uygulanmadığı konusuyla ilgilenmemiz için pek çok neden var.

Bu nedenlerden ilki ve en can sıkıcı olanı, henüz deneysel bir kanıt bulamamış olmamızdır. Eğer süpersimetri varsa, kanıt bulamamış olmamızın tek açıklaması süper eşlerin ağır olmasıdır. Ancak sıradüzen probleminin doğal çözümü süper eşlerin mantıklı bir şekilde hafif olmalarını gerektirir. Süper eşler ağırlaştıkça, süpersimetrinin sıradüzen probleminin çözümü olma olasılığı giderek uygunluğunu yitirecektir. Uydurma miktarı Higgs bozonunun kütlesinin süpersimetri kırılması ölçeğine oranı tarafından belirlenir. Bu ne kadar büyükse, kuram da o kadar ince ayarlı olur.

Higgs bozonunu henüz görememiş olmamız bu problemi daha da yoğunlaştırır. Süpersimetrik bir modelde Higgs'i saptanmaktan kurtulacak ölçüde ağır yapmanın tek yolu, sa-

dece süper eşlerden gelebilecek büyük kuantum mekaniksel katkıların bulunmasıdır. Ama tekrarlayalım, bu kütlelerin o kadar ağır olması gerekir ki, süpersimetriyle bile biraz yapay görünür.

Süpersimetriye ilişkin bir diğer problem, süpersimetri kırılmasını kapsayacak ve günümüze kadarki bütün deneysel sonuçlarla örtüşecek, tam anlamıyla tutarlı bir model bulmanın zorluğudur. Süpersimetri birçok etkileşme arasında bağlantı kuran ve aksi durumda kuantum mekaniğinin izin vereceği etkileşmeleri yasaklayan, çok özel bir simetridir. Süpersimetri bir kez kırıldığında, artık "anarşi ilkesi" egemen olur. Olabilecek herhangi bir şey, olacaktır. Modellerin çoğunda ya doğada hiç görülmeyen ya da hesaplarla örtüşmeyecek kadar seyrek görülen bozunumlar öngörülür. Kuantum mekaniği yüzünden, süpersimetri bir kez kırıldığında Pandora'nın kutusu açılır.

Fizikçiler doğru yanıtları gözden kaçırıyor da olabilirler. Elbette, kesin olarak hiçbir iyi modelin var olmadığını ya da biraz ince ayarın gerekmediğini söyleyemeyiz. Kuşkusuz eğer süpersimetri sıradüzen probleminin gerçek çözümüyse, yakında bunun kanıtını LHC'de bulmamız gerekir. O nedenle bunun ardına düşmeye değer. Süpersimetrinin keşfedilmesi, bu egzotik, yeni uzayzaman süpersimetrisinin sadece kâğıt üzerinde birtakım kuramsal formüllerde değil, gerçek dünyada da uygulandığı anlamına gelir. Bununla birlikte, keşfin yokluğunda, seçenekleri de göz önünde bulundurmaya değer. Bunlardan göz önüne alacağımız ilki, *technicolor* olarak bilinir.

TECHNICOLOR

1970'lerde fizikçiler, sıradüzen problemine alternatif, potansiyel bir çözüm olan ve *technicolor* olarak bilinen çözümü de göz önüne aldılar. Bu başlık altındaki modeller, şakacı bir şekilde *technicolor kuvveti* olarak adlandırılan yeni bir kuvvet aracılığıyla yeğin bir şekilde etkileşen parçacıkları kapsar.* Öneri, technicolor'ın yeğin nükleer kuvvetle (fizikçiler

* *Color*, İngilizcede renk anlamına gelir –yn.

arasında renk kuvveti olarak da bilinir) benzer şekilde davrandığı, ancak parçacıkları proton kütle ölçeğinde değil, zayıf enerji ölçeğinde bir arada tuttuğu yönündeydi.

Eğer technicolor gerçekten sıradüzen probleminin çözümü ise, LHC'de tek bir temel Higgs bozonu üretilmez. Higgs parçacığının rolünü oynayan, hadron gibi bağlı bir durum üretilir. Technicolor'ı destekleyen deneysel kanıt, zayıf ölçekte veya üzerinde birçok bağlı durum parçacığı ve birçok yeğin etkileşme –aşina olduğumuz hadronlara çok benzeyen ama sadece çok daha yüksek enerjilerde ortaya çıkan– olur.

Henüz hiçbir kanıt görmemiş olmamız technicolor modelleri üzerine önemli bir kısıt koyar. Eğer technicolor, sıradüzen probleminin gerçekten çözümü ise, elbette çok ince noktaları kaçırabileceğimizi göz önünde bulundurmakla birlikte, kanıtını bulmayı beklerdik.

Üstelik technicolorla model inşası süpersimetriden daha da zordur. Doğada gözlediğimiz her şeyle örtüşen modeller bulmanın önemli zorlukları olduğu görüldü ve tam olarak uygun hiçbir model bulunamadı.

Deneyciler yine de önyargısız bir şekilde technicolor ve yeni yeğin kuvvetlerin diğer kanıtları üzerinde düşünmeyi sürdüreceklerdir. Ama pek umudumuz yok. Bununla birlikte, eğer technicolor'ın dünyamızın temel kuramı olduğu ortaya çıkarsa, belki de Microsoft her "technicolor" yazdığımda beni düzeltmekten ve büyük harf "T" koymaktan vazgeçer.

EK BOYUTLAR

Ne süpersimetri ne de technicolor modelinin sıradüzen probleminin mükemmel çözümleri olmadığı açıktır. Süpersimetrik kuramlarda deneylerle uyumlu süpersimetri kırılmasına pek fazla yer yok ve doğru kuark ve lepton kütleleri öngören technicolor kuramları ortaya koymak daha da zor. O nedenle fizikçiler uzaklara bakmaya ve yüzeysel olarak daha da spekülatif fikirleri göz önüne almaya karar verdiler. Bir fikir başlangıçta çirkin veya bulanık görünse bile, ancak ifade ettiği her şeyi tam olarak anladıktan sonra hangi fikrin daha güzel, bundan da önemlisi daha doğru olduğuna karar verebiliriz.

1990'larda sicim kuramı ve bileşenlerini fizikçilerin daha iyi kavraması, sıradüzen problemine değinen yeni önerilere yol açtı. Bu görüşler, her ne kadar mutlaka onun çok kısıtlı yapısından elde edilmemiş olsa bile, sicim kuramının elemanları tarafından motive edilmiş olup uzayın ek boyutlarını da kapsar. Eğer ek boyutlar varsa –ki var olduklarını düşünmek için yeterince nedene sahibiz– sıradüzen probleminin anahtarı bunlarda olabilir. Eğer durum gerçekten böyleyse, varlıklarına ilişkin kanıtlar LHC'de ortaya çıkar.

Ek uzay boyutları egzotik bir kavramdır. Eğer evrende böyle boyutlar varsa, evren gündelik yaşantımızda gözlediğimizden çok daha farklı bir yer haline gelir. Üç yöne –sol-sağ, yukarı-aşağı, ileri-geri veya alternatif olarak boylam, enlem ve yükseklik– ek olarak uzay hiç kimsenin gözleyemediği yönlerde uzar.

Onları görmediğimiz göre, bu yeni uzay boyutlarının gizli olmaları gerektiği açıktır. Bunun nedeni, fizikçi Oscar Klein'ın 1926'da önerdiği gibi, görebileceğimiz herhangi bir şeyi doğrudan etkileyemeyecek kadar küçük olmaları olabilir. Bu düşünce, bizim sınırlı çözünürlüğümüz kadar, boyutların farkına varılamayacak kadar küçük olabileceklerine ilişkindir. O yönde hareket edemeyeceğimiz için, bükülmüş bir boyuta dikkat etmiyor olabiliriz, tıpkı Şekil 61'de gösterildiği gibi, gergin bir halat üzerinde yürüyen bir insanın yolunu tek boyutlu olarak görürken, halat üzerindeki bir karıncanın yolu iki boyutlu olarak algılaması gibi.[2]

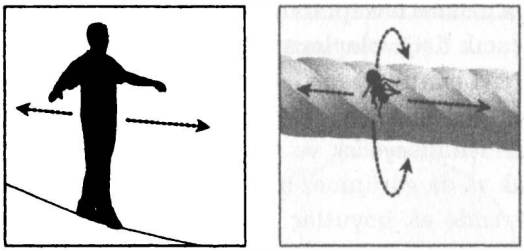
Bir diğer olasılık uzayzamanın bükülmüş ya da çarpılmış olması nedeniyle boyutların gizlenmiş olmasıdır ki, Einstein bize, enerjinin varlığı durumunda böyle olacağını öğretmişti. Eğer bu bükülme yeterince büyükse, ek boyutların etkileri, Raman Sundrum ve benim 1999'da belirlediğimiz gibi, karanlıkta kalmış olabilir. Bunun anlamı bükülmüş geometrinin de bir boyutun gizlenebileceği bir yol sağlamasıdır. [3]

---

[2] Bu, ***Bükülmüş Geçitler***'de daha ayrıntılı incelenmiştir.

[3] Bu da ***Bükülmüş Geçitler***'de ayrıntılı olarak incelendi. Özgün makale: Lisa Randall ve Raman Sundrum, *Physical Review* Letters 83 (1999):4690–4693.

Gergin halatın üzerinde yürüyen insan Gergin halatın üzerinde yürüyen karınca



ŞEKİL 61 Bir insan ve minik bir karınca gergin bir halatı çok farklı algılar. İnsan için halatın tek boyutu varmış gibi görünürken, karınca iki boyut algılar.

Acaba hiç görmediğimiz halde neden ek boyutlar olabileceğini düşünüyoruz? Fizik tarihinde hiç kimsenin görmediği şeylerin bulunduğu pek çok örnek vardır. Hiç kimse atomları "göremez", hiç kimse kuarkları da "göremez". Ama artık elimizde bunların her ikisinin de var olduğuna ilişkin güçlü deneysel kanıtlar var.

Hiçbir fizik yasası bize uzayın sadece üç boyutunun olduğunu söylemiyor. Einstein'ın genel görelilik kuramı herhangi bir sayıdaki boyut için geçerlidir. Theodor Kaluza, Einstein'ın fikirlerini dördüncü uzay boyutunun varlığını önererek genelleştirdi, beş yıl sonra ise Oskar Klein bu boyutun nasıl bükülüp, bildiklerimizden farklılaşabileceğini ortaya attı.

Kuantum mekaniği ile kütleçekimi birleştiren bir kuram için önde gelen bir öneri olan sicim kuramı fizikçilerin şu sıralar ek boyutlar kavramını akıllarında tutmalarının bir başka nedenidir. Sicim kuramı açıkça bizim aşina olduğumuz kütleçekim kuramına yol açmaz. Sicim kuramı mutlaka uzayın ek boyutlarını kapsamak zorundadır.

İnsanlar bana sık sık evrende var olan boyutların sayısını sorar. Bilmiyoruz. Sicim kuramında fazladan altı veya yedi ileri sürülür. Ama model yapanlar önyargılı değildir. Sicim kuramının farklı sürümlerinin başka olasılıklara yol açması da düşünülebilir. Ne olursa olsun, aşağıdaki tartışmalarda

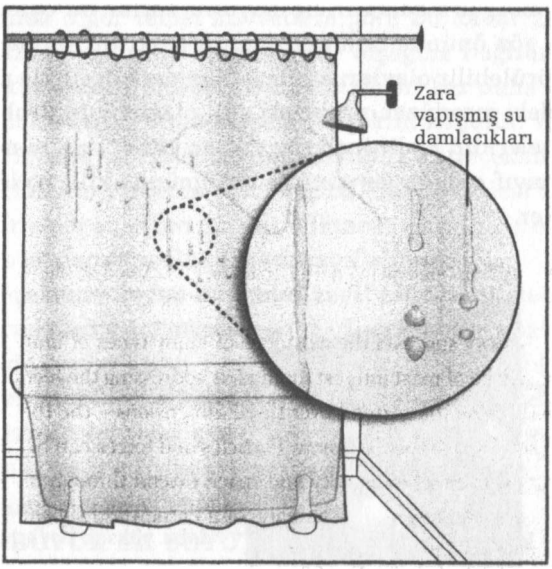
model yapanların ilgilendikleri boyutlar yeterince bükülmüş olanlar veya fiziksel hesapları etkileyecek ölçüde büyük olanlardır. Parçacık fiziği olaylarına ilişkin olanlardan daha da küçük, başka boyutlar var olabilir ama bu kadar süper-küçük olan herhangi bir şeyi ihmal edeceğiz. Yine etkin kuram yaklaşımını benimseyecek ve ölçülebilir fark yaratmayacak kadar küçük ya da görünmez olan her şeyi ihmal ederiz.

Eğer evrende ek boyutlar varsa, sicim kuramı evrenin geometrisine daha zengin olasılıklar katan başka elemanların, özellikle zarların da varlığını öne sürer. 1990'larda sicim kuramcısı Joe Polchinski sicim kuramının sadece sicim adı verilen, tek boyutlu nesnelerin kuramı olmadığını ortaya koydu. Başkalarıyla birlikte Polchinski, zar adı verilen daha fazla boyutlu cisimlerin de kuramın vazgeçilmezi olduğunu gösterdi.

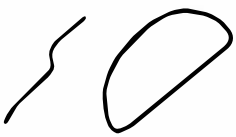
"Zar" (brane) sözcüğü "membran" sözcüğünden türetilmiştir. Üç boyutlu uzaydaki iki boyutlu yüzeyler olan membranlar gibi zarlar da daha yüksek boyutlu uzayda daha düşük boyutlu yüzeylerdir. Bu zarlar parçacık ve kuvvetleri uzayın bütün boyutlarında hareket edemeyecek şekilde yakalayabilirler. Daha yüksek boyutlu uzaydaki zarlar, kendisi de üç boyutlu uzaydaki iki boyutlu bir yüzey olan banyo perdesine benzer (Şekil 62). Su damlacıkları yalnızca perdenin iki boyutlu yüzeyinde hareket edebilir, tıpkı bir zarın daha düşük boyutlu "yüzeyine" yakalanmış olan parçacık ve kuvvetler gibi.

Kabaca iki tür sicim vardır: uçları olan *açık sicimler* ve lastik bantlar gibi halkalar oluşturan *kapalı sicimler* (Şekil 63). Sicim kuramcıları 1990'larda açık sicimlerin uçlarının herhangi bir yerde olamayacağını, zarların üzerinde olmaları gerektiğini fark ettiler. Bir zara yapışık olan açık sicimlerin salınımlarından ortaya çıkan parçacıklar da orada hapsolur. Bu durumda bu sicimlerin salınımları olan parçacıklar oraya yapışırlar. Tıpkı duş perdesinin üzerindeki su damlacıkları gibi, zarların boyutları boyunca hareket edebilir, orayı terk edemezler.

Duş Perdesi "Zarı"



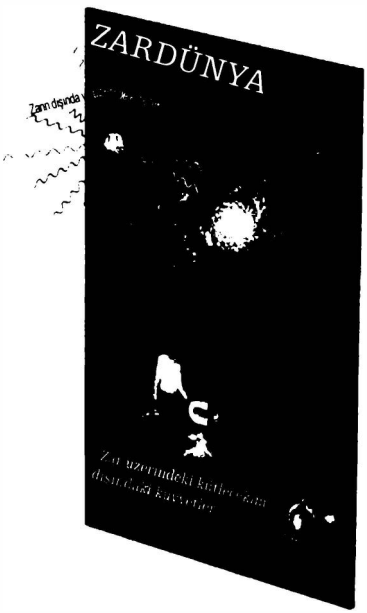
ŞEKİL 62 Bir zarın yakaladığı parçacık ve kuvvetler zar yüzeyi boyunca hareket edebilir ama oradan ayrılamazlar, tıpkı duş perdesi üzerinde hareket edebilen ama oradan ayrılamayan su damlacıkları gibi.



ŞEKİL 63 İki ucu olan, açık bir sicim ve uçları olmayan, kapalı bir sicim.

Sicim kuramında birçok zar türünün varlığı ileri sürülür ama sıradüzen problemini irdeleyen modellerde en çok ilgilenilenler, üç boyutun –bildiğimiz uzayın üç fiziksel boyutunun– ötesine uzananlardır. Kütleçekim ve uzay üç boyuta uzansa bile, parçacık ve kuvvetler bu zarların üzerinde yakalanabilir. (Şekil 64'te bir insan ve bir mıknatısı bir zar üzerinde gösteren, kütleçekimin üzerinde ve dışına doğru uzandığı bir zar dünyası gösteriliyor.)

Sicim kuramının ek boyutları gözlenebilir dünya için fiziksel önem arz edebilir, üç boyutlu zarlar da öyle. Ek boyutları göz önünde bulundurmanın belki de en önemli nedeni, görülebilir olayları etkileyebilmeleri, özellikle parçacık fiziğindeki sıradüzen problemi gibi olağanüstü problemlere değinmeleridir. Ek boyutlar ve zarlar, kütleçekimin neden bu kadar zayıf olduğu sorusunun çözümünde kilit roller oynayabilirler.



ŞEKİL 64 Standart Modeldeki parçacık ve kuvvetler, daha yüksek boyutlu uzayda var olan bir zar dünyasına hapsolabilirler. Bu durumda kuzenim Matt, bildiğimiz madde ve yıldızlar, elektromanyetizma gibi kuvvetler, galaksimiz ve evren onun üç uzay boyutunda bulunur. Öte yandan kütleçekim, daima uzayın her yanına dağılabilir (Fotoğraf Marty Rosenberg'in izniyle).

Şimdi uzayın ek boyutlarını düşünmenin en iyi nedenine geldik. Bunların şimdi anlamaya çalıştığımız olgular üzerinde önemli sonuçları olabilir ve eğer öyleyse, çok yakın gelecekte bunların kanıtlarını görebiliriz.

Sıradüzen problemini iki farklı yolla ifade edebileceğimizi hatırlayalım. Bunun neden Higgs kütlesinin –ve dolayısıyla zayıf ölçeğin– Planck kütlesinden bu kadar küçük olduğu sorusu olduğunu söyleyebiliriz. Süpersimetri ve technicolor konusunda düşünürken göz önünde bulundurduğumuz soru

budur. Ama eşdeğer bir soru da sorabiliriz: Neden kütleçekim bilinen diğer temel kuvvetlere göre bu kadar zayıftır? Kütleçekimin yeğinliği Planck kütle ölçeğine bağlıdır ki bu devasa kütle zayıf ölçekten on bin trilyon kez daha büyüktür. Planck kütlesi büyüdükçe kütleçekim küçülür. Yalnızca kütleler Planck ölçeğine yakın olduğunda kütleçekim büyür. Parçacıklar, dünyamızda olduğu gibi, Planck kütlesi tarafından belirlenen ölçekten önemli miktarda daha hafif oldukları sürece kütleçekim olağanüstü zayıf olur.

Kütleçekimin neden bu kadar zayıf olduğu bilmecesi aslında sıradüzen problemiyle eşdeğerlidir. Birinin çözümü diğerinin de çözümü olur. Ama problemler eşdeğerli olsa bile, sıradüzen problemini kütleçekim cinsinden ifade etmek, düşüncemizi ek boyutlu çözümlere yönlendirmekte yardımcı olur. Şimdi önemli birkaç öneriyi araştıracağız.

BÜYÜK EK BOYUTLAR VE SIRADÜZEN

İnsanların sıradüzen problemi hakkında düşünmeye başladıkları ilk günden beri fizikçiler çözümün, yaklaşık 1 TeV'lik zayıf enerji ölçeğinde değiştirilmiş parçacık etkileşmelerini kapsaması gerektiğini düşünüyorlardı. Sadece Standart Model parçacıklarıyla Higgs parçacığının kütlesine yapılan kuantum katkıları devasa boyutlarda olur. Higgs parçacığının kütlesine yapılan büyük kuantum mekaniksel katkıları yumuşatmak için bir şeyin etkisini göstermesi zorunludur.

Süpersimetri ve technicolor; yeni, ağır parçacıkların yüksek enerjili etkileşmelerde rol alabileceği ve katkıları yok edebileceği ya da her şeyden önce bunların ortaya çıkmasını önleyebileceği iki örnektir. 1990'lara kadar, sıradüzen problemine önerilen bütün çözümler, zayıf enerji ölçeğinde yeni parçacık ve kuvvetlerin, hatta simetrilerin ortaya çıktığı, benzer şekilde sınıflandırılabilirler.

1998'de Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopulos ve Gia Dvali[4] bu problemi irdelemek için değişik bir yol önerdiler.

[4] Arkani-Hamed, Nima, Savas Dimopoulos, Gia Dvali, *Physics Letters* B429 (1998): 263 - 272; Arkani-Hamed, Nima Savas Dimopoulos, Gia Dvali, *Physical Review* D59:086004, 1999.

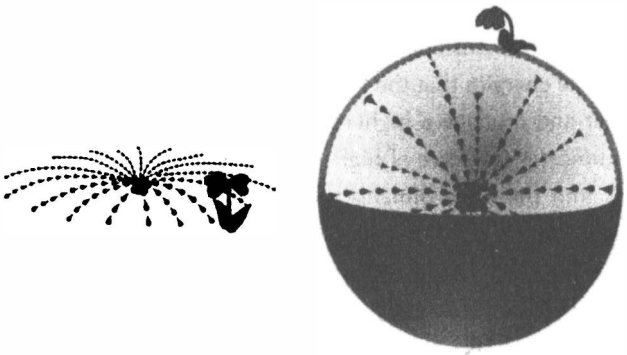
Bu problemin tek başına zayıf enerji ölçeğini değil, bunun kütleçekimle ilgili Planck enerji ölçeğine oranını kapsadığından, problemin belki de kütleçekimin temel doğasının yanlış kavranmasında yatıyor olabileceğine dikkat çektiler. Aslında, en azından zayıf ölçekle karşılaştırılan temel kütleçekim ölçeğine göre, kütlelerde hiçbir sıradüzen olmadığını ileri sürdüler. Belki de ek boyutlu evrende kütleçekim çok daha büyük olabilir ama görmediğimiz tüm boyutlara dağılarak seyreldiği için, bizim üç artı bir boyutlu evrenimizde zayıf ölçülüyor olabilir. Onların hipotezi, kütleçekimin büyük olduğu ek boyutlu evrendeki kütle ölçeğinin aslında zayıf kütle ölçeği olduğunu ileri sürüyordu. Bu durumda kütleçekimi, temelde zayıf olduğu için değil, çok sayıdaki görülemeyen boyutlara dağıldığı için zayıf olarak ölçüyoruz demektir.

Bunu anlamanın bir yolu da, bir su fıskiyesi yardımıyla benzer bir durumu hayal etmektir. Fıskiyeden fışkırmakta olan suyu düşünün. Eğer su sadece bizim boyutlarımıza dağılıyorsa, etkisi hortumdan çıkan suyun miktarına ve ne kadar uzağa gitmek zorunda olduğuna bağlı olur. Ama eğer uzayda ek boyutlar varsa, su hortumun ucundan çıktıktan sonra bu boyutlara da dağılır. Bu durumda kaynaktan belirli bir uzaklıkta, aksi duruma göre çok daha az miktarda suyun olduğuna tanıklık ederiz çünkü su, gözleyemediğimiz boyutlara da dağılacaktır. (Bu durum şematik olarak Şekil 65'te gösteriliyor.)

Eğer ek boyutlar sonlu ise, su ek boyutların sınırlarına ulaşır ve daha fazla dağılmaz. Ama ek boyutlu uzayda herhangi bir şeyin verilen herhangi bir noktada aldığı su miktarı, eğer bu boyutlara dağılmamış olsaydı alınacak su miktarından çok daha az olur.

Benzer şekilde, kütleçekim de diğer boyutlara dağılabilir. Her ne kadar boyutların büyüklüğünün sonlu olması durumunda, kuvvet sonsuza kadar dağılmazsa da büyük boyutlar üç boyutlu dünyamızda hissettiğimiz kütleçekim kuvvetini seyreltir. Eğer bu boyutlar yeterince büyükse, daha yüksek boyutlu kütleçekimin esas şiddeti büyük olsa bile çok zayıf

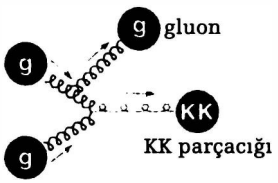
bir kütleçekim hissedebiliriz. Bununla birlikte, kütleçekim üç boyutlu dünyada çok zayıf hissedildiğinden, bu fikrin geçerli olması için ek boyutların kuramsal hesapların sonucu olarak beklediğimizden çok daha büyük olmaları gerekir.



ŞEKİL 65 Yüksek boyutlu uzayda kuvvetlerin şiddetleri, uzaklıkla, düşük boyutlu uzaydakilere göre daha çabuk zayıflar. Bu durum, suyun uzaklıkla çok daha çabuk seyreldiği yüksek boyutlu bir su fıskiyesine benzerdir. Su, üç boyutta, iki boyuttakinden daha fazla dağılır; resimde, sadece düşük boyutlu fıskiyeden yeterli miktarda su alan çiçek yaşar.

Yine de, LHC'de bu düşünce deneysel testlerden geçirilecektir. Bu düşünce şimdilik olasılık dışı görülse bile, bizim modelleri buluşumuzdaki kolaylık değil, gerçeklik son tahlilde neyin doğru olduğunu gösterecektir. Eğer dünyada gerçekleşiyorlarsa, bu modeller ayırt edici, karakteristik işaretler verir. Yüksek boyutlu kütleçekim, zayıf enerji ölçeği – yani LHC'de erişilen enerji– civarında kuvvetli olduğundan, parçacıklar çarpışacak ve yüksek boyutlu gravitonu, yani yüksek boyutlu kütleçekim kuvvetini ileten parçacığı üretecektir. Ama bu graviton ek boyutlara gider. Aşina olduğumuz kütleçekim son derece zayıftır; yani eğer uzayın sadece üç boyutu varsa graviton üretemeyecek kadar zayıftır. Ama bu yeni senaryoya göre, yüksek boyutlu kütleçekim LHC'de erişilen enerjilerde bir graviton üretmeye yetecek ölçüde büyüktür.

Bunun sonucu, Kaluza-Klein (KK) kipleri olarak bilinen ve daha yüksek boyutlu kütleçekimin üç boyutlu uzaydaki uygulaması olan parçacıkların üretilmesidir. Bu kipler, bizim evrenimizde ek boyutlar hakkında ilk kez düşünen Theodor Kaluza ve Oskar Klein'ın adıyla bilinir. KK parçacıkları, bildiğimiz parçacıklarınkine benzer etkileşmelere girerler, sadece kütleleri daha büyüktür. Bu daha ağır kütleler, ek boyut yönünde sahip oldukları ek momentumun sonucudur. Eğer KK kipi gravitona ilişkinse –büyük ek boyutlar senaryosunun öngördüğü gibi– bir kez üretildiğinde dedektörden yok olur. Kısa ömürlü ziyaretinin kanıtı, kayıp enerji olur. (Bir KK parçacığının üretilip görülemeyen enerji ve momentumu alıp götürdüğü durum için *bkz.* Şekil 66.)



ŞEKİL 66 Ek boyutlu senaryoda gravitonun, ek boyutlarda momentumu olan bir Kaluza-Klein eşi üretilebilir. Eğer böyle olursa, kayıp enerji ve momentumu geride kanıt olarak bırakarak dedektörden yok olur.

Elbette kayıp enerji süpersimetrik modellerin de karakteristik bir özelliğidir. Sinyaller birbirlerine o kadar benzer görülebilir ki, bir keşif yapılsa bile hem ek boyutlar hem de süpersimetri kamplarından insanlar, en azından başlangıçta bu verilerin kendi görüşlerini desteklediğini iddia edebilirler. Ama her iki modelin sonuç ve öngörülerinin ayrıntılı bir biçimde kavranmasıyla bu fikirlerden hangisinin doğru olduğunu –elbette bunlardan biri doğruysa– belirleyebileceğiz. Modeller yaparken amaçlarımızdan biri, deneysel işaret ve ayrıntıların bunların gerçekten ifade ettikleriyle örtüştürmektir. Farklı olasılıkları bir kez karakterize ettiğimizde, ardından gelecek işaretlerin hız ve özelliklerini biliriz ve güç algılanan özellikleri kullanarak bunları birbirinden ayırt edebiliriz.

Ne olursa olsun, her ne kadar yakında çok daha umut verici görünen, çok farklı bir ek boyutlar örneği görecek olsak da, bu noktada çoğu meslektaşımla birlikte ben de büyük ek boyutlar senaryosunun sıradüzen probleminin gerçek çözümü olduğundan kuşkuluyum. Bir kere, ek boyutların o kadar büyük olmalarını beklemiyoruz. Ek boyutların problemde var olan diğer ölçeklere göre devasa olmaları gerektiği ortaya çıkar. Zayıf ölçek ile kütleçekim ölçeği arasındaki sıradüzen ilke olarak ortadan kaldırılmış olmasına karşın, bu senaryoda yeni boyutların büyüklüğünü içeren yeni bir sıradüzen ortaya çıkar.

Daha da can sıkıcı olan, bu senaryoda evrenin evriminin gözlediğimizden çok farklı olmasını bekliyor olmamızdır. Sorun, bu çok büyük boyutların evrenin geri kalanıyla birlikte sıcaklıklar çok düşünceye kadar genişleyecek olmasıdır. Gerçekliğin potansiyel adayı olacak bir modelin öngördüğü evren gözlenenle benzeşmeli ve yalnızca üç boyutu olan uzayla tutarlı olmalıdır. Bu durum, böyle büyük ek boyutlar içeren senaryoların önünde büyük bir zorluk oluşturur.

Bu zorluklar bu düşüncenin bertaraf edilmesi için kesinlikle yeterli değildir. Zeki modelciler problemlerin çoğuna çözüm bulabilirler. Ama modeller bütün gözlemlerle uyum içinde olabilmek için giderek daha karmaşık ve dolambaçlı hale gelme eğilimi gösterirler. Çoğu fizikçi estetik açıdan böyle görüşlere kuşkuyla yaklaşır. Bu nedenle bunların çoğu, önümüzdeki alt bölümde tanımlanacak olan gibi çok daha umut vadeden ek boyutlar senaryolarına dönmüştür. Yine de büyük ek boyutlar içeren modellerin gerçek dünyaya uygulanıp uygulanmadığı konusunda bize sadece deneyler kesin bir şeyler söyleyecektir.

ÇARPILMIŞ BİR EK BOYUT

Büyük ek boyutlar, ek boyutlu bir evren bağlamında bile, sıradüzen probleminin tek potansiyel çözümü değildir. Kapı ek boyut fikrine bir kez açılınca Raman Sundrum ve ben daha

iyi görünen bir çözümün[5] –çoğu fizikçinin doğada var olmasının daha olası olduğu konusunda hemfikir olduğu– ne olabileceğini fark ettik. Lütfen unutmayın ki bu, çoğu fizikçinin bunun büyük olasılıkla doğru olduğunu düşündüğü anlamına gelmez. Birçoğu LHC'nin neyi ortaya çıkaracağını doğru bir biçimde öngörmenin veya daha başka deneysel ipuçları olmaksızın tam olarak doğru bir modele ulaşmanın biraz da şans gerektirdiği yolunda kuşkularını dile getiriyorlar. Ama bu, doğru olma konusunda diğerleri kadar şansı olan ve –çoğu iyi model gibi– kuramcı ve deneycilerin LHC'nin tam kapasitesini kullanabileceği, açık araştırma stratejileri sunan ve belki de önerinin doğru olduğu yolunda kanıtların keşfedileceği bir fikirdir.

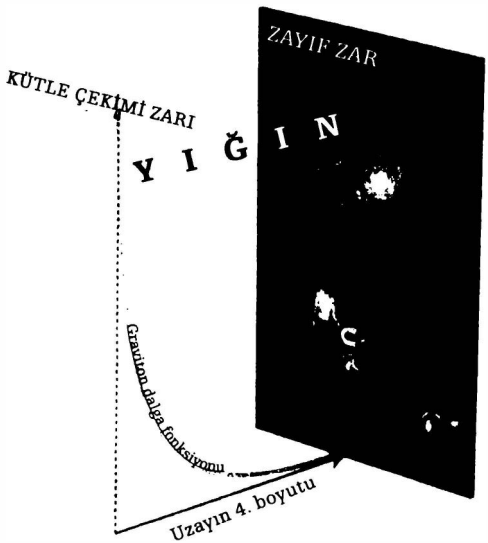
Raman ve benim önerdiğimiz çözüm sadece tek bir ek boyut içerir ve bu boyut da büyük olmak zorunda değildir. Bu boyutun büyüklüğünü içeren yeni bir sıradüzen gerekli değildir. Ve –büyük ek boyutlu senaryoların tersine– evrenin evrimi otomatik olarak son dönemdeki kozmolojik gözlemlerle örtüşür.

Her ne kadar bu yeni tek boyuta odaklanmış olsak da, uzayda ek boyutlar da bulunabilir, ama bu senaryoda bunlar parçacıkların özelliklerinin açıklanmasında fark edilebilir herhangi bir rol oynamazlar. Bu nedenle, sıradüzen problemini araştırırken bunları, haklı olarak, etkin kuram yaklaşımıyla uyumlu bir biçimde göz ardı edebilir ve tek bir ek boyutun sonuçları üzerine yoğunlaşabiliriz.

Eğer Raman ve benim düşüncemiz doğruysa, LHC bize yakında uzayın doğasının büyüleyici özelliklerini gösterecektir. Görünen o ki, bizim ileri sürdüğümüz evren, Einstein'ın madde ve enerjinin var olması durumunda düşünmüş olduğu gibi, dramatik bir şekilde eğridir. Bu teknik terminolojide Einstein'ın denklemlerinden çıkardığımız geometri "çarpık"tır (bu gerçekten daha önce de var olan, teknik bir terimdir). Anlamı, ilgilenilen tek ek boyut boyunca uzay ve zamanın değiştiğidir. O şekilde değişir ki, ek boyutlu uzayda

[5] Randall, Lisa, ve Raman Sundrum, *Physical Review Letters* 83 (1999): 3370–3373.

bir yerden diğerine giderken, yakında inceleyeceğimiz ve Şekil 68'de görüldüğü gibi, kütleler ve enerji olduğu kadar uzay ve zaman da ölçek değiştirir.



ŞEKİL 67 Randall-Sundrum kurgusunda uzayın dördüncü boyutunu (uzayzamanın beşinci boyutu) sınırlayan iki zar bulunur. Bu uzayda graviton dalga fonksiyonu (ki bize gravitonun uzayın herhangi bir noktasında bulunma olasılığını verir). Kütleçekim zarından Zayıf zara doğru üstel olarak azalır.

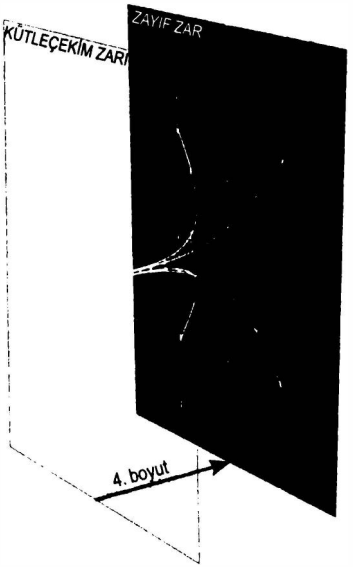
Bu bükülmüş uzayzaman geometrisinin önemli bir sonucu, ek boyutlu uzayın bir başka yerinde Higgs parçacığı büyük bir kütleye sahipken bizim bulunduğumuz yerde –tam da olması gerektiği gibi– zayıf ölçekli kütleye sahip olacaktır. Bu durum rastgele gibi görünürse de öyle değildir. Bizim senaryomuza göre, üzerinde yaşamakta olduğumuz bir zar –Zayıf zar– ve üzerinde kütleçekimin yoğunlaştığı kütleçekim zarı –ya da fizikçiler arasında Planck zarı– olarak bilinen, ikinci bir zar vardır. Bu zar bizden ek boyutla ayrılan

bir başka evreni içerir (Şekil 67). Bu senaryoda ikinci zar aslında bir santimetrenin milyon kere trilyon kere trilyon kat küçük, neredeyse sonsuz küçüklükte bir uzaklıkla ayrılan komşu kapısıdır.

Bükülmüş geometriden (Şekli 67'de gösterilmiştir) çıkan önemli bir özellik, kütleçekim kuvvetini ileten parçacık olan *graviton*'un diğer zar üzerindeki kütlesinin bizimkinde olduğundan çok daha büyük olmasıdır. Bu durumda kütleçekim diğer boyuttaki herhangi bir yerde kuvvetli iken bizim yaşadığımız yerde çok zayıf olur. Gerçekten de Raman ve ben, kütleçekimin bizim yakınlarımızda, diğer zar üzerindekinden üstel olarak daha zayıf olduğunu bulduk ki bu, kütleçekimin zayıflığını doğal olarak açıklıyor.

Bu kurgunun sonuçlarını yorumlamanın alternatif bir yolu, şematik olarak Şekil 68'de gösterildiği gibi, uzayzamanın geometrisiyle ilgilidir. Uzayzamanın ölçeği dördüncü uzay boyutundaki yere bağlıdır. Kütleler de üstel olarak ölçek değiştirir ve bu, Higgs bozonu kütlesinin olması gerektiği kadar olacağı şekilde gerçekleşir. Her ne kadar modelimizin dayandığı varsayımlar –yani ek boyutlu bir evreni sınırlayan iki büyük, düz zarın varlığı– üzerinde tartışılabilirse de, bir kez enerjinin zarlarla ve yığın [bulk] olarak bilinen, ek boyutlu uzayla taşındığını varsaydığınızda, geometrinin kendisi doğrudan Einstein'ın kütleçekim kuramından çıkar. Raman ve ben genel görelilik denklemlerini çözdük. Ve bunu yaptığımızda sözünü ettiğim geometriyi, yani kütlelerin sıradüzen problemin çözümünün gerektirdiği şekilde yeniden ölçeklendiği eğri, bükülmüş uzayı bulduk.

Büyük ek boyutlu modellerden farklı olarak, bükülmüş geometriye dayanan modeller, eski sıradüzen problemi bilmecesini bir yenisiyle değiştirmez (ek boyutlar neden bu kadar büyüktür?). Bükülmüş geometride ek boyut büyük değildir. Büyük sayılar uzay ve zamanın üstel bir biçimde yeniden ölçeklendirilmesinden kaynaklanır. Üstel yeniden ölçeklendirme büyüklüklerin ve kütlelerin oranını devasa büyütür, bu cisimler ek boyutlu uzayda birbirine yakın olsa bile.



ŞEKİL 68 Bükülmüş geometrinin sıradüzen problemini nasıl çözdüğünü anlamanın bir başka yolu, geometrinin kendisine bakmaktır. Bir zardan diğerine giderken uzay, zaman, enerji ve kütlelerin tümü üstel olarak yeniden ölçeklenir. Bu senaryoya göre, Higgs kütlesinin Planck kütlesinden üstel olarak daha küçük olması çok doğaldır.

Üstel fonksiyon uydurulmamıştır. Önerdiğimiz senaryodaki Einstein denklemlerinin tek çözümünden çıkar. Raman ve ben, bükülmüş geometride kütleçekim ve zayıf kuvvetin şiddetlerinin oranının, iki zar arasındaki uzaklığın üstel fonksiyonu olduğunu hesapladık. Eğer bu iki zar arasındaki uzaklık mantıklı bir değer ise –kütleçekim tarafından belirlenen ölçek cinsinden birkaç düzine– kütleler ve kuvvetlerin şiddetleri arasındaki doğru sıradüzen doğal olarak ortaya çıkar.

Bükülmüş geometride hissettiğimiz kütleçekim zayıftır. Bunun nedeni büyük ek boyutlara dağılması değil, başka bir yerde, diğer zarda yoğunlaşmasıdır. Bizim kütleçekimimiz, ek boyutlu dünyanın başka bölgelerinde çok şiddetli olarak hissedilen kuvvetin kuyruk ucunda ortaya çıkar.

Paylaşılan tek kuvvet kütleçekim olduğundan ve kütleçekim bizim civarımızda görülebilir sinyaller iletemeyecek kadar zayıf olduğundan öbür zar üzerindeki öbür evreni görmeyiz. Aslında bu senaryo, bizim dünyamızdaki şeylerin ve elemanların diğer dünyadaki şeylerle ya da elemanlarla

çok zayıf etkileştiği ya da kimi durumlarda hiç etkileşmediği *çoklu evren*in bir örneği olarak düşünülebilir. Böyle birçok spekülasyon test edilemediğinden hayal dünyasına terk edilecektir. Sonuç olarak, eğer madde ışığın evrenin yaşam süresi içinde bize ulaşamayacağı kadar uzaktaysa, tespit edemeyiz. Raman ve benim önerdiğimiz "çoklu evren" senaryosu, paylaşılan kütleçekim kuvvetinin sınanabilir sonuçlara yol açması açısından sıra dışıdır. Diğer evrene doğrudan erişimimiz yoktur. Ama yüksek boyutlu yığında yol alan parçacıklar bize gelebilirler.

Ek boyutlu dünyanın en açık etkisi –LHC'de olduğu gibi ayrıntılı araştırmaların olmaması durumunda– gözlenen olayları başarılı bir şekilde açıklamak için parçacık fiziği kuramlarının ihtiyaç duyduğu kütle ölçekleri sıradüzeninin açıklanması olur. Bu, önerilen çözümler arasından birini ayırt etmediğinden, bu açıklamanın şu anda dünyada işlemekte olup olmadığını bilmemiz için bu elbette bizim için yeterli değildir.

Bununla birlikte, LHC'de elde edilecek daha yüksek enerji uzayda fazladan bir boyutun saçma bir fikir mi yoksa evrenin bir gerçeği mi olduğunu anlamamıza yardımcı olmalıdır. Eğer kuramımız doğru ise LHC'de Kaluza-Klein kipleri üretilmesini bekleriz. Sıradüzen problemine bağlantısı nedeniyle bu senaryoda KK kiplerini aramak için doğru enerji ölçeği, LHC'de erişilen enerjidir. Bunların kütlesi yaklaşık TeV, zayıf kütle ölçeği olmalıdır. Ulaşılan enerji yeterince yükseldiğinde bu ağır parçacıklar üretilebilir. Bu KK parçacıklarının keşfi, büyük ölçüde genişlemiş olan dünyayı kavramak açısından çok önemli bir doğrulama olur.

Aslında bükülmüş geometrideki KK kiplerinin önemli ve ayırt edici bir özelliği vardır. Gravitonun kendisinin etkileşme kuvveti olağandışı küçükken –ne de olsa graviton son derece zayıf kütleçekim kuvvetini iletir– gravitonun KK kipleri çok daha fazla, neredeyse kütleçekimden gerçekte trilyonlarca kez daha büyük olan ve zayıf kuvvet olarak bilinen kuvvet kadar yeğin etkileşir.

KK gravitonlarının şaşırtıcı derecede kuvvetli etkileşme şiddetinin nedeni, içinde hareket ettikleri bükülmüş geometridir. Uzayzamanın dramatik eğriliği nedeniyle KK gravitonlarının etkileşmelerinin şiddeti, bizim hissettiğimiz kütleçekim kuvvetini ileten gravitonlarınkinden çok daha büyüktür. Bükülmüş geometride yalnızca kütleler değil, kütleçekim etkileşmeleri de yeniden ölçeklendirilir. Hesaplamalar, bükülmüş geometride KK gravitonlarının etkileşmelerinin zayıf kuvvet parçacıklarının etkileşmeleriyle karşılaştırılabileceğini gösteriyor.

Bu ise, süpersimetrik modellerden ve ek boyutlu modellerden farklı olarak, bu senaryonun deneysel kanıtının, ilginç parçacık kaçışlarının gözden kaçtığı, kayıp enerji olmayacağı anlamına gelir. Bunun yerine burada çok daha temiz, tanınması kolay ve dedektörün içinde görülür izler bırakan Standart Model parçacıklarına bozunan parçacıklardan oluşan bir işaret olacaktır. (*Bkz.* bir KK parçacığının üretildiği ve örneğin bir elektron-pozitron çiftine bozunduğu Şekil 69.)



ŞEKİL 69 Randall-Sundrum modellerinde dedektörün içinde bir KK gravitonu üretilebilir ve elektronla pozitron gibi görülebilir parçacıklara bozunabilir.

Bu aslında deneycilerin şimdiye kadar bütün yeni, ağır parçacıkları nasıl keşfettikleri sorusunun yanıtıdır. Parçacıklar doğrudan görülmez. Deneyciler bu parçacıkların bozunduğu parçacıkları gözlerler. Bu, ilke olarak kayıp enerjinin sağladığı bilgiden çok daha fazlasıdır. Bu bozunum ürünlerinin özelliklerini inceleyerek deneyciler başlangıçta var olan parçacığın özelliklerini bulabilirler.

Eğer bükülmüş geometri senaryosu doğru ise, yakında KK graviton kiplerinin bozunumlarından kaynaklanan parçacık

çiftlerini göreceğiz demektir. Deneyciler son parçacıkların enerji, yük ve diğer özelliklerini ölçmek yoluyla KK parçacıklarının kütle ve diğer özelliklerini bulabileceklerdir. Parçacığın çeşitli son durumlara bozunumunun göreli frekansıyla birlikte bu tanımlayıcı özellikler deneycilere bir KK gravitonu mu yoksa başka bir yeni ve egzotik parçacık mı bulduklarını ayırt etme konusunda yardımcı olmalıdır. Model bize bulunması gereken parçacığın özelliklerini verir, böylece fizikçiler değişik olasılıkları birbirinden ayırt etmek üzere hesap yapabilirler.

Bir arkadaşım (insan doğasındaki aşırılıkları hem yücelten hem de yeren bir senaryo yazarı) ortaya çıkabilecek keşiflerin potansiyel olarak ifade edecekleri düşünüldüğünde, sonuçları beklerken yerimde duramamam gerektiğini düşünüyor. Onu ne zaman görsem bana ısrarla şunları soruyor: "Sonuçlar hayatımızı değiştirmeyecek mi? Senin kuramlarını doğrulamama olasılığı var mı?" Neden Cenevre'de olup sürekli insanlarla konuşmadığımı da öğrenmek istiyor.

Elbette bir anlamda sezgileri yerinde. Ama deneyciler ne yapacaklarını, ne arayacaklarını biliyorlar, kuramcılar işlerini yapıp bitirdiler. Neyin aranması gerektiği konusunda yeni bir şeyler düşünürsek onlarla iletişime geçeriz. Bunu yapmak için ille de CERN'de, hatta aynı odada olmaya bile gerek yok. Deneyciler Birleşik Devletlerin ve dünyanın her yerinde bulunabilirler. Ve uzaktan haberleşme çok iyi çalışıyor, bunu büyük ölçüde Tim Berners-Lee'nin yıllar önce CERN'de geliştirdiği Internet kavrayışına borçluyuz.

LHC tam olarak çalışmaya başladıktan sonra bile bu araştırmaların ne kadar zor olabileceğini biliyorum. O nedenle biraz beklemek gerektiğinin farkındayım. Ayrıca biraz önce sözü edilen KK kiplerinin, deneycilerin en kolay bakabilecekleri şeyler arasında olması da bizim için bir şans. KK gravitonları her tür parçacığa bozunur –sonuç olarak bütün parçacıklar kütleçekimden etkilenir– o nedenle deneyciler, tanımlanması en kolay olan son duruma odaklanabilirler.

Bununla birlikte uyarıcı iki noktadan, yani araştırmaların başlangıçta beklendiğinden daha zor olabilmesinin ve

arkasındaki düşünce doğru olsa bile keşif için neden beklememiz gerektiği konularında iki nedenden söz edebiliriz.

Bunlardan biri, bükülmüş geometrinin diğer aday modellerinin bulunması daha zor olacak, daha karışık deneysel işaretler ortaya koymasıdır. Modeller, burada fazladan bir boyut ve zarlar içeren temeldeki çerçeveyi tanımlar ve aynı zamanda çerçevenin kapsadığı genel ilkelerin özel uygulamalarını da önerirler. Bizim özgün senaryomuz sadece kütleçekimin *yığın* olarak bilinen yüksek boyutlu uzayda dağıldığını ileri sürüyordu. Bazılarımız daha sonra alternatif uygulamalar üzerinde çalıştılar. Bu alternatif senaryolarda bütün parçacıklar zarlar üzerinde değildir. Her yığın parçacığının kendi KK kipleri olacağından, bu daha fazla KK parçacığı anlamına gelir. Görünen o ki, bu KK parçacıklarını bulmak da oldukça daha zordur. Bu zorluk, bu anlaşılması daha zor senaryoların nasıl ortaya çıkarılacağı konusunda büyük miktarda araştırmayı tetikledi. İzleyen araştırmalar sadece KK parçacıklarının araştırılmasında değil, herhangi bir yeni modelde bulunabilecek yüksek enerjili ve büyük kütleli herhangi bir parçacık için de yararlı olacaktır.

Araştırmaların zor olabileceğinin diğer nedeni KK parçacıklarının umduğumuzdan daha ağır olma olasılığıdır. KK parçacıkları için beklediğimiz bir kütle aralığını biliyoruz ama henüz kesin değerleri bilmiyoruz. Eğer KK parçacıkları hafifse, LHC'de bol miktarda üretilebileceklerinden bulunmaları kolay olacaktır. Ama eğer parçacıklar ağırsa, LHC'de sadece birkaçı yaratılabilir. Ve hatta daha da ağır iseler, LHC'de hiç ortaya çıkmayabilirler. Bir başka deyişle, yeni parçacıklar ve yeni etkileşmeler LHC'de erişilebilenlerden daha yüksek enerjilerde yaratılabilir veya ortaya çıkabilirler. Bu durum, tünel boyu sabit ve enerji ulaşımı kısıtlı olan LHC için her zaman bir kaygı kaynağı olmuştur.

Bir kuramcı olarak ancak bu kadar yapabilirim. LHC'nin enerjisi ortada. Ama eğer KK kiplerinin çok ağır olduğu ortaya çıksa bile, ek boyutların varlığı konusunda fark edilmesi zor ipuçlarını bulmaya çalışabiliriz. Patrick Meade'le birlikte olası yüksek boyutlu kara deliklerin üretim hızına iliş-

kin hesaplar yaparken, sadece olumsuz sonuç üzerine, yani başlangıçta öne sürülenden çok daha düşük kara delik üretim hızına odaklanmadık, hiçbir kara delik üretilmese bile, yüksek boyutlu kütleçekimin kuvvetli olması durumunda ne olacağını da düşündük. LHC'de yüksek boyutlu kütleçekime ilişkin, ilginç herhangi bir sinyalin ortaya çıkıp çıkmayacağını sorduk. Yeni parçacıklar veya kara delik gibi egzotik cisimler keşfetmeden bile deneycilerin Standart Model hesaplarından sapmaları gözleyebilmeleri gerektiğini bulduk. Keşif garantili değildir ama deneyciler var olan makine ve dedektörlerle ellerinden gelen her şeyi yapacaklardır. Daha ileri diğer araştırmalarda meslektaşlar, Standart Model parçacıkları yığında bulunsa bile, KK kiplerini bulmanın daha gelişmiş yöntemlerini düşündüler.

Şansımızın yaver gitmesi, yeni parçacık kütleleri ve etkileşmelerinin ölçeklerinin beklediğimizden daha düşük olması olasılığı da vardır. Durumun böyle olduğu ortaya çıkarsa, yalnızca KK kiplerini beklediğimizden daha önce bulmakla kalmayız, diğer yeni olguları da görürüz. Eğer sicim kuramı doğanın temel kuramıysa ve yeni fiziğin ölçeği düşükse, LHC'de KK parçacıkları ve yeni etkileşmelere ek olarak, salınan temel sicimlerle ilgili ek parçacıklar bile ortaya çıkabilir. Bu parçacıklar çok daha konvansiyonel varsayımlar altında yaratılamayacak kadar büyük kütlelidirler. Ama çarpılma sonucunda bazı sicim kiplerinin beklenenden çok daha hafif olmaları ve bu nedenle düşük enerji ölçeğinde gözlenme umudu da vardır.

Bükülmüş geometride birçok ilginç olasılık olduğu açık olup büyük bir hevesle deney sonuçlarını bekliyoruz. Eğer bu geometrinin yarattığı sonuçlar bulunursa, bunlar bizim evrenin doğasına bakışımızı değiştirecektir. Ama ancak LHC'deki araştırma sona erdikten sonra biz bu olasılıklardan hangisinin –eğer varsa– doğada gerçekleştiğini biliyor olacağız.

YENİDEN CANLANMA

LHC'deki deneylerde şu sıralar bu bölümde sözü edilen bütün düşünceler sınanıyor. Eğer bunlardan herhangi biri ya da birileri doğruysa, bunun ipuçlarının yakında ortaya çıkacağını umuyoruz. Bunlar KK kipleri gibi eksiksiz ipuçları ya da Standart Model süreçlerinde fark edilmesi zor değişiklikler de olabilir. Her iki durum için de hem kuramcı hem de deneyciler tetikte bekliyorlar. Herhangi bir şey LHC'de görüldüğünde ya da görülmediğinde başka olasılıklar kısıtlanıyor. Ve eğer şansımız yaver giderse, tartıştığımız fikirlerden birinin doğruluğu kanıtlanabilir. LHC'nin neleri ortaya çıkaracağı ve dedektörlerin nasıl çalıştığı hakkında daha fazla şey öğrendikçe, öyle umuyoruz ki LHC'deki araştırmaları olabildiğince çok olasılığı sınayabilecek şekilde nasıl genişletebileceğimizi de öğreneceğiz. Ve veriler ortaya çıktıkça, kuramcılar bu verileri önerilerinin kapsamına alacaklardır.

Tam olarak elimizde ne olduğunu veya kütlelerle etkileşmelerin ne olabileceğini bilmediğimizden, yanıtlara ne kadar zaman sonra almaya başlayacağımızı bilmiyoruz. Bazı keşifler bir-iki yıl içinde gerçekleşebilir. Diğerleri on yıldan daha fazla zaman alabilir. Bazıları ise LHC'nin eriştiğinden bile daha yüksek enerjiler gerektirebilir. Beklerken endişelenmemek mümkün değilse de sonuçlar insanın aklını başından alan türde olacaktır. Bunun için biraz tırnak kemirmeğe değer. Sonuçlar gerçekliğin temel doğasına veya en azından bizim oluştuğumuz maddeye bakışımızı değiştirebilir. Sonuçlar geldiğinde yeni dünyalar ortaya çıkabilir. Bizim yaşam süremiz içinde evreni bambaşka gözlerle görebiliriz.

ON SEKİZİNCİ BÖLÜM

AŞAĞIDAN YUKARIYA VE YUKARIDAN AŞAĞIYA

Sağlam deneysel sonuçların yerini hiçbir şey tutamaz. Ama biz fizikçiler son çeyrek asırdır LHC'nin çalışmasını ve anlamlı veriler üretmesini bekleyerek boş oturmuyoruz. Bu deneylerde neyin aranması gerektiği ve verilerin neyi ifade edebileceği konularında uzun uzadıya kafa yorduk. Bu arada yapılan deneylerin sonuçlarını da inceledik, bu da bize bilinen parçacık ve etkileşmeler konusundaki ayrıntıları öğretti ve düşüncemizi yönlendirmede yardımcı oldu.

Bu ara dönem en azından şu sıralar verilerden çıkarılan fikirler konusunda daha derin düşünebilmek için büyük bir fırsat yarattı. Son yirmi beş yılın ilginç ve spekülatif modelleriyle birlikte kuramsal anlayışlarından bazıları bu daha matematiksel uğraşıların sonucudur. Elimizde daha bol veri olsaydı, ek boyutlar veya süpersimetrinin matematiksel yanları konusunda düşünmeye zaman bulabileceğimden kuşkuluyum. Son tahlilde bu fikirleri destekleyen ölçümler yapılmış olsa bile, daha önceki matematiksel çalışmalar olmaksızın, bunların ne ifade ettiğini anlamak epey zaman alırdı.

Deneyler ve matematiğin her ikisi de bilimi ilerletir. Ama ilerlemeye giden yol çok ender olarak dikensiz olup fizikçiler en iyi stratejiyi bulmak için aralarında bölünmüşlerdir. Model yapanlar deneylerden öğrenilenlerle başlayıp daha sonra kalan, açıklanamamış bilmeceleri genelde daha kuramsal matematiksel gelişmeleri kullanarak ele almak için On Beşinci Bölümde incelenen "aşağıdan yukarıya" yaklaşımını kullanırlar. Son bölümde modellerin kimi özel örnekleri ve

bunların deneycilerin LHC'de yapacağı araştırmaları nasıl etkileyecekleri anlatıldı.

Başta sicim kuramcıları olmak üzere diğerleri, doğru olduğuna inandıkları bir kuramla –yani sicim kuramıyla– başlayıp bunun temel kavramlarını kullanarak tutarlı bir kuantum kütleçekim kuramı formüle edebilmek için bir "yukarıdan aşağıya" yaklaşımı uygularlar. Yukarıdan aşağıya kuramları yüksek enerjiler ve küçük uzaklıklarda tanımlanır. İsim, her şeyin yüksek enerji ölçeklerinde tanımlı olan temel önermelerden çıkarılabileceği şeklindeki kuramsal kavrama gönderme yapar. Her ne kadar yüksek enerjiler kısa mesafelere karşılık geldiği için isim kafa karıştırıcı gibi duruyorsa da, kısa mesafelerdeki bileşenlerin maddenin temel yapı taşları olduğunu aklımızdan çıkarmayalım. Bu düşünüşe göre her şey kısa mesafeler ve yüksek enerjilerde tanımlı olan temel ilkeler ve esas bileşenlerden başlayarak çıkarılabilir, bu nedenle de "yukarıdan aşağıya" olarak adlandırılır.

Bu bölümde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımları ve çeliştikleri noktalar anlatılacaktır. Farklarını araştıracağız ama ara sıra nasıl birbirlerine yaklaşarak önemli kavrayışlara yol açtıkları üzerinde de duracağız.

SİCİM KURAMI

Model yapanlardan farklı olarak, matematiğe daha eğilimli fizikçiler saf kuramdan yola çıkarak çalışmayı denerler. Buradaki umut tek ve şık bir kuramdan başlayarak sonuçlar çıkarmak, ancak ondan sonra fikirleri verilere uygulamaktır. Birleşik bir kuramdaki girişimlerin çoğu bu tür bir yukarıdan aşağıya yaklaşımı içerir. Sicim kuramı belki de bu örneklerin en önde gelenidir. Bu kuramın, bilinen bütün fiziksel olayların ilke olarak peşinden gideceği, son temel çerçeve olacağı değerlendiriliyor.

Sicim kuramcıları fethetmeye çalıştıkları fizik ölçeklerinde büyük bir sıçrama yaparak zayıf ölçekten kütleçekimin kuvvetli olduğu Planck ölçeğine atlıyorlar. Deneyler büyük olasılıkla yakın bir gelecekte bu fikirleri doğrudan sınayamayacaktır (geçen bölümde gördüğümüz ek boyutlu modeller

bir istisna olabilir). Sicim kuramının kendisinin sınanması zor olmasına karşın, sicim kuramının elemanları potansiyel olarak gözlenebilir modellerin birleştirdiği fikirler ve kavramlar sağlayabilir.

Model yapımına karşı sicim kuramı konusunda karar verirken fizikçilerin sorduğu soru, temel bir gerçeklikten kavrayış kazanmaya çalışan Platon yaklaşımını mı yoksa deneye dayalı gözlemlerden köklenen Aristoteles yaklaşımını mı izleyecekleri sorusudur. Siz "yukarıdan aşağıya" yaklaşımını mı yoksa "aşağıdan yukarıya" yaklaşımını mı seçerdiniz? Bu seçim "Yaşlı Einstein'a karşı genç Einstein" olarak da ifade edilebilirdi. Einstein özgün olarak fiziksel durumlarda ayakları yere basan düşünce deneyleri yapmıştı. Bununla birlikte güzellik ve zarafete de değer veriyordu. Deneysel bir sonuç genel görelilik konusundaki fikirleriyle çeliştiğinde bile büyük bir güvenle (ve doğru olarak), sonuçları inanılmayacak kadar çirkin olduğundan bir deneyin yanlış olması gerektiğine karar verebiliyordu.

Einstein, matematik sonunda genel görelilik kuramını tamamlamasına yardımcı olduktan sonra matematiğe daha eğilimli oldu. Matematikteki gelişmeler kuramını tamamlamasında hayati önemde olduğundan, kariyerinin son dönemlerinde kuramsal yöntemlere daha çok güven duymaya başladı. Ama yine de Einstein'a bakmak bu sorunu çözmez. Matematiği genel göreliliğe başarılı bir şekilde uygulamasına karşın, son dönemlerinde birleşik kuram konusundaki matematiksel arayışları meyve vermedi.

Howard Georgi ve Sheldon Glashow tarafından ileri sürülen Büyük Birleşik Kuram da yukarıdan aşağıya bir düşünceydi. Yaygın olarak bilindikleri şekliyle GUT'ların (Büyük Birleşik Kuramlar) kökenleri verilerdedir –ileri sürülmelerinin ilhamı Standart Modelde var olan özel birtakım parçacıklar ve kuvvetlerle bunların etkileşme şiddetleriydi– ama kuram, bildiklerimizden çok uzak enerji ölçeklerinde olabileceklere ilişkin tahminlerde de bulunur.

İlginçtir ki, birleşme bir parçacık hızlandırıcısının erişebileceğinden çok daha yüksek enerjilerde ortaya çıkacak

olsa da, bir GUT için ilk model, potansiyel olarak gözlenebilecek bir öngörüde bulundu. Georgi–Glashow GUT modeli protonun bozunacağını öngördü. Bu bozunma uzun zaman alacaktı ama yine de deneyciler içlerindeki protonlardan birinin bozunacağı ve gözlenebilir bir iz bırakacağı umuduyla variller dolusu madde hazırladılar. Bu olmayınca, özgün GUT modeli hükümsüz kaldı.

O zamandan beri ne Georgi ne de Glashow hızlandırıcılarda doğrudan erişebileceğimiz enerjilerden sadece anlaşılması güç, deneysel sonuçları olabilecek kadar uzak olanlara bu kadar büyük bir enerji sıçraması gerektiren herhangi bir yukarıdan aşağıya kuram üzerinde çalıştılar. Bu kadar büyüklük mertebesi uzakta ve şu anda anlayabildiğimiz herhangi bir şeyden enerji olarak bu kadar farklı bir kuram hakkında doğru tahminlerde bulunmanın gülünç denebilecek kadar olanaksız olduğuna karar verdiler.

Onların çekincelerine karşın başka pek çok fizikçi bazı zor kuramsal konuları ele almanın tek yolunun yukarıdan aşağıya yaklaşımı olduğuna karar vermiş durumdalar. Sicim kuramcıları açıkça geleneksel bir bilim olmasa da zengin ve tartışmalı bir dizi fikre yol açan bir cehennemde çalışmayı seçtiler. Kuramlarının bazı yönlerini anlıyorlar ama ilerledikçe temel kilit ilkeleri arayarak ve radikal görüşlerini geliştirerek kuramı hâlâ bir araya getirmeye uğraşıyorlar.

Bir kütleçekim kuramı olarak sicim kuramının motivasyonu verilerden değil, kuramsal bilmecelerden gelir. Sicim kuramı, kuantum mekaniğinin var olması ve kütleçekim kuvvetini iletmesi gerektiğini bildirdiği parçacık olan graviton için doğal bir aday gösterir. Şu anda tam olarak tutarlı bir kuantum kütleçekim kuramı, yani hem kuantum mekaniği hem de Einstein'ın genel görelilik kuramını kapsayan ve akla uygun bütün enerji ölçeklerinde işleyen bir kuram için en önde gelen adaydır.

Fizikçiler atomun içindeki uzaklıklar gibi, kuantum mekaniğinin önemli rol oynadığı ama kütleçekimin göz ardı edilebilir olduğu kısa uzaklıklarda, bilinen kuramları kullanarak güvenilir tahminler yapabilirler. Atom kütleli par-

çacıklarda kütleçekim etkisi o kadar zayıftır ki, kütleçekimi güvenle göz ardı ederek kuantum mekaniğini kullanabiliriz. Fizikçiler aynı zamanda kütleçekimin hâkim olduğu ve kuantum mekaniğinin ihmal edilebileceği, galaksilerin içlerindeki uzaklıklar gibi büyük uzaklıklardaki olgular konusunda da öngörülerde bulunabilirler.

Bununla birlikte, hem kuantum mekaniği hem de kütleçekimi kapsayan ve olası bütün enerji ve uzaklıklarda işleyen bir kuramdan yoksunuz. Özellikle, Planck enerjisi ve uzaklığıyla karşılaştırılabilecek çok yüksek enerjiler ve çok kısa uzaklıklarda nasıl hesap yapacağımızı bilmiyoruz. Kütleçekimin etkisi daha ağır ve daha yüksek enerjili parçacıklar için daha büyük olduğundan, Planck kütleli parçacıklara etkiyen kütleçekim temel bir rol oynar. Ve son derece küçük Planck uzaklığında kuantum mekaniğinin de temel rolü vardır.

Her ne kadar bu problem gözlenebilir olaylar için geçerli olan herhangi bir hesabı –elbette LHC'dekileri de– bozmuyor olsa da, bu durum kuramsal fiziğin tam olmadığı anlamına gelir. Fizikçiler, her ikisinin de hesaplar açısından karşılaştırılabilir önemde olduğu ve hiçbirinin ihmal edilemediği çok yüksek enerjilerde ve çok kısa uzaklıklarda kuantum mekaniği ve kütleçekimi tutarlı bir şekilde nasıl birleştirebileceklerini henüz bilmiyorlar. Kavrayışımızdaki bu önemli boşluk potansiyel olarak ileri yönü gösterebilir. Birçok kimse sicim kuramının bir çözüm olacağını düşünüyor.

"Sicim kuramı" adı, ilk formülasyonun özünü oluşturan, salınan temel sicimden gelir. Parçacıklar sicim kuramında var olmakla birlikte, bir sicimin titreşimi sonucunda ortaya çıkarlar. Nasıl bir keman telinin titreşimlerinden farklı notalar ortaya çıkıyorsa, sicimlerin farklı titreşimleri de farklı parçacıklara karşılık gelir. İlke olarak sicim kuramının deneysel kanıtları, bir sicimin üretebileceği birçok ek titreşim kipine karşılık gelen parçacıkları içermelidir.

Bununla birlikte, böyle parçacıkların çoğu hiçbir zaman gözlenemeyecek kadar ağır olmaları olasıdır ve sicim kuramının doğada gerçekleşip gerçekleşmediğini deneysel olarak doğrulamanın bu kadar zor olmasının nedeni de budur. Si-

cim kuramının tanımladığı cisimler o kadar küçük ve o kadar yüksek enerjilidirler ki, hayal edebileceğimiz hiçbir dedektörün bunları görebilme olasılığı yoktur. Bunlar, şu anda sahip olduğumuz aletlerle deneysel olarak inceleyebildiklerimizden 10 milyon milyar kat büyük enerji ölçeklerinde tanımlanmıştır. Şimdi hâlâ, parçacık hızlandırıcıların enerji ölçekleri 10 kat yükseldiğinde ne olacağını bile bilmiyoruz.

Parçacık içeriği ve diğer özellikler, kuramın temel bileşenlerinin henüz belirlenemeyen düzenine bağlı olduğundan, sicim kuramcıları deneysel olarak erişilebilen enerjilerde ne olup bittiğini tam olarak öngöremez. Sicim kuramının doğadaki sonuçları bu elementlerin kendilerini nasıl düzenlediğine bağlıdır. Son zamanlarda formüle edildiği gibi, sicim kuramı dünyada gördüğümüzden daha çok sayıda parçacık, kuvvet ve boyut içerir. Bu parçacıkları, kuvvetleri ve boyutları gördüklerimizden ayırt eden nedir?

Örneğin, sicim kuramındaki uzay, mutlaka bizim çevremizde gördüğümüz üç boyutlu uzay değildir. Sicim kuramında kütleçekim uzayda altı veya yedi ek boyut tanımlar. Sicim kuramının uygulanabilir bir sürümü, görülemeyen ek boyutların bildiğimiz üç boyuttan nasıl farklı olduğunu açıklayabilmelidir. Sicim kuramı kadar büyüleyici ve göze çarpan şey, ek boyutlar gibi kafa karıştırıcı özelliklerinin görülebilir evrenle olan bağlantılarını gizlemesidir.

Sicim kuramının tanımlı olduğu yüksek enerjiden ölçülebilen enerjiler hakkındaki tahminlere gitmek için, ağır parçacıklar çıkarıldığında özgün kuramın neye benzeyeceğini anlamak zorundayız. Bununla birlikte, sicim kuramının erişilebilen enerjilerde birçok olası uygulaması vardır ve henüz devasa bir aralıktaki olasılıkları birbirlerinden nasıl ayırt edeceğimizi ve hatta hangisinin dünyamıza benzediğini bulabileceğimizi bilmiyoruz. Buradaki sorun, henüz sicim kuramını, görebildiğimiz enerjilerdeki sonuçlarını çıkarabilecek kadar iyi anlamıyor olmamızdır. Kuramın karmaşıklığı, tahminlerine ket vuruyor. Matematiksel zorluğun ötesinde, sicim kuramının bileşenlerinin nasıl düzenleneceği ve hangi matematiksel problemin çözülmek üzere belirleneceği bile her zaman açık değil.

Üstelik artık sicim kuramının fizikçilerin önceden düşündüğünden daha karmaşık olduğunu ve farklı boyutlarda birçok bileşeni –en başta zarlar– içerdiğini biliyoruz. Sicim kuramı adı genel olarak hâlâ yaşıyor olsa da fizikçiler zaman zaman M-kuramından da söz ediyor ama "M" harfinin neyi simgelediğini hiç kimse gerçekten bilmiyor.

Sicim kuramı şimdiden matematiksel ve fiziksel kavrayışlara yol açmış olan, harika bir kuram olup son tahlilde doğayı tanımlayacak, doğru bileşenleri de içinde barındırıyor olabilir. Ne yazık ki devasa bir kuramsal uçurum, bu kuramı şimdi anlaşıldığı şekliyle dünyamızı tanımlayan tahminlerden ayırıyor.

Sonuç olarak, eğer sicim kuramı doğruysa, gerçek dünyadaki olguları tanımlayan bütün modeller temel önermelerden çıkarılabiliyor olmalıdır. Ama kuramın ilk formülasyonu soyut olup gözlenebilir olgularla ilişkisi dolaylıdır. Sicim kuramsal tahminleri dünyamızla örtüştürecek bütün doğru fiziksel ilkeleri bulabilmek için çok şanslı olmalıyız. Bu, sicim kuramının en son hedefi olmakla birlikte, göz korkutucu bir iştir.

Her ne kadar zarafet ve sadelik, doğru bir kuramın ayırıcı özellikleri olabilirse de, bir kuramın güzelliğini ancak nasıl işlediği konusunda makul derecede kapsamlı bir kavrayış geliştirdiğimizde değerlendirebiliriz. Doğanın sicim kuramının ek boyutlarını neden ve nasıl gizlediğinin keşfedilmesi müthiş bir kazanım olacaktır. Fizikçiler şimdi bunun nasıl olduğunu anlamaya çalışıyor.

MANZARA

Bükülmüş Geçitler'de (*Warped Passages*) şaka yollu söylediğim gibi, sicim kuramını gerçekçi kılmak için yapılan tüm girişimler kozmetik cerrahi anlamında olmuştur. Sicim kuramını dünyamızla uyumlu hale getirmek için kuramcılar parçacıkları yok edip boyutları ölçülü bir şekilde tıkıştırarak, gözlenmeyen parçaları gizlemenin yollarını bulmak zorundadır. Her ne kadar sonuçta ortaya çıkan parçacık seti, doğru sete umut verici bir şekilde yakın olsa bile, yine da tam olarak doğru olduklarını söyleyemezsiniz.

Sicim kuramını daha gerçekçi hale getirme yolunda son dönemde bulunulan girişimler bir anlamda rol dağıtımı havasında olmuştur. Her ne kadar saf genç kız rolleri çok iyi oynanmıyor olsa da, ya da bazı oyuncuların donuk yüzü duygularını yansıtmıyor olsa da, yeterince seçme sınavı yapıldığında yetenekli bir aktör de ortaya çıkabilir.

Benzer biçimde sicim kuramı konusundaki bazı görüşler, evrenimizin kendi bileşenlerinin ender ama ideal düzeni olduğu gerçeğine dayanır. Sicim kuramı sonunda bilinen tüm kuvvet ve parçacıkları birleştirse de, özel bir parçacıklar, kuvvetler ve etkileşmeler setini, ya da daha büyük olasılıkla olası birçok tepe ve vadilerle bunların çeşitli çıkarımlarıyla çok daha karmaşık bir manzarayı temsil eden, kararlı tek bir havzayı da kapsayabilir.

Son araştırmalara göre, sicim kuramı kendisini *çoklu evrene* karşılık gelen bir senaryodaki olası birçok evrende uygulayabilir. Farklı evrenler birbirlerinden o kadar uzak olabilirler ki, yaşam süreleri boyunca kütleçekim yoluyla bile etkileşmezler. Bu durumda, bu evrenlerin her birinde tümüyle farklı evrim süreçleri olabilir ve biz bunların yalnızca birinde olabiliriz.

Eğer bu evrenler var olmakla birlikte bunlarda yaşamanın hiçbir yolu yoksa kendimizinki dışındaki tümünü göz ardı etmekte haklıyız demektir. Ama kozmolojik evrim bunların hepsinin yaratılması için yollar sağlıyor. Ve farklı evrenlerin farklı madde, kuvvetler ve enerjiyle çok farklı özellikleri olabilir.

Bazı fizikçiler manzara fikrini *antropik ilkeyle* bağlantılı olarak, parçacık fiziğinin sicim kuramındaki özellikle zorlu soruları ele alabilmek amacıyla kullanırlar. Antropik ilke bize, galaksilerin varlığına ve yaşama olanak veren bir evrende yaşadığımız için, bazı parametrelerin aldıkları değerleri ya da bunlara yakın değerleri almaları gerektiğini, yoksa bu soruları sormak üzere burada bulunamayacağımızı söyler. Örneğin evrende çok fazla enerji bulunamaz, aksi takdirde evren, maddenin çökerek kozmik yapılar oluşturamayacağı kadar hızla genleşir.

Eğer durum böyleyse, hangi fiziksel özelliklerin bir parçacık, kuvvet ve enerji düzenini diğeri karşısında kayırıp kolladığını belirlemek zorundayız. Hangi özelliklerin tahmin edilebilir olması gerektiğini, hangilerininse ilkin bizim burada oturup bilim tartışmamız için gerekli olduğunu bile bilmiyoruz. Acaba hangi özelliklerin temel açıklamaları vardır, hangileri rastlantısaldır?

Kütleçekim için yazdığımız denklem setinin birçok olası çözümü bulunduğundan, kişisel olarak ben, içinde mantıklı bir olasılık oranıyla bulunabileceğimiz, çok olasılıklı bir manzara fikrine inanıyorum ve gözlediklerimizin gözlenebilecek her şey olmaması için bir neden göremiyorum. Ama antropik ilkenin gözlenen olguları açıklama şeklini tatmin edici bulmuyorum. Buradaki sorun, antropik ilkenin yeterli olup olmadığını hiçbir zaman bilmememizdir. Hangi olguları nokta atışıyla tahmin etmeliyiz, hangileri "öylesine" öykülerle belirleniyor? Üstelik antropik bir açıklama sınanamaz da. Doğru olduğu ortaya çıkabilir. Ama eğer ilk ilkelerden kaynaklanan temel bir açıklama ortaya çıkarsa, elbette terk edilecektir.

SAĞLAM ZEMİNE DÖNÜŞ

Sicim kuramında çok büyük olasılıkla bazı derin ve gelecek vaat eden fikirler vardır. Bize şimdiden kuantum kütleçekim ve matematik konularında kavrayışlar kazandırmış ve model yapıcılara izleyebilecekleri ilginç bileşenler sunmuştur. Ama yine çok büyük olasılıkla bu kuramı, çözmek istediğimiz soruların yanıtlarını alabilecek kadar çözebilmek için epeyce zaman geçecektir. Sicim kuramının gerçek dünyaya ilişkin sonuçlarını sıfırdan türetmek çok zor olabilir. Sicim kuramından eninde sonunda başarılı modeller çıkıyor olsa bile, gereksiz elemanların kalabalığı bunların bulunmasını zorlaştırıyor.

Fizikteki model yapımı yaklaşımının yakıtı, sicim kuramının kesin tahminlerde bulunduğu enerjilerin gözleyebileceklerimizden çok uzakta olduğu içgüdüsüdür. Farklı ölçeklerde farklı tanımları olan birçok olayda olduğu gibi,

parçacık fiziğindeki sorulara ilişkin mekanizmalar da en iyi ilgili enerjilerde incelenebilir.

Fizikçilerin ortak hedefleri vardır ama bunlara en iyi nasıl ulaşılacağı konusunda beklentilerimiz farklıdır. Yakın bir gelecekte deneysel kılavuzluk yardımı alması olasılığı yüksek olduğundan, ben model yapımı yaklaşımını tercih ederim. Meslektaşlarım ve ben sicim kuramından düşünceleri kullanabiliriz ve araştırmalarımızın bazı bölümlerinde sicim kuramından gelen ifadeler bulunabilir ama sicim kuramının uygulanması benim temel hedefim değil. Hedefim, sınanabilir olayların anlaşılmasıdır. Modeller, daha temel bir kuramla ilişkilendirilmeden önce bile tanımlanabilir ve deneysel testlere tabi tutulabilirler.

Model yapıcılar pragmatik olarak her şeyi birden çıkaramayacağımızı kabul ediyorlar. Bir modeldeki varsayımlar son, temel bir kuramın parçası olabilir veya çok daha derin kuramsal destekleyici unsurlara sahip olan, yeni ilişkileri aydınlatabilirler. Modeller etkin kuramlardır. Bir modelin doğru olduğu bir kez anlaşıldıktan sonra, sicim kuramcılarına ya da daha yukarıdan aşağıya yaklaşımı için girişimde bulunan herhangi birine yol gösterebilir. Ve modeller de sicim kuramının sağladığı zengin fikirler kümesinden yararlanır. Ama modeller esas olarak daha düşük enerjilere ve bu ölçekte uygulanan deneylere odaklanır.

Standart Modelin ötesine geçen modeller, bileşenlerini olduğu kadar, zaten bilinen enerjilerdeki sonuçları da bir araya getirmekle birlikte, yalnızca daha kısa uzaklıklarda görülebilen yeni kuvvetler, yeni parçacıklar ve yeni etkileşmeleri de kapsayabilirler. Bu durumda bile bildiğimiz her şeyi yerli yerine koymak zordur ve sonuçta ortaya çıkan, benim ve başkalarının üzerinde çalıştığı model çoğunlukla başlangıçtaki zarafetini yitirir. Bu nedenle model yapıcılar açık fikirli olmak zorundadır.

İnsanlara, hepsinin doğru olamayacağını bildiğim birçok farklı model üzerinde çalıştığımı ve LHC'nin bunlardan hangisinin doğru olduğunu bize göstereceğini söylediğimde şaşırıyorlar. Üzerinde düşündüğüm özel herhangi bir

modele devasa olasılıklar atfetmediğimi açıkladığımda ise bu şaşkınlıkları daha da artıyor. Yine de, özgün bir biçimde yeni olan açıklayıcı bir ilkeyi veya yeni bir tür deneysel araştırmayı aydınlatan projeleri seçiyorum. Göz önüne aldığım modellerde genelde gizemli olaylar için ilginç potansiyel açıklamalar getiren, bazı ilginç özellikler veya mekanizmalar vardır. Birçok bilinmeyen –ve ilerleme yolunda belirsiz ölçütler– olduğu göz önüne alındığında, gerçekliği tahmin etmek ve yorumlamak, aşılması zor güçlüklerle doludur. En başından beri her şeyin doğru olması mucize olurdu.

Ek boyutlu kuramların en güzel yanlarından biri, hem yukarıdan aşağıya, hem de aşağıdan yukarıya kamplarından gelen fikirlerin yakınsayarak bu kuramları oluşturmasıdır. Sicim kuramcıları, zarların kuramsal formülasyonlarındaki kritik rolünü kabul ederler. Ve model yapanlar da, sıradüzen problemini kütleçekim konusundaki bir soru olarak yeniden yorumladıklarında alternatif çözümler bulabileceklerini fark ettiler.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısında şimdi böyle fikirler sınanıyor. LHC'de keşfedilecek olan şey, gelecekteki model yapımını yönlendirecek ve sınırlayacak. Daha yüksek enerjili deneysel sonuçlarla, neyin doğru olduğunu belirleyecek gözlemleri bir araya getirebileceğiz. Gözlemler belirli herhangi bir öneriyle uyuşmasa bile, bu modellerin yapımından çıkardığımız dersler, sonuçta hangi kuramın doğru olduğu konusundaki seçeneklerin azaltılmasına yardımcı olur.

Model yapımı olasılıkların tanınmasına, deneysel araştırmalar önerilmesine ve elde edilen verilerin yorumlanmasına yardım eder. Şanslı isek doğru yoldan gideriz. Ama model yapımı aynı zamanda neyin aranması gerektiği konusunda bize kavrayış kazandırır. Herhangi belirli bir modelin tahminlerinin tam olarak doğru olduğu ortaya çıkmasa bile, bize herhangi bir yeni deneysel sonucun ifade ettiklerini anlama konusunda yardımcı olacaklardır. Sonuçlar birçok fikir arasından seçim yapacak hangi –eğer varsa– özel uygulamaların doğru bir şekilde gerçekliği tanımladığını belirleyecektir. Var olan hiçbir öneri iş görmez-

se, veriler yine de doğru modelin ne olduğunun belirlenmesine yardım edebilirler.

Yüksek enerji deneylerinde yalnızca yeni parçacıklar aranmaz. Bu deneylerde daha büyük açıklama gücüyle temel fizik yasalarının yapısı araştırılır. Sonuçlar yanıtları belirleyinceye kadar sadece tahminlerde bulunuruz. Şimdilik belirli modelleri desteklemek üzere estetik ölçütler (veya önyargı) uygulayacağız. Ama deneyler modeller arasında ayrım yapmaya yetecek enerjilere, uzaklıklara ve istatistiğe ulaştığında, daha fazlasını biliyor olacağız. LHC'de elde edilmesini umduklarımıza benzeyen deneysel sonuçlar, hangi tahminlerimizin doğru olduğunu belirleyecek ve gerçekliğin temel doğasını saptamamıza yardımcı olacaktır.

Kısım V
EVRENİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

ON DOKUZUNCU BÖLÜM

TERSYÜZ

İlkokuldayken bir sabah uyandığımda evrenimizin (en azından bildiğimiz) yaşının bir anda iki katına çıktığını okuyup afallamıştım. Bu düzeltme çok şaşırtıcıydı. Evrenin yaşı kadar önemli bir şey nasıl olur da bildiğimiz her şeyi tahrip etmeden bu kadar radikal bir değişim geçirme özgürlüğüne sahip olabilirdi?

Bugünse şaşkınlığım diğer yönde işliyor. Şimdi de evren ve tarihi konularında kesin olarak ne kadar çok şey bildiğimize şaşırıyorum. Sadece evrenin yaşını önceden olduğundan çok daha kesin olarak bilmekle kalmıyoruz, aynı zamanda evrenin zamanla nasıl büyüdüğünü, çekirdeklerin nasıl oluştuğunu ve galaksilerle galaksi kümelerinin evrimlerine nasıl başladığını da biliyoruz. Önceleri neyin olup bittiği konusunda niteliksel bir düşünceye sahiptik. Şimdiyse elimizde kesin, bilimsel bir tablo var.

Kozmoloji son zamanlarda hem kuramsal hem de deneysel ilerlemelerle, büyük olasılıkla 20 yıl önce kimsenin inanmayacağı, daha geniş çaplı ve ayrıntılı sonuçlar veren devrimci atılımların görüldüğü, olağanüstü bir çağa girdi. Geliştirilmiş deneysel yöntemlerle kökleri genel görelilik ve parçacık fiziğinde olan hesapları birleştirerek fizikçiler evrenin ilk dönemlerinde nasıl göründüğünü ve günümüzdeki biçimine nasıl evrildiğini ortaya koydu.

Şimdiye kadar bu kitapta temel olarak maddenin iç doğasını incelediğimiz, daha küçük ölçeklere odaklanıldı. İçe doğru olan bu yolculuğumuzun şimdiki sınırlarına ulaşmış olarak, uzaklık ölçekleri üzerine Beşinci Bölümde başladığımız turu tamamlayalım ve dikkatimizi dış evrendeki cisimlerin boyutlarını ele almak üzere dışarıya çevirelim.

Evrenin bütün yönlerini sadece boyutla, düzgün bir şekilde karakterize edemeyeceğimizden, kozmik ölçeklere olan bu yolculuğumuzdaki bu büyük fark nedeniyle temkinli olmalıyız. Gözlemlerde sadece bugünkü evren kaydedilmez. Işık hızının sonlu olması nedeniyle gözlemlerde aynı zamanda geçmiş zamana bakılır. Bugün gözlediğimiz yapılar, ışıkları bizim teleskoplarımıza, salındıktan milyarlarca yıl sonra ulaşan, evrenin geçmiş zamana ait sakinleri olabilirler. Şu anda gördüğümüz, çok genişlemiş evrenin boyutu, eski dönemlerdeki evrenin boyutunun kat kat üstündedir.

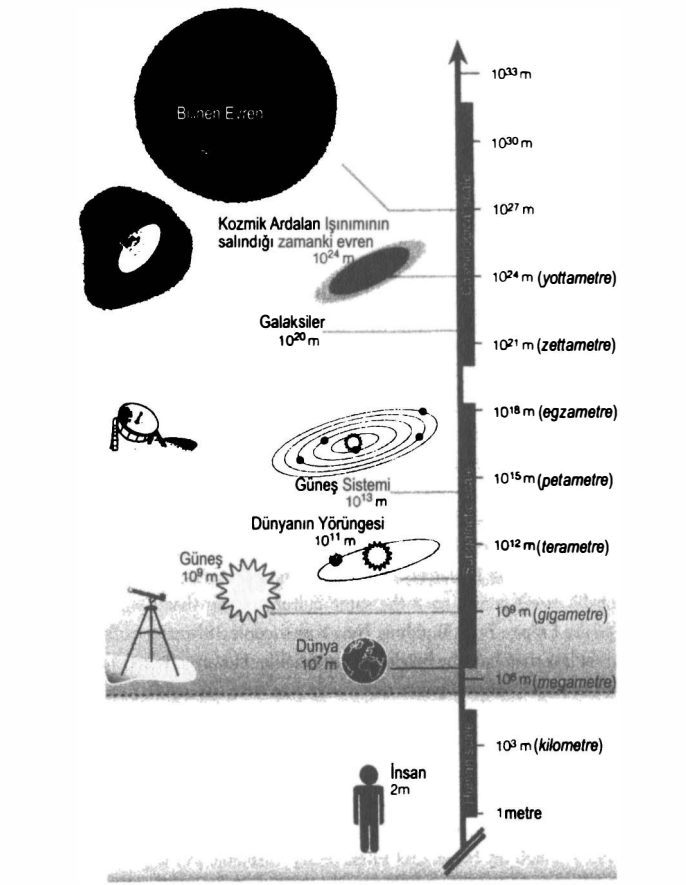
Boyut yine de gözlemlerimizi nitelendirirken –hem günümüzdeki evren hem de zaman içindeki tarihi– kritik bir rol oynar ve bu bölümde her ikisi de inceleniyor. İkinci yarıda evrenin evrimini, minik ilk boyutundan şimdi gözlediğimiz devasa yapısına kadar, bir bütün olarak ele alacağız. Ama öncelikle çevremizde bulunanları karakterize eden bazı uzaklıklar hakkında bilgi edinmek için evrenin şimdi göründüğü şekline bir göz atacağız. Sonra dışarıda, keşfedilecek daha büyük türdeki yapılar konusunda bir fikir sahibi olmak için –yeryüzündeki ve evrendeki– daha büyük boyutları ve daha uzak cisimleri ele almak üzere büyük ölçeklere doğru gideceğiz. Büyük ölçekler turu daha önce yaptığımız, maddenin içindeki turdan daha kısa olacak. Evrendeki yapı zenginliğine karşın gördüklerimizin çoğu bilinen fizik yasalarıyla –temel, yeni olanlarla değil– açıklanabilir. Yıldız ve galaksi oluşumu bilinen kimya ve elektromanyetizma –temelleri daha önce incelediğimiz, küçük ölçeklerde bulunan bilimler– yasalarına bağlıdır. Ancak şimdi kritik bir rol oynayan kütleçekimin en iyi tanımı da üzerine etkidiği cisimlerin hız ve yoğunluklarına bağlı olup, bu durumda değişen kuramsal tanımlara da yol açar.

EVREN TURU

Uzaklık ölçeğinin en görüntüsel turlarından biri olan *Onun Üsleri (Powers of Ten)*[1] kitabı ve filmi, yolculuğumuza baş-

[1] Özgün kısa film *Powers of Ten*, Ray Eames ve Charles Eames, 1968; *Powers of Ten: A Flip Book*, Charles ve Ray Eames (W. H. Freeman Publishers, 1998); Philip Morrison ve Phylis Morrison ve Charles ve Ray Eames ofisi, *Powers of Ten: About the Relative Sizes of Things in the Universe* (W. H. Freeman Publishers, 1982).

lamak için herhangi bir diğer yer kadar uygun olan Chicago'daki Grant Park'ta oturmakta olan bir çiftle başlayıp biter. Burada, çevremizdeki bilindik uzunluk ve ölçülere bir göz atmak üzere, (şimdi artık büyük oranda boş olduğunu bildiğimiz) sağlam zeminde bir an duralım. Bir an için onların yaklaşık birkaç metrelik insan ölçeğini yansıttıktan sonra bu rahat dinlenme yerini terk ederek daha büyük yükseklik ve boyutlara doğru tırmanalım. (bu bölümde incelenen ölçekleri örneklemek için Şekil 70'e bakınız.)



ŞEKİL 70 Büyük ölçeklerde bir tur ve bunları tanımlamakta kullanılan uzunluk ölçüleri.

İnsanın yüksekliğe verdiği tepkinin benim gördüğüm en olağanüstü kanıtlarından biri, Elizabeth Streb'in dans topluluğunun gösterisi sırasında yaşandı. Dansçılar (ya da "aksiyon mühendisleri") giderek yükseltilen bir korkuluktan karınlarının üzerine yere atlıyorlardı, ta ki son dansçı yaklaşık 10 metreden atlayıncaya kadar. Bunun bizim rahatlık sınırlarımızın ötesinde olduğunu nefes nefese kalan seyirciler açıkça gösteriyordu. İnsanlar bu kadar yüksekten düşmemeli, hem de yüzüstü.

O kadar dramatik olmamakla birlikte yüksek binalar da korkuyla karışık şaşkınlıktan yabancılaşmaya kadar giden, benzer reaksiyonlar yaratır. Mimarların karşı karşıya kaldıkları zorluklardan biri, bizden çok daha büyük olan yapıları insanileştirmektir. Binalar ve yapıların boyut ve şekilleri değişir ama bizim onlara karşı olan tepkimiz kaçınılmaz olarak bizim onlara karşı olan psikolojik ve fizyolojik tavrımızın bir yansımasıdır.

Dünyadaki insan yapısı en yüksek bina, Birleşik Arap Emirliklerinin Dubai şehrinde, 828 metre yüksekliğe sahip olan Burc El Halife'dir. Bu, göz korkutucu bir yükseklik olmakla birlikte kule büyük oranda boştur ve büyük olasılıkla *Görevimiz Tehlike 4* filmi bu kuleye, *King Kong*'un Empire State Building'e verdiği kültürel statüyü vermeyecektir. New York'un 381 metre yüksekliğindeki bu ikonik binası, Burc El Halife'nin yarı yüksekliğindedir. Bununla birlikte, lehine bir nokta olarak, doluluk oranı çok daha yüksektir.

Pek çoğu huşu duygusu hissettiren, çok daha büyük, doğal varlıklarla çevrili bir dünyada yaşıyoruz. Dikey yönde 8,8 kilometreyle Everest tepesi dünyadaki en yüksek zirvedir. Avrupa'daki (en azından Gürcistan'da yaşamıyorsanız) en yüksek dağ olan Mont Blanc'ın yüksekliği bunun yarısıdır ama –her ne kadar tepede çektiğimiz fotoğrafta arkadaşım ve ben çok sefil görünüyor olsak da– yıllar önce zirvesine çıktığımda çok mutlu olmuştum. 11 kilometrelik derinliğiyle Mariana çukuru okyanusun bilinen en derin yeri olup, yerkürenin kabuğundaki en alçak noktadır. Başka bir dünyaya aitmiş gibi duran bu çukur, yönetmen James Cameron'ın başa-

rılı *Avatar* filminde son derece başarılı bir şekilde fethettiği üç boyutlu görüntü dünyasından sonraki hedefiydi.

Doğal cisimler dünyada çok daha geniş bir bölgeye yayılırlar. Örneğin Büyük Okyanusun genişliği yaklaşık 20 milyon metre iken Rusya, neredeyse 8 milyon metre genişliğiyle bunun hemen hemen yarısıdır. Yaklaşık küresel şekle sahip olan yerkürenin kendisinin çapı 12 milyon metreyken çevresi de bunun yaklaşık üç katıdır. Amerika Birleşik Devletleri, 4,2 milyon metreyle bunun onda biri kadar olsa da, çapı 3,6 milyon metre olan aydan büyüktür.

Dış uzaydaki cisimler, daha da büyük bir boyut aralığındadır. Örneğin asteroidlerin boyutları çok değişiktir; minikler küçük bir çakıl taşı boyutlarındayken büyükler, yeryüzündeki herhangi bir yapıdan çok daha büyüktür. Yaklaşık 1 milyar metrelik çapıyla güneş, dünyadan hemen hemen 100 kat büyüktür. Ve kabaca güneşten Plüton'a (gezegen statüsünde olsun olmasın, güneş sisteminin içindedir) kadar alacağım güneş sisteminin büyüklüğü, güneşin yarıçapının yaklaşık 7000 katıdır.

Dünyadan güneşe olan uzaklık, göreceli olarak küçük –sadece yüz milyon metre– olup, bir ışık yılının yüz binde biridir. Bir ışık yılı ışığın bir yılda katedebileceği uzaklıktır. 300 milyon metre/saniye (ışık hızı) 30 milyon saniyeyle (bir yıldaki saniye sayısı) çarpılarak bulunur. Işığın bu sonlu hızından ötürü gördüğümüz güneş ışığı sekiz dakika önceki ışıktır.

Devasa evrenimizde büyüklük ve boyut olarak birbirinden farklı olan birçok görülür yapı vardır. Gökbilimciler uzay cisimlerinin çoğunu türlerine göre düzenlemişlerdir. Bazı ölçekler vermek gerekirse, galaksilerin çapı tipik olarak 30.000 ışık yılı veya 3×10^{20} metre kadardır. Bu, anılan çapın üç katı büyüklüğünde olan bizim galaksimiz Samanyolunu da kapsar. Onlarcadan binlerceye kadar galaksiyi barındıran galaksi kümeleri yaklaşık 10^{23} metre ya da 10 milyon ışık yılı büyüklüğündedir. Işığın bir galaksi kümesinin bir tarafından diğerine gitmesi yaklaşık 10 milyon yıl sürer.

Yine de bu devasa boyut aralığına karşın, bu cisimlerin pek çoğu Newton yasalarına uyarak hareket eder. Ayın yö-

rüngesi tıpkı Plüton'un yörüngesi veya dünyanın kendisinin yörüngesi gibi Newton'ın kütleçekim yasalarıyla açıklanabilir. Bir gezegenin güneşten olan uzaklığına bağlı olarak yörüngesi Newton kütleçekim yasalarıyla hesaplanabilir. Newton'ın elmasını yere düşüren de aynı yasadır.

Yine de gezegen yörüngelerinin daha hassas ölçümleri Newton yasalarının son sözü söylemediğini ortaya koymuştur. Merkür'ün günberi noktasının yalpalamasını, yani gezegenin güneş etrafındaki yörüngesinin zamanla değişimini açıklayabilmek için genel göreliliğe gereksinim vardır. Genel görelilik, yoğunluklar ve hızlarda Newton yasalarını da kapsayan ama bu sınırlar dışında da geçerliliğini koruyan, daha kapsamlı bir kuramdır.

Bununla birlikte çoğu cismi tanımlamak için genel görelilik gereksizdir. Ama etkileri zamanla birikebilir ve kara delik gibi yoğun cisimlerde belirgindir. Galaksimizin merkezindeki kara deliğin yarıçapı yaklaşık 10 trilyon (10^{13}) metredir. Kapsadığı kütle çok büyük olup –güneş kütlesinin yaklaşık 4 milyon katı– diğer kara deliklerde olduğu gibi kütleçekimsel özelliklerini tarif edebilmek için genel görelilik gereklidir.

Görülebilir bütün evrenin genişliği şimdilik 100 milyar ışık yılı (10^{27} m), yani galaksimizin bir milyon katıdır. Bu devasa büyüklük görünüşe bakılırsa şaşırtıcıdır çünkü Büyük Patlamadan beri geçen 13,75 milyar yılda gerçekten gözleyebileceğimiz uzaklıktan daha büyüktür. Hiçbir şey ışık hızından daha hızlı hareket edemez, onun için evren sadece 13,75 milyar yaşında olduğundan, bu boyut olanaksız gibi görünebilir.

Ancak, burada bir çelişki yoktur. Evrenin bir bütün olarak bir ışık sinyalinin 13,75 milyar yılda alacağı yoldan daha büyük olmasının nedeni, uzayın kendisinin genişlemiş olmasıdır. Bu olayın anlaşılmasında genel görelilik büyük bir rol oynar. Genel görelilik denklemleri bize uzayın kendi dokusunun genişlediğini söyler. Evrende birbirlerinden uzak olup birbirlerini göremeyen yerleri gözleyebiliriz.

Işığın hızının ve evrenin yaşının sonlu olduğu düşünülecek olursa, bu bölüm bizi gözlenebilir boyutların sınırlarına getirmiş oluyor. Görülebilir evren, teleskoplarımızın erişe-

bildiği yerlerin tümüdür. Bununla birlikte, evrenin boyutu neredeyse kesin olarak gördüklerimizle sınırlı değildir. Şimdiki deneysel kısıtların ötesine geçen varsayımlarda bulunduğumuz küçük ölçeklerde olduğu gibi, gözlenebilir evrenin ötesinde ne olduğunu da göz önüne alabiliriz. Düşünebileceğimiz en büyük boyutlar konusundaki tek sınır hayal gücümüz ve gözleme umudumuz olmayan yapıları düşünmek için göstereceğimiz sabırdır.

Ufkun yani gözlenebilir evrenin sınırının ötesinde ne olduğunu gerçekten bilmiyoruz. Gözlemlerimizin sınırları ufkun ötesinde yeni ve egzotik olgular olması ihtimaline olanak verir. Gözlenmiş olan herhangi bir şeyle çelişmediği sürece, ilke olarak farklı yapılar, farklı boyutlar ve hatta farklı fizik yasaları bile olabilir. Bu durum, astrofizikçi arkadaşım Max Tegmark'ın ara sıra belirttiği gibi, bütün olasılıkların doğada gerçekleşmesi anlamına gelmez. Buna karşın, oralarda olabilecekler için pek çok olasılık bulunduğu anlamına gelir.

Henüz başka boyutların veya başka evrenlerin olup olmadığını bilmiyoruz. Gerçekten, çoğumuz ikincisinin doğru olduğunu düşünmekle birlikte, evrenin kesinlikle sonlu ya da sonsuz olduğunu bile söyleyemiyoruz. Hiçbir ölçüm sonlu olduğuna işaret etmiyorsa da ölçümlerin erişimi bu kadardır. İlke olarak evren sonlu olabilir ve hatta şekli bir topa ya da balona benziyor olabilir. Ama şimdilik hiçbir kuramsal ya da deneysel ipucu bizi bu yöne götürmüyor.

Orada ne olup bittiğini öğrenmemiz olanaksız olduğundan, fizikçilerin çoğu görülür evrenin ötesindeki rejim konusunu fazla düşünmemeyi tercih ederler. Bununla birlikte, herhangi bir kütleçekim ya da kuantum kütleçekim kuramı bize, var olabilecek geometri konusunda düşünebileceğimiz matematiksel araçları sağlar. Uzayın ek boyutları hakkındaki kuramsal yöntem ve düşüncelere dayalı olarak fizikçiler kimi zaman, evrenimizin yaşı süresince bizimle ilişkide olmayan veya sadece kütleçekim yoluyla ilişkide olan diğer egzotik evrenleri göz önüne alırlar. On Sekizinci Bölümde tartışıldığı gibi, sicim kuramcıları ve diğerleri, sicim kuramının denklemleriyle tutarlı olan birçok kopuk, bağımsız evreni içeren bir çoklu ev-

ren hakkında kafa yorarlar. Kimi zamansa bu fikirleri evrenin var olabilecek olası seçeneklerinden yararlanan antropik ilke birleştirirler. Hatta bazıları gelecek için böyle çoklu evrenlerin gözlenebilir işaretlerini bulmaya bile çalışır. On Yedinci Bölümde görmüş olduğumuz gibi, ayrı bir senaryoda, iki zarlı bir "çoklu evren" parçacık fiziğindeki soruları anlamamıza yardımcı olabilir ve bu durumda sınanabilir sonuçları olur. Ama ek evrenlerin çoğu, akla uygun ve hatta yüksek olasılıklı olsa bile, büyük ihtimalle öngörülebilir bir gelecekte deneysel sınanabilirliğin erişiminin ötesinde olacaklardır. Bu durumda kuramsal, soyut olasılıklar olarak kalacaklardır.

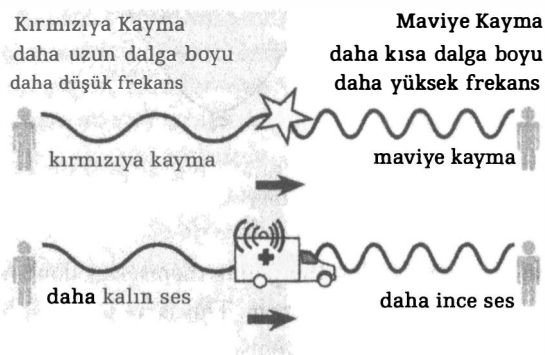
BÜYÜK PATLAMA: ZAMANDA KÜÇÜKTEN BÜYÜĞE DOĞRU

Şimdi gözlenebilir evren bağlamında gözleyebildiğimiz veya inceleyebildiğimiz en büyük boyutlara gitmeye cüret ettiğimize ve görülebilecek en dış sınırlara ulaştığımıza (ve hayal gücümüzle düşünüp taşındığımıza) göre, içinde yaşadığımız ve gözlediğimiz evrenin, bugün gördüğümüz devasa yapıları yaratabilmek için zamanla nasıl evrildiğini araştıralım. Büyük patlama kuramı bize evrenin 13,75 milyar yıllık ömründe, başlangıçtaki küçük boyutlarından günümüzdeki 100 milyar ışık yılı çapındaki büyüklüğüne nasıl ulaştığını anlatır. Fred Hoyle bu kurama, sıcak, yoğun bir ateş topunun büyümeye başlayarak bugün gördüğümüz büyük kütleli ve yaygın yapıları oluşturmasına atfen şakacı ve kuşkucu bir ifadeyle bu adı takmıştır. Evren büyüyor, madde seyreliyor ve evrim geçirirken soğuyor.

Bununla birlikte kesinlikle bilmediğimiz şeyler, başlangıçta neyin patladığı bunun nasıl olduğu ve bunun olduğu zamanki boyutlarıdır. Evrenin geç dönem evrimini kavrıyor olmamıza karşın, başlangıcı bir giz perdesinin ardında saklıdır. Yine de, Büyük Patlama kuramının bize evrenin ilk anları konusunda herhangi bir şey söylemiyor olmasına karşın, sonraki tarihi konusunda çok şeyler söyleyen, başarılı bir kuramdır. Büyük Patlamayla birleştirilen çağdaş gözlemler, evrenin evrimi hakkında bize çok şey anlatır.

Yirminci yüzyıl başladığında evrenin genişlediğini hiç kimse bilmiyordu. Edwin Hubble'ın ilk kez gökyüzüne baktığı sıralarda çok az şey biliniyordu. Harlow Shapley Samanyolunun büyüklüğünü 300.000 ışık yılı olarak ölçmüş olmakla birlikte, evrenin Samanyolundan ibaret olduğuna ikna olmuştu. 1920'lerde Hubble, Shapley'nin toz bulutlarının –bu ilham vermeyen adı hak ediyorlardı– gerçekte milyonlarca ışık yılı uzaklıktaki galaksiler olduğunu anlamıştı.

Bir kez galaksileri tanımladıktan sonra Hubble ikinci büyüleyici keşfini –evrenin genişlediği keşfini– yaptı. 1929'da galaksilerin kırmızıya kayma yaptığını gözledi, yani uzak cisimlerden gelen ışık dalgalarının daha uzun dalga boylarına kaymalarına neden olan bir Doppler etkisi vardı. Bu kırmızıya kayma, tıpkı uzaklaşmakta olan ambulansın sireninin daha kalın duyulmasında olduğu gibi, galaksilerin birbirlerinden uzaklaşmakta olduklarını gösteriyordu (Şekil 71). Tanımladığı galaksiler bizim konumumuza göre durağan değillerdi, hepsi bizden uzaklaşıyordu. Bu, galaksilerin birbirlerinden uzaklaştığı, içinde yaşadığımız evrenin genişlediğinin kanıtıydı.

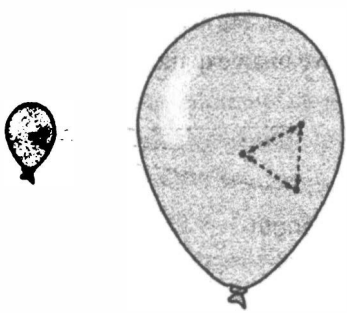


ŞEKİL 71 Bizden uzağa doğru hareket eden bir cisimden gelen ışık daha düşük frekanslara doğru kayar –ya da spektrumun kırmızı tarafına kayar– oysa bize doğru gelen cisimlerden gelen ışık daha yüksek frekanslara ya da maviye doğru kayar. Bu da, hareket halindeki bir ambulansın sireninin bizden uzaklaşırken daha kalın, bize yaklaşırken ise daha ince duyulmasına benzer.

Evrenin genişlemesi başlangıçta gözümüzde canlandırmış olabileceğimizden farklıdır çünkü evren daha önceden var olan bir uzayın içine doğru genişlemez. Genişleyen evren ve uzayın kendisidir. Zaman geçtikçe içindeki iki nokta birbirinden uzaklaşır. Öbür galaksiler bizden uzaklaşır ama bizim konumumuz da özel değildir, galaksiler birbirlerinden de uzaklaşırlar.

Bunu göz önünde canlandırmanın bir yolu, evreni bir balonun yüzeyi olarak düşünmektir. Balonun yüzeyinde iki nokta işaretlemiş olduğunuzu düşünelim. Balon şişerken yüzey gerilir ve iki nokta birbirinden uzaklaşır (Şekil 72). Evren genişlediğinde iki noktaya olan da budur. İki nokta ya da herhangi iki nokta arasındaki uzaklık da artar.

Bu benzetmemizde noktaların kendilerinin mutlaka genişlemediğine, sadece aralarındaki uzayın genişlediğine dikkat ediniz. Genişleyen evrende olan da aslında budur. Örneğin atomlar elektromanyetik kuvvetle kendi içlerinde sıkıca bağlıdır. Büyümezler. Galaksiler gibi göreceli olarak yoğun, sıkıca bağlı yapılar da öyle. Genişlemeye neden olan kuvvet onların üzerinde de etkilidir ama işin içinde başka kuvvetlerin de katkıları olduğundan, galaksiler de evrenin genel genişlemesiyle büyümezler. Öylesine büyük çekim kuvvetleri altındadırlar ki, birbirlerine olan uzaklıkları artarken, boyutları aynı kalır.



ŞEKİL 72 "Balonevren", balon (evren) genişlerken bütün noktaların birbirinden nasıl uzaklaştığını gösteriyor.

Bu balon benzetmesi elbette tam değildir. Evrenin iki değil üç uzay boyutu vardır. Dahası, evren büyük ve olasılıkla sonsuz boyuta sahiptir, balon yüzeyi gibi eğri ve küçük değildir. Üstüne üstlük balon, bizim evrenimizde var olup var olan uzayın içine genişler; oysa uzaya yayılan evren başka bir şeyin içine doğru genişlemez. Ama bu uyarılarla bile bir balonun yüzeyi uzayın genişlemesinin ne anlama geldiğini çok hoş bir şekilde gösterir. Her nokta bütün diğer noktalardan aynı zamanda uzaklaşır.

Yine bir balon benzetmesi –bu kez içine gönderme yapan– evrenin başlangıçtaki sıcak ve yoğun ateş topu varlığından nasıl soğuduğunun anlaşılmasına da yardımcı olur. Çok büyük boyutlara kadar genişlemesine izin verdiğimiz, son derece sıcak bir balon hayal edelim. İlk başta dokunulamayacak kadar sıcak olsa da, zamanla genişleyen balonun içindeki hava artık insanın dokunamayacağı kadar sıcak olmaktan çıkar. Büyük patlama kuramında başlangıçtaki sıcak ve yoğun evrenin genişlediği, genişlerken de soğuduğu tahmin edilir.

Aslında Einstein genişleyen evreni kendi genel görelilik denklemlerinin sonuçlarından bulmuştu. Bununla birlikte o zamanlar kimse evrenin genişlemesini henüz ölçmemiş olduğundan Einstein kendi hesabına güvenmiyordu. Einstein kendi kuramını durağan evrenle uyumlu hale getirmek için yeni bir enerji kaynağının varlığını ileri sürdü. Hubble'ın ölçümlerinden sonra "en büyük gaf" diyerek yapmış olduğu bu ufak hileden vazgeçti. Ama yine de bu küçük değişiklik tam olarak hatalı değildi. Yakında son ölçümleri, onun eklediği kozmoloji sabiti teriminin son gözlemleri açıklamak için gerekli olduğunu göreceğiz; her ne kadar son yıllarda belirlenen genişlemenin ivmelenmesini açıklayan, ölçülen büyüklük, Einstein'ın genişlemeyi durdurmak için eklediği terimden on kat büyük olsa bile.

Evrenin genişlemesi yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olan fiziğin yakınlaşmalarını görmek için iyi bir örnektir. Einstein'ın kütleçekim kuramı evrenin genişlediğini ima eder. Genişlemenin keşfedilmesiyle fizikçiler doğru yol-

da oldukları konusunda kendilerine daha çok güvenmeye başladılar.

Bugün, evrenin şu andaki genişleme hızını belirleyen sayıya *Hubble sabiti* adını veriyoruz. Bu, uzayın her yerindeki oransal genişlemenin aynı olduğu anlamında bir sabittir. Bununla birlikte, Hubble parametresi zaman içinde sabit değildir. Eskiden, evrenin daha yoğun, daha sıcak olduğu ve kütleçekim etkilerinin daha büyük olduğu zamanlarda, çok daha hızlı genişlemişti.

Daha önce ortaya attığımız, geçmişi şimdiki zamandan ayırt etme problemiyle karşılaştığımızdan, Hubble sabitini tam olarak ölçmek zordur. Kırmızıya kayma hem Hubble parametresine, hem de uzaklığa bağlı olduğundan kırmızıya kayan galaksilerin ne kadar uzakta olduklarını bilmek zorundayız. Bu bölümün başlarında söz ettiğim, evrenin yaşı konusundaki iki kat oranındaki belirsizliğin kaynağı işte bu kesin olmayan ölçümlerdir. Eğer Hubble parametresinin ölçümleri iki kat belirsizlik içerirse, evrenin yaşı da içerecektir.

Bu uyuşmazlık artık büyük ölçüde çözüldü. Hubble parametresi, Smithsonian Astrofizik Gözlemevinden Wendy Freedman ve meslektaşları ve diğerleri tarafından ölçülmüştür; uzaklaşma hızı bir milyon ışık yılı uzaklığındaki bir galaksi için saniyede yaklaşık 22 kilometre kadardır. Bu değere dayanarak şimdi evrenin yaşının 13,75 milyar yıl olduğunu biliyoruz. Bu değer gerçek değerin 200 milyon yıl kadar altında veya üzerinde olabilir ama iki kat farklı olamaz. Her ne kadar bu bile büyük bir belirsizlik miktarıymış gibi görünüyorsa da, aralık bugünkü kavrayışımızda büyük bir fark yaratamayacak kadar küçüktür.

Tahminlerle güzel bir şekilde örtüşen diğer iki önemli gözlem de Büyük Patlama kuramını doğruladı. Hem parçacık fiziği hem de genel görelilik hesaplarına dayanan ve bu nedenle her ikisini de doğrulayan bir ölçüm sınıfı, evrendeki helyum ve lityum gibi elementlerin yoğunluğuydu. Büyük patlama kuramının bu elementlerin miktarları konusundaki tahminleri ölçümlerle örtüşür. Bu, bazı bakımlardan dolaylı bir kanıt olup, bu değerleri hesaplamak için nükleer fizik ve

kozmolojiye dayanan ayrıntılı hesaplar gerekir. Bu durumda bile birçok farklı element bolluklarının hesaplarla uyuşması, eğer fizikçiler doğru yolda olmasalar, neredeyse olanaksız bir rastlantı olurdu.

Amerikalı Robert Wilson ve Almanya doğumlu Arno Penzias 1964 yılında kazara 2,7 derece mikrodalga ardalanını bulduklarında Büyük Patlama kuramını bir kez daha doğrulamış oldular. Bu sıcaklığı perspektife yerleştirebilmek için hiçbir şeyin sıcaklığının mutlak sıfırdan yani sıfır derece Kelvin'den düşük olamayacağını hatırlayalım. Evrendeki ışınım, bu herhangi bir şeyin bulunabileceği en düşük sıcaklık sınırının sadece yaklaşık üç derece kadar üzerinde.

Robert Wilson ve Arno Penzias'ın bu işbirliği ve serüvenleri (ki bununla 1978'de Nobel Ödülü kazandılar) bilim ve teknolojinin nasıl uyum içinde çalışarak kimsenin hayal bile edemeyeceği sonuçları elde ettiğinin en güzel örneğiydi. AT&T tekel olduğu dönemlerde çok iyi bir iş yaparak kuramsal ve uygulamalı bilimlerin yan yana ilerlediği, mükemmel bir araştırma ortamına dönüşen Bell Laboratuvarlarını kurdu.

Ayrıntılara önem veren, teknolojik küçük cihazlar uzmanı olan Robert Wilson ve biraz daha büyük resme bakabilen bir bilim insanı olan Arno Penzias'ın her ikisi de orada çalışıyorlar, birlikte radyo teleskopları kullanıyor ve geliştiriyorlardı. AT&T anlaşılabilir bir şekilde haberleşmeyle ilgilenirken Wilson ve Penzias bilim ve teknolojiyle ilgileniyorlardı, o nedenle uzaydaki radyo dalgaları, bu işin içindeki herkes için önemliydi.

Radyo astronomi alanında özel bir hedefe yönelik çalışmalar yaparlarken Wilson ve Penzias, işin en başında karşılaştıkları gizemli ama can sıkıcı bir ayrıntıyı açıklayamadıklarını fark ettiler. Bu, temelde statik olan, birörnek bir ardalan gürültüsü gibi görünüyordu. Güneşten gelmediği gibi önceki yıl yapılan nükleer testlerle de ilgisi yoktu. Ne olup bittiğini anlamak için çalıştıkları dokuz ay boyunca, güvercin pislikleri de dahil olmak üzere, düşünebildikleri her açıklamayı denediler. Akla gelebilecek bütün olasılıkları düşündükten, güvercin pisliklerini (veya Penzias'ın de-

diği gibi "beyaz dielektrik malzemeyi") temizledikten, hatta güvercinleri bölgeden uzaklaştırdıktan sonra bile o gürültü hâlâ yok olmamıştı.

Wilson bana, yaptıkları keşfin zamanlamasında ne kadar şanslı olduklarını söyledi. Onlar Büyük Patlamayı bilmiyorlardı ama Princeton Üniversitesinden Robert Dicke ve Jim Peebles biliyordu. Orada bulunan fizikçiler kuramın ima ettiklerinden birinin, kalıntı bir mikrodalga ışınımı olduğunu anlamışlardı. Bu ışınımı ölçebilmek için bir radyo teleskop tasarlama sürecindelerken, henüz neyi keşfettiklerinin farkında olmayan Bell Laboratuvarlarındaki bilim insanları tarafından atlatılmış olduklarını gördüler. Penzias ve Wilson'ın şanslarına, Robert Wilson'ın bana İnternetin eski versiyonu olarak tarif ettiği MIT gökbilimcisi Bernie Burke'ün hem Princeton'daki araştırmadan hem de hem de Penzias ve Wilson'ın keşiflerinden haberi vardı. İkilileri bir araya getirdi ve işin içindeki oyuncuların teması sonucunda bu bağlantının amacına ulaşmasını sağladı.

Bu, eylem halindeki bilimin çok güzel bir örneğiydi. Araştırma, bilimsel ve teknolojik yan kazançları olabilecek, belirli bilimsel bir amaca yönelik olarak yapılmıştı. Gökbilimciler buldukları şeyi aramıyorlardı ama bilimsel ve teknolojik olarak son derece yetenekliydiler. Bir şey keşfettiklerinde onu bir kenara atmamaları gerektiğini biliyorlardı. Göreceli olarak küçük olaylara yönelik olan araştırmaları, hem onlar hem de diğerleri aynı zamanda büyük resmi de düşünmekte olduklarından, çok derin sonuçları olan bir keşifle sonuçlandı. Bell laboratuvarlarında çalışan bilim insanlarının keşfi rastlantı sonucu ortaya çıkmıştı ama kozmoloji bilimini sonsuza kadar değiştirdi.

Kozmik ışınım sadece Büyük Patlamayı doğrulamak değil, aynı zamanda kozmolojiyi ayrıntılı bir bilime dönüştürmek açısından çok önemli bir araç olmuştu. Kozmik mikrodalga ardalan (CMB) ışınımı, geçmişi gözleme konusunda bize, geleneksel astronomi ölçümlerinden çok daha farklı bir yol açmıştır.

Geçmişte gökbilimciler gökyüzündeki cisimleri gözler, yaşlarını belirlemeye ve onları ortaya çıkaran evrimin tarihini anlamaya çalışırlardı. CMB sayesinde bilim insanları artık zamanda, yıldız ve galaksi gibi yapıların bile henüz ortaya çıkmadığı kadar eskilere doğrudan bakabilirler. Gözledikleri ışık çok önceleri, evrenin evriminin çok erken dönemlerinde yayınlanmıştır. Şimdi gözlediğimiz mikrodalga ardalanı yayınlandığında evrenin boyutu, şimdikinin binde biri kadardı.

Her ne kadar evren başlangıçta, hem yüklü hem de yüksüz her türlü parçacıkla doluysa da, Büyük Patlamadan yaklaşık 400.000 yıl sonra yeterince soğuduğunda yüklü parçacıklar bir araya gelerek atomları oluşturdu. Bu noktadan sonra ışık artık saçılmadı. Bu nedenle gözlenen CMB ışınımı evrenin evriminin 400.000'inci yılından beri, engellenmeden ve kesintisiz bir şekilde yeryüzündeki ve uydulardaki teleskoplara ulaşıyor. Penzias ve Wilson'ın keşfettiği ardalan ışınımı, evrenin evriminin erken dönemlerinde de var olan ışınımla aynı olup, onun genişlemeyle seyrelmiş ve soğumuş halidir. Bu ışınım, onu saptayan teleskoplara, yolu üzerindeki parçacıklardan kaynaklanan hiçbir saçılma etkisine uğramadan ulaşıyordu. Bu ışık bize geçmişe doğrudan bakan, hassas bir pencere sağlar.

1989 yılında fırlatılmış olup, dört yıllık bir görevi olan Kozmik Mikrodalga Ardalan Kâşifi (COBE) bu ardalan ışınımını son derece hassas bir şekilde ölçtü ve uydu görevinde çalışan bilim insanları ölçümlerinin tahminlerle 1000'de bir hassasiyetle örtüştüğünü buldular. Ama COBE yeni bir şey de ölçtü. COBE'nin bulduğu açık ara en ilginç şey, gökyüzündeki sıcaklıktaki minik bir farklılıktı. Her ne kadar evren son derece pürüzsüzse de, evrenin ilk dönemlerindeki 10.000'de birden daha düşük düzeydeki, minik türdeşsizlikler büyümüşlerdir. Bunlar yapıların gelişmesi için temel önemdeydi. Bu tür küçük türdeşsizlikler çok küçük uzaklık ölçeklerinden kaynaklanıyor olsalar da, astrofiziksel ölçüm ve yapılarla ilişkili boyutlara kadar gerilmişlerdi. Kütleçekim tedirgemelerin özellikle büyük olduğu daha yoğun bölgelerde daha

yoğunlaşarak şimdi gördüğümüz büyük kütleli cisimlerin oluşmasına neden oldu. Yıldızlar, galaksiler ve daha önce sözü edilen galaksi kümelerinin hepsi, başlangıçtaki bu minik kuantum dalgalanmalarının ve bunların kütleçekim kuvvetiyle birlikte evrim geçirmelerinin sonucudur.

Mikrodalga ardalan ölçümleri evrenin evrimini kavrayışımızdaki kritik yerini koruyor. Evrenin erken dönemlerine açılan bir pencere olarak önemi azımsanamaz. Çok daha yakın zamanlarda, daha geleneksel yöntemlerin yanı sıra CMB ölçümleri de kozmolojik şişme, kara madde ve kara enerji gibi birçok gizemli olayı kavrayışımızı geliştirmeye yönelik deneysel ipuçları sağlamıştır.

YİRMİNCİ BÖLÜM

SANA ÇOK BÜYÜK GÖRÜNEN BENİM İÇİN ÇOK KÜÇÜKTÜR

Ben MIT'de öğretim üyesiyken bölüm parçacık fizikçilerinin çalıştığı üçüncü kattaki ofis alanından taşmıştı. O nedenle komşu açık ofisi Alan Guth'un aynı zamanda kuramsal astronom ve kozmologların çalıştığı bir kat aşağıda bulunan ofisine doğru yeniden yerleştirdim. Her ne kadar Alan kariyerine parçacık fizikçisi olarak başlamışsa da, günümüzün en iyi kozmologlarından biri olarak bilinir. Ofisi taşırken parçacık fiziği ve kozmoloji arasındaki bazı bağlantıları keşfetmiştim. Ama böyle araştırmalara devam etmek, eğer komşunuz da sizin ilgi alanınızı paylaşıyorsa çok daha kolay oluyor; üstelik o komşunuz da sizin kadar dağınıksa, onun ofisine de kendinizi evinizde gibi hissediyorsunuz.

Birçok parçacık fizikçisi tek kattan ötesine dağılmış ve başka araştırma alanlarına da girmiş durumdadır. Biogen'in kurucu ortaklarından Wally Gilbert hayatına parçacık fizikçisi olarak başlamış ama daha sonra biyoloji ve Nobel ödülü aldığı kimya araştırmalarına yönelmiştir. O zamandan bu yana pek çok kimse de onun izinden gidiyor. Diğer taraftan, yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarımın çoğu parçacık fiziğini bırakıp Wall Street'te gelecekteki piyasalarda bahis oynayan brokerlara dönüştüler. Bu hareketi tam doğru zamanda yapmışlardı çünkü böyle bahisleri sınırlamak için hazırlanan yeni araçlar henüz yeni yeni geliştirilmeye başlamıştı. Biyolojiye geçişlerde bazı düşünce ve problemleri düzenleme yolları aynı kalırken mali piyasalara geçişte bazı yöntemler ve denklemler aynı kalıyordu. Ama parçacık fiziği ve kozmoloji arasındaki örtüşme elbette yukarıdaki her iki örnekten

de çok daha derin ve zengindi. Evrene farklı ölçeklerde yakından bakılması, en küçük ölçeklerdeki temel parçacıklarla en büyük ölçekteki evrenin kendisi arasındaki birçok bağlantıyı su yüzüne çıkardı. Sonuçta evren tanım olarak tektir ve içindeki her şeyi kapsar. İçeri doğru bakan parçacık fizikçileri maddenin özünde ne tür temel maddenin bulunduğunu sorarken dışarı bakan kozmologlar, orada bulunan her neyse, onun nasıl evrim geçirmiş olduğunu incelerler. Evrenin gizleri, en önemlisi de neden oluşmuş olduğu, hem kozmologların hem de parçacık fizikçilerinin ilgi alanıdır.

Bu her iki tür araştırmacı da temel yapıyı araştırır ve temel fizik yasalarını kullanırlar. Her biri, diğerinin bulduğu sonuçları da göz önüne almak zorundadır. Evrenin parçacık fizikçileri tarafından incelenen içeriği kozmologlar için de önemli bir araştırma alanıdır. Dahası, hem genel göreliliği hem de parçacık fiziğini birleştiren doğa yasaları, eğer her iki kuram da doğru ve aynı evrene uygulanıyorsa, olması gerektiği gibi, evrenin evrimini tarif ederler. Aynı zamanda evrenin bilinen evrimi, gözlenen tarihi alt üst etmekten kaçınmak için, maddenin özelliklerine sınırlamalar getirir. Evren bir anlamda ilk ve en büyük parçacık hızlandırıcısıydı. Evriminin ilk evrelerinde enerjiler ve sıcaklıklar çok yüksekti ve günümüzdeki hızlandırıcıların ulaştığı yüksek enerjiler bugün yeryüzünde o koşulları yaratmayı amaçlıyor.

İlgi alanlarının bu yakınlaşmasına son zamanlarda dikkat edilmesi, son derece verimli araştırmalara ve temel kavrayışlara yol açmış olup bu eğilimin süreceğini ümit ediyoruz. Bu bölümde üzerinde hem kozmologların hem de parçacık fizikçilerinin çalıştığı, kozmolojinin henüz yanıtlanmamış bazı büyük soruları ele alınıyor. Örtüşen alanların arasında kozmolojik şişme, kara madde ve kara enerji var. Bu olayların her birindeki anladığımız –ve araştırma açısından daha da önemlisi, anlamadığımız– yanları göz önüne alacağız.

KOZMOLOJİK ŞİŞME

Her ne kadar kuantum mekaniği ile kütleçekimi birleştiren, kapsamlı bir kurama gereksinmemiz olduğundan, en başta

evrende ne olup bittiğini henüz tam olarak söyleyemiyorsak da, büyük bir güvenle, oldukça erken dönemlerde (belki de evrenin evriminin 10^{-39}'uncu saniyesinde) *kozmolojik şişme* adı verilen bir olayın gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Evrenin ilk anlarında esas olarak dışarı doğru patladığını ileri süren bu senaryoyu ilk olarak 1980'de Alan Guth ortaya attı. İlginç olan şu ki, Guth başlangıçta parçacık fiziğinde, Büyük Birleşik Kuramların sonuçlarını kapsayan bir problemi çözmeye çalışıyordu. Parçacık geçmişi olduğundan, parçacık fizikçilerinin hesaplarda kullandığı, özel görelilikle kuantum mekaniğini birleştiren alan kuramının yöntemlerini deniyordu. Ama sonunda kozmoloji hakkındaki düşüncelerimizde devrim yapan bir kuram türetti. Şişmenin ne zaman ve nasıl ortaya çıktığı hâlâ spekülasyon konusudur. Ama evren bu patlayıcı şişme sırasında geride açık ve net izler bırakacaktı ki, bunların çoğu bugün bulunmuş durumdadır.

Standart Büyük Patlama senaryosunda, sakin ve sürekli bir biçimde büyürdü; örneğin yaşı dört katına çıktığında boyutu da iki katına çıkardı. Oysa bir şişme döneminde gökyüzünde bir bölge olağanüstü hızlı bir genişleme evresi geçirerek zamanla üstel olarak büyüdü. Evrenin boyutu sabit bir zamanda iki katına çıktı, sonra aynı zamanda tekrar iki katına çıktı. Bu katlanmalar, şişme dönemi sona erip evren günümüzdeki pürüzsüz görünümüne kavuşuncaya kadar, art arda en azından 90 kez tekrarlandı. Bu üstel şişme, örneğin, evrenin yaşı 60 kat arttığında boyutlarının trilyon kere trilyon kere trilyondan daha fazla büyüdüğü anlamına gelir. Şişme olmasaydı sadece 8 kat büyüyecekti. Bir anlamda şişme bizim küçükten büyüğe evrilme öykümüzün –en azından gözlemler yoluyla anlayabildiğimiz bölümün– başlangıcıdır. İlk baştaki devasa şişme genişlemesi evrenin madde ve ışınım içeriğini neredeyse sıfıra düşünceye kadar seyreltir. Bugün evrende gözlediğimiz her şey, bu nedenle şişmeden hemen sonra, şişme genişlemesini sürdüren enerjinin madde ve ışınıma dönüşmesinden sonra ortaya çıkmış olmalıdır. Zamanın bu noktasında konvansiyonel Büyük Patlama

evrimi devreye girdi ve evren bugün gördüğümüz dev yapıya ulaşıncaya kadar genişlemeye başladı.

Şişme patlamasına Standart Büyük Patlama kuramına göre evrenin evriminin habercisi olan "patlama" gözüyle bakabiliriz. Gerçekte bir başlangıç değildi –kuantum kütleçekimin oynadığı rolü bilmiyoruz– ama maddenin soğuduğu ve sonunda topaklanmanın başladığı, evrimin Büyük Patlama evresinin başladığı dönemdi.

Şişme aynı zamanda neden hiçbir şey yerine bir şeyler olduğu sorusunu da kısmen yanıtlar. Şişme sırasından depolanan devasa enerjinin bir bölümü maddeye dönüştü ($E = mc^2$ ile tutarlı olarak) ve günümüzde gördüğümüz şekline evrilen madde işte budur. Bu bölümün kapanışında göreceğimiz gibi, biz fizikçiler hâlâ evrende neden maddenin karşı-maddeden daha çok olduğunu öğrenmek istiyoruz. Ama bu sorunun yanıtı ne olursa olsun, bildiğimiz madde, kozmolojik şişme biter bitmez Büyük Patlama kuramı tahminlerine göre evrimine başladı.

Şişme bir aşağıdan yukarıya kuramı olarak çıkarıldı. Konvansiyonel Büyük patlamanın önemli problemlerini çözmüş olsa da, sadece birkaç kişi güncel modellerin nasıl ortaya çıktığıyla ilgilenir. Hiçbir inandırıcı yüksek enerji kuramı açıkça şişmeyi ima eder gibi görünmüyordu. Saygın bir model yapmak son derece zor olduğundan, birçok fizikçi (ben yüksek lisans öğrencisi iken Harvard'dakiler de dahil) düşüncenin doğruluğundan kuşku duyuyorlardı. Öte yandan, Rusya doğumlu bir fizikçi olup şimdi Stanford'da bulunan ve şişme üzerinde ilk çalışanlardan olan Andrei Linde, bunun doğru olması gerektiğini düşünüyordu, bunun en basit nedeni, hiç kimsenin şişmenin ele aldığı evrenin boyutu, şekli ve türdeşliğine ait bilmecelere başka bir çözüm bulamamış olmasıydı.

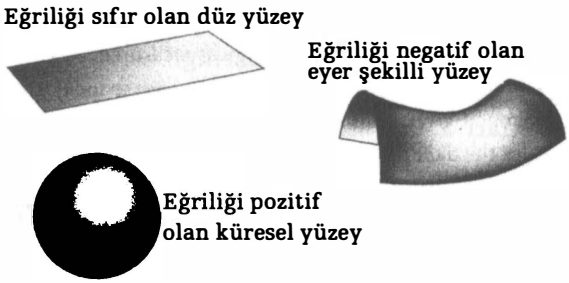
Şişme gerçeklik-güzellik bağlantısının –ya da bağlantısızlığının– ilginç bir örneğiydi. Evrenin üstel genişlemesi evrenin nasıl başladığına ilişkin birçok olayı hem çok güzel, hem de kısa ve öz şekilde açıklarken, doğal olarak üstel genişlemeye yol açan bir kuram arayışı, o kadar da hoş olmayan modeller ortaya çıkardı.

Bununla birlikte son dönemde çoğu fizikçi –her ne kadar modellerin çoğundan henüz tatmin olmamış olsalar da– şişmenin ya da şişmeye çok benzer bir olayın ortaya çıkmış olduğuna ikna oldu. Son birkaç yılda yapılan gözlemler Büyük Patlama kozmolojisinin öncesinde şişmenin yer aldığı görüşünü doğrulamıştır. Şimdi pek çok fizikçi Büyük Patlama evrimine ve şişmenin ortaya çıkmış olduğuna inanıyor çünkü bu kuramlara dayanan hesaplar etkileyici bir kesinlikle doğrulanmıştır. Şişmenin altında yatan gerçek model hâlâ yanıtlanmamış bir sorudur. Ama üstel genişlemeyi bu noktada destekleyen çok miktarda kanıt vardır.

Kozmolojik şişmenin bir tür kanıtı, önceki bölümde anlatılan kozmik mikrodalga ardalan ışınımının mükemmel türdeşlikten sapmalar göstermesiyle ilgilidir. Ardalan ışınımı bize sadece Büyük Patlamanın gerçekleştiğini değil, çok daha fazlasını söyler. Bunun güzelliği, esas olarak evrenin çok eski dönemlerdeki –yıldızların henüz oluşmaya zaman bulamadıkları kadar eski dönemlerdeki– fotoğrafı olduğu için, evrenin çok daha pürüzsüz olduğu zamanlardaki yapıların başlangıcına, geriye doğru bakmamıza olanak vermesidir. Kozmik mikrodalga ardalan (CMB) ölçümleriyle mükemmel homojenlikten minik sapmalar olduğunu da ortaya çıkarıldı. Şişme bunu öngörür çünkü kuantum mekaniksel dalgalanmalar şişmenin evrenin farklı bölgelerinde farklı zamanlarda bitmesine neden olmuş ve mutlak türdeşlikten küçük sapmalara neden olmuştur. Adını projeye öncülük eden Princetonlu fizikçi David Wilkinson'dan alan ve uydudan gözlem yapan Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası (WMAP) şişme tahminlerini öteki olasılıklardan ayırt eden ayrıntılı ölçümler yaptı. Şişmenin çok eskiden, çok yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkmış olduğu gerçeğine karşın, şişme kozmolojisine dayanan kuram yine de günümüzde gökyüzündeki ışınıma yazılmış olması gereken sıcaklık değişiklikleri örüntüsünün tam istatistiksel özelliklerini öngörür. WMAP sıcaklık ve enerji yoğunluğundaki homojenlikten küçük sapmaları, şimdiye kadar yapılmış olanlardan çok daha büyük bir hassaslıkla ve daha küçük açısal ölçeklerde ölç-

müş ve örüntünün şişme öngören beklentilerle örtüştüğünü bulmuştur.

Şişmenin WMAP'ın bize sağladığı asıl doğrulaması, evrenin uç derecede düz olmasıydı. Einstein uzayın bükülebileceğini söylüyordu (Eğri iki boyutlu yüzey örnekleri için *bkz.* Şekil 73). Eğrilik evrenin enerji yoğunluğuna bağlıdır. Şişme ilk ortaya atıldığında evrenin bunu gerektireceği biliniyordu ama ölçümler, evrenin eğriliğinin düzelip açılacağı kadar genişleyeceğini öngören şişme tahminlerini sınayamayacak kadar kabaydı. Mikrodalga ardalan ölçümleri artık evrenin yüzde bir düzeyinde düz olduğunu göstermiştir ki bunu da temel bir fiziksel açıklama olmadan anlamak son derece zordur.



ŞEKİL 73 İki boyutlu yüzeylerde sıfır, pozitif ve negatif eğrilikler. Evren de eğri olabilir ama dört boyutlu uzayzamanda bunu çizerek göstermek zordur.

Evrenin düz oluşu şişme kozmolojisi için devasa bir zafer oldu. Eğer doğru olmasaydı, şişme saf dışı kalacaktı. WMAP ölçümleri de bilimin bir zaferidir. Kuramcılar bize sonunda evrenin geometrisini bildirecek olan mikrodalga ardalanının ayrıntılı ölçümlerini ilk kez önerdiklerinde, herkes bunun ancak bilimsel çevrelerin ele alabileceği kadar ilginç olduğunu, ama yakın zamanda gerçekleştirilemeyecek kadar da zor olduğunu düşünüyordu. On yıl içinde, gözlemsel kozmologlar bütün beklentilerle çelişecek şekilde bütün gerekli ölçümleri yaptılar ve bize evrenin nasıl evrildiğine ilişkin olağanüstü bir kavrayış kazandırdılar. WMAP hâlâ yeni so-

nuçlar elde ediyor ve uzaydaki sıcaklık değişimlerinin ayrıntılı ölçümlerini yapıyor. Bugün çalışmakta olan Planck uydusu bu dalgalanmaları daha da hassas bir şekilde ölçüyor. CMB ölçümleri evrenin ilk dönemlerini anlamamız için en önemli kaynak olduğu kanıtlandı ve böyle olmaya devam edecek gibi de duruyor.

Uzayda kalmış olan kozmik ışınımın son yıllardaki ayrıntılı incelenmesi, evren ve evrimi konularındaki nitel bilgilerimizde devasa sıçramalara yol açtı. Işınımın ayrıntıları çevremizdeki madde ve enerji konusunda zengin bilgiler sağladı. Işığın bize doğru yola ilk çıktığı andaki koşulları bildirmesine ek olarak, CMB bize ışığın içinden geçmesi gereken evrenin kendisi hakkında da bilgi verir. Eğer evren bu son 13,75 milyar yılda değişmiş olsaydı veya enerjisi beklenenden farklı olsaydı, genel görelilik bize ışığın izlediği yolun ve sonuçta ölçülen ışınımın ölçülen özelliklerini etkilemiş olacağını belirtir. Evrenin günümüzdeki enerji içeriğinin çok hassas bir sondası olduğundan, mikrodalga ardalanı evrende ne bulunduğu konusunda bilgi verir. Bu, ele alacağımız kara madde ve kara enerjiyi de kapsar.

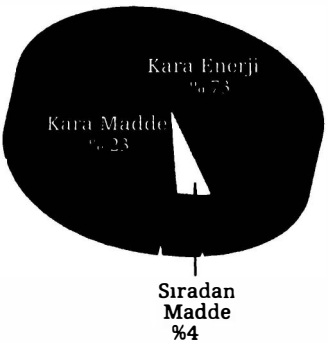
KARANLIĞIN KALBİ

Şişme kuramını başarıyla doğrulamasına ek olarak CMB ölçümleri, şimdi kozmolog, astronom ve parçacık fizikçilerinin ele almak istedikleri birkaç önemli sır da ortaya koydu. Şişme bize evrenin düz olması gerektiğini bildirir ama düz olması için gerekli olan enerjinin şimdi nerede olduğunu söylemez. Buna karşın, Einstein'ın genel görelilik denklemlerine dayanarak, evrenin bugün düz olması için gereken enerjiyi hesaplayabiliriz. Anlaşılan o ki, görülen madde gerekli olan enerjinin sadece yüzde dördünü sağlıyor.

Yeni bir şeyin gerekli olduğunu gösteren ek bir bilmece, COBE'nin ölçtüğü sıcaklık ve yoğunluk dalgalanmalarının küçüklüğüyle ilgilidir. Sadece görülür madde ve böyle küçük tedirgenmelerle evren, bu tedirgenmelerin yeterince büyüyerek yapıları oluşturacağı kadar uzun ömürlü olmazdı. Ölçülen dalgalanmaların küçüklüğüyle birlikte galaksilerin

ve galaksi kümelerinin varlığı, hiç kimsenin şimdiye kadar doğrudan göremediği maddenin varlığını işaret ediyor.

Aslında bilim insanları COBE'nin mikrodalga sonuçlarından çok önce de kara madde olarak bilinen yeni bir tür maddenin var olması gerektiğini zaten biliyorlardı. Yakında göreceğimiz diğer gözlemler görülemeyen maddenin var olması gerektiğini zaten göstermişti. Kara madde olarak bilinen bu gizemli şey kütleçekim kuvvetleri uygular ama ışıkla etkileşmez. Işık yaymadığı ve soğurmadığı için görülmezdir; kara değildir. Kara madde (bu terimi kullanmaya devam edeceğiz) şimdiye kadar kütleçekim etkisi ve çok zayıf etkileşmesi dışında çok az tanımlayıcı, somut özellik gösterir.



ŞEKİL 74 Evrenin yapısında bulunan görülür madde, kara madde ve kara enerjinin göreli miktarlarını gösteren grafik.

Dahası, kütleçekim etkileri ve ölçümler, kara enerji olarak bilinen, kara maddeden daha da gizemli bir şeyin varlığını gösteriyor. Bu, evreni kaplayan enerji olup, sıradan madde gibi topaklanmaz veya genişlediğinde seyrelmez. Şişmeden önceki enerji gibidir ama bugünkü yoğunluğu, o zamanlardakinden çok daha küçüktür.

Her ne kadar günümüzde kozmolojinin, kuramlar ve gözlemlerin, fikirlerin kesinlikle sınanmasına olanak verdiği bir aşamaya ulaşmış olduğu, Rönesans döneminde yaşıyorsak da, aynı zamanda karanlık çağlarda yaşıyoruz. Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi, evrenin enerjisinin yüzde 23'ü kara madde tarafından, yaklaşık yüzde 73'ü ise gizemli kara enerji tarafından taşınır (Şekil 74).

Fizikte bir şeylerin "kara" olarak adlandırıldığı dönem 1800'lerin ortalarıydı; Fransız Urbain Jean Joseph Le Verrier adını Vulcan koyduğu, görülemeyen, kara bir gezegenin varlığını ileri sürmüştü. Le Verrier'nin amacı Merkür gezegeninin yörüngesindeki tuhaflıkları açıklamaktı. İngiliz John C. Adams'la birlikte Le Verrier daha önce Uranüs gezegeninin yörüngesindeki etkilere bakarak Neptün'ün var olduğu sonucuna varmıştı. Ama Merkür konusunda yanıldı. Merkür'ün yörüngesindeki tuhaflığın nedeninin bir başka gezegenin varlığından daha radikal olduğu ortaya çıktı. Açıklama yalnızca Einstein'ın görelilik kuramıyla bulunabilirdi. Genel görelilik kuramının doğru olduğunun ilk kanıtı, Einstein'ın bu kuramı kullanarak Merkür'ün yörüngesini çok büyük bir hassasiyetle hesaplayabilmiş olmasıydı.

Kara madde ve kara enerjinin bilinen kuramların sonucu olduğu ortaya çıkabilir. Ama evrenin bu kayıp elemanlarının benzer, önemli bir paradigma değişimine işaret ediyor da olabilirler. Bu seçeneklerden hangisinin kara madde ve kara enerji problemlerini çözeceğini de yalnızca zaman gösterecektir.

Böyle olsa bile, kara maddenin şu anda bildiğimiz türden fizik yasalarıyla tutarlı, çok daha konvansiyonel bir açıklaması olma olasılığının da çok yüksek olduğunu söyleyebilirim. Sonuçta özgün madde bugün bildiklerimize benzeyen kuvvet yasalarıyla uyumlu şekilde davranıyor olsa bile, neden maddenin tamamı bildiğimiz madde gibi davranmak zorunda olsun ki? Ya da kısa ve öz bir şekilde sorarsak, neden tüm madde ışıkla etkileşmek zorunda olsun? Eğer bilim tarihi bize bir şeyler öğrettiyse, gördüklerimizin, görülebileceklerin tamamı olduğuna inanmak dar görüşlülüktür.

Pek çok kimse farklı düşünüyor. Kara maddenin varlığını çok gizemli buluyorlar ve maddenin çoğunun –gördüklerimizin yaklaşık altı katının– nasıl olup da konvansiyonel teleskoplarımızla görülememesinin mümkün olabileceğini soruyorlar. Hatta bazıları kara maddenin gerçekten bir tür hata olduğundan kuşkulanıyorlar. Kişisel olarak ben, bunun tam tersini düşünüyorum (ama itiraf etmeliyim ki bütün fizikçi-

ler böyle düşünmüyor). Kim bilir, belki de eğer gözlerimizle gördüğümüz madde, var olan maddenin tamamı olsaydı, bu daha gizemli olabilirdi. Neden duyularımız her şeyi doğrudan algılayacak kadar mükemmel olsun ki? Tekrar etmek gerekirse, fiziğin yüzyıllardır bize öğrettiği şey, ne kadar çok şeyin gözlerden saklı kalabileceğidir. Bu perspektiften bakıldığında, bildiğimiz maddenin, neden bütün maddenin enerjisinin 1/6'sını oluşturduğu gizemlidir, bu durum görünüşe göre benim ve meslektaşlarımın anlamaya çalıştığı bir rastlantıdır.

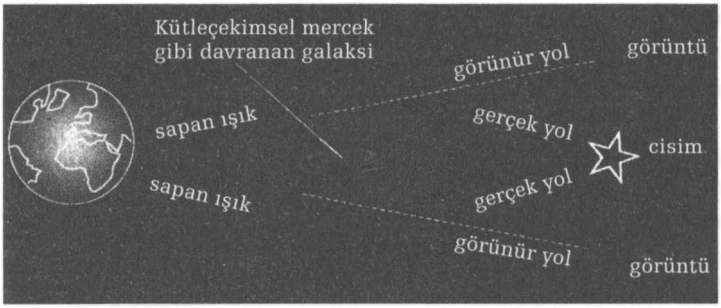
Kara maddenin bazı özelliklerinin olması gerektiğini biliyoruz. Doğrudan "görmüyor" olsak da, kara maddenin kütleçekimsel etkilerini saptıyoruz. Kara maddenin var olduğunu, evrendeki kütleçekimsel etkilerinin ayrıntılı gözlemlerinden biliyoruz. Bu tür maddenin varlığı konusundaki ilk ipucu, galaksi kümelerindeki yıldızların dönme hızlarından geldi. 1933'te Fritz Zwicky, galaksi kümelerindeki galaksilerin yörünge hızlarının yalnızca görülebilen kütleyle açıklanamayacak kadar büyük olduğunu buldu, çok geçmeden Jan Oort da Samanyolunda benzer bir durumun olduğunu keşfetti. Zwicky kendi çalışmasının sonucunda, hiç kimsenin doğrudan göremediği, kara maddenin varlığını ileri sürme konusunda ikna oldu. Ama bu gözlemlerden hiçbiri sonuç alıcı türden değildi. Hatalı bir ölçüm veya başka bazı galaksi dinamikleri, sadece ek kütleçekimsel kuvvet yaratmak için icat edilmiş, görülemeyen maddeden çok daha mantıklı görünüyordu.

Zwicky'nin bu ölçümleri yaptığı yıllarda çözünürlük, tek tek yıldızları görmek için yeterli değildi. Kara madde konusundaki sağlam kanıtların çoğu, 1960'ların sonu ve 1970'lerin başında, galaksilerde dolanan yıldızların ayrıntılı ölçümlerini yapan, gözlemsel bir astronom olan Vera Rubin'den geldi. Başlangıçta bir galakside dolanan yıldızların "can sıkıcı" bir incelemesi gibi görünen bu çalışma –ki Vera, o zamanın astronomi etkinlikleri arasında en az "çiğnenmiş" alanlardan biri olduğu için bu çalışmalara dönmüştü– evrendeki kara maddenin varlığı konusunda sağlam kanıtlar ortaya

koymuştu. Rubin'in Kent Ford'la birlikte yaptığı gözlemler, Zwicky'nin yıllar önce ulaştığı sonuçların doğruluğunu su götürmez bir biçimde kanıtlıyordu.

Bir insanın teleskopla bakarak kara olan bir şeyi nasıl gördüğünü merak ediyor olabilirsiniz. Bunun yanıtı, kütleçekimsel etkilerini görüyor olmanızdır. Bir galaksinin, yıldızlarının hangi hızlarla dolandığı gibi özellikleri, ne kadar madde içerdiğine bağlıdır. Sadece görülebilir maddeyle galaksiden çok uzakta olan yıldızların, galaksinin kütleçekiminden fazla etkilenmemeleri gerektiği beklenebilir. Ama ışık veren merkezi maddeden on kat uzaktaki yıldızlar da galaksinin merkezine daha yakın olan yıldızlarla aynı hızla dolanıyorlardı. Bu durum, kütle yoğunluğunun uzaklıkla, en azından ışık veren merkezi maddeden on kat daha büyük uzaklıklara kadar azalmadığını ifade ediyordu. Astronomlar galaksilerin ağırlıklı olarak görülemeyen, kara maddeden oluştuğu sonucuna vardılar. Gördüğümüz, ışık saçan maddenin önemli bir miktarda olmasına karşın, galaksinin çoğu, en azından kelimenin normal anlamında, görülemez.

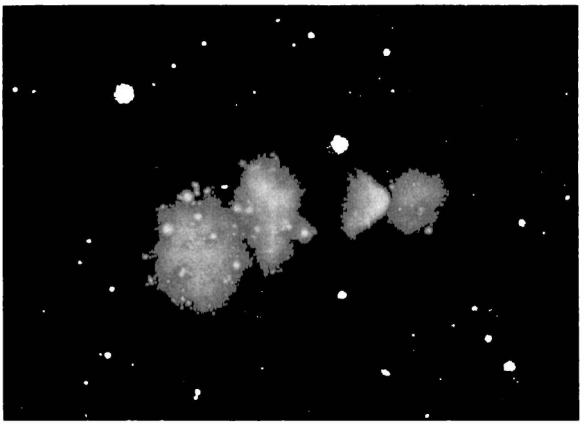
Artık kara maddenin varlığı konusunda çok miktarda tamamlayıcı nitelikte, başka kanıtlarımız var. En doğrudan kanıtların bazıları, Şekil 75'te gösterilen mercek etkisinden gelir. Mercek etkisi, ışık büyük kütleli bir cismin yakınından geçerken ortaya çıkan bir olaydır. O cismin kendisi ışık yaymıyor olsa bile, kütleçekim uygular. Ve bu kütleçekim kuvveti, arkadaki karanlık olmayan bir cismin (bizim baktığımız yerden göründüğü gibi) yaydığı ışığın bükülmesine neden olur. Işık, karanlık cismin etrafından dolandığı yola bağlı olarak farklı yönlere doğru büküleceğinden ve biz otomatik olarak doğrusal ışık ışınlarının izdüşümlerini aldığımızdan, bu mercek etkisiyle gökyüzündeki özgün, parlak cismin çoklu görüntüleri oluşabilir. Bu çoklu görüntü, karanlık cismi "görmemizi" ya da en azından gözlenen ışığı bükmek için gerekli olan kütleçekimi hesaplayarak varlığını ve özelliklerini çıkarsamamızı sağlar.



ŞEKİL 75 Büyük kütleli bir cismin yanından geçen ışık bükülebilir ve gözlemcinin baktığı yerden özgün cismin çoklu görüntüsü yaratılmış gibi görünür.

Kara maddenin günümüze kadar elde edilen ve böyle olayları açıklayan, değiştirilmiş kütleçekim kuramından çok daha kuvvetli, belki de en kuvvetli kanıtı, iki galaksi kümesinin çarpışmakta olduğu *Bullet (Mermi) kümesi*'nden gelir (Şekil 76). Çarpışma, kümelerin yıldızlar, gaz ve kara madde içerdiğini gösterir. Kümedeki sıcak gaz, çok kuvvetli etkileşir, o kadar kuvvetli ki, gaz merkezdeki çarpışma bölgesinde yoğunlaşmış olarak kalır. Öte yandan kara madde etkileşmez; en azından çok fazla etkileşmez. O nedenle kara madde içeriden geçip gider. Mercek etkisi ölçümleri kara maddenin gerçekten sıcak maddeden; zayıf bir şekilde etkileşen kara ve kuvvetli bir şekilde etkileşen bildiğimiz madde modelinin ifade ettiği şekilde ayrıldığını göstermektedir.

Kara maddenin varlığı konusunda daha önce tartıştığımız kozmik mikrodalga ardalanından gelen, başka kanıtlarımız da var. Mercek etkisinden farklı olarak, ışınım ölçümleri bize kara maddenin dağılımı konusunda pek bir şey söylemez. Buna karşılık, bize kara madde tarafından taşınan net enerji içeriğini, yani taşıdığı enerjinin kozmik pastada ne büyüklükte bir dilim oluşturduğunu belirtir.



ŞEKİL 76 Bullet kümesi, galaksi kümelerinin kara madde içerdiğini ve dinamiklerinin değiştirilmiş kütleçekim yasalarıyla açıklanmasının olası olmadığını gösterir. Bunun nedeni, iki küme çarpıştığında ortada hapsedilmiş olan, daha kuvvetli etkileşen, bildiğimiz maddeyle çok zayıf etkileşmekte olup mercek etkisiyle belirlenen ve görünüşe göre aradan geçip gitmekte olan kara maddenin birbirinden ayrıldığını görüyor olmamızdır.

CMB ölçümleri bize evrenin erken dönemleri hakkında çok fazla şey söyler ve bu dönemin özellikleri konusunda ayrıntılı bilgi verir. Bu ölçümler sadece kara maddenin göstergesi değildir. Aynı zamanda onlar kara enerjinin varlığını da desteklerler. Einstein'ın genel görelilik denklemlerine göre, evren yalnızca doğru enerji miktarıyla düz olabilir. Madde, kara madde dikkate alındığında bile, WMAP ve balonlarla uçurulan dedektörlerin ölçtüğü düzlüğü açıklamaya yetmez. Başka enerji de var olmalıdır. Üç boyutlu uzayda ölçülebilir bir eğrilik olmadığı dikkate alındığında, kara enerji evrenin düzlüğünü açıklayabilmenin, bugüne kadar yapılan bütün diğer ölçümlerle örtüşen tek yoludur.

Evrendeki enerjinin en önemli kısmını –yaklaşık yüzde 70– taşıyan kara enerji, kara maddeden çok daha gizemli ve kafa karıştırıcıdır. Fizik camiasını kara enerjinin varlığı konusunda ikna eden kanıt, şu anda evrenin genişlemesinin, tıpkı eski dönemlerdeki şişme gibi ama ondan çok daha

küçük bir oranda ivmeleniyor olduğunun keşfidir. 1990'ların sonlarında Süpernova Kozmoloji Projesi ve Yüksek-z Süpernova Ekibi adlı birbirinden bağımsız iki araştırma ekibi evrenin genişleme hızının artık azalmadığını, tam tersine arttığını keşfederek fizik camiasını şaşkınlığa uğratmışlardı.

Süpernova ölçümlerinden önce de birkaç ipucu eksik enerjinin varlığına işaret etmekle birlikte kanıtlar zayıftı. Ancak 1990'lardaki dikkatli ölçümler uzaktaki süpernovaların beklendiğinden daha sönük olduğunu gösterdi. Bu özel tür süpernovaların salımları büyük ölçüde birörnek ve öngörülebilir olduğundan, bu durum sadece yeni bir şeyle açıklanabilirdi. Ve bu yeni şey de, evrenin giderek ivmelenen genişleme hızı gibi görünüyor; yani evren giderek daha büyük bir hızla genişliyor.

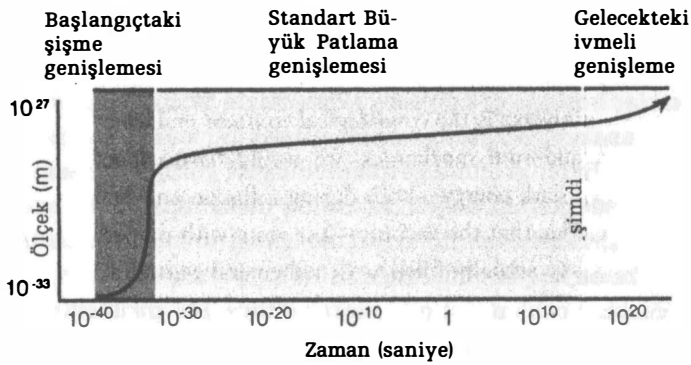
Bu ivme, kütleçekimi evrenin genişlemesini yavaşlatacak olan, bildiğimiz maddeden kaynaklanıyor olamaz. Tek açıklama evrenin, şişme dönemindeki gibi davranmakla birlikte, çok eskilerdeki şişme evresi sırasında olduğundan çok daha az enerjiyle genişliyor olmasıdır. Bu ivmelenme sadece Einstein'ın varsaydığı kozmoloji sabitine benzer bir şeyden ya da bilindiği adıyla kara enerjiden kaynaklanıyor olabilir.

Maddeden farklı olarak kara enerji, bulunduğu çevreye negatif basınç uygular. Sıradan, pozitif basınç içeriye doğru çökmenin lehineyken, negatif basınç ivmelenen genişlemeye yol açar.[1] Şimdiye kadar yapılan ölçümlerle örtüşen negatif basınç için en açık aday, evreni dolduran ama madde tarafından taşınmayan bir enerji ve basıncı temsil eden Einstein'ın kozmoloji sabitidir. Kara enerji, kozmoloji sabiti ile enerji ve basınç arasındaki ilişkinin tam doğru değil de, yaklaşık olması olasılığına yer açmak için şimdi kullandığımız daha genel bir terimdir.

Bugün kara enerji evrenin enerjisinin hâkim bileşenidir. Kara enerji yoğunluğu miktarının olağanüstü küçük gibi durduğundan, bu son derece dikkat çekicidir. Kara enerji egemenliğini son birkaç milyon yılda kurmuştur. Evrenin

[1] Bu noktanın daha kapsamlı bir incelemesi için ***Bkz.***, Alan Guth, ***The Inflationary Universe*** (Perseus Books, 1997)

evriminin daha erken dönemlerinde önce ışınım ve daha sonra madde egemen olmuştu. Ancak evrenin giderek artan hacmi üzerinden paylaşılan ışınım ve madde seyreldi. Öte yandan karanlık enerji yoğunluğu, evren büyümesine karşın sabit kaldı. Ama evren var olduğu sürece ışınım ve maddenin enerji yoğunluğu o kadar müthiş bir hızla azaldı ki, yok olmayan karanlık enerji sonunda hâkim oldu. Karanlık enerji, olağanüstü küçük boyutuna karşın, sonunda kazanmaya mahkûmdu. Giderek hızını yitiren 10 milyar yıllık genişlemeden sonra, karanlık enerjinin etkisi sonunda hissedildi ve evrenin genişlemesi hızlandı. Sonunda evrenin içinde boşluk enerjisinden başka hiçbir şey kalmayacak ve genişlemesi de bu doğrultuda hızlanacaktır (Şekil 77). Bu mütevazı enerji dünyaya miras kalmaz ama süreç içinde evrene miras kalacaktır.



ŞEKİL 77 Evren zaman içinde farklı genişlemiştir. Şişme evresinde çabucak üstel genişledi. Şişme bittikten sonra Büyük Patlama genişlemesi başladı. Şimdi de kara enerji genişlemeyi ivmelendiriyor.

ÖTEDEKİ SIRLAR

Kara enerji ve kara madde gerekliliği bize evrenin evrimini kavrayışımız konusunda kozmoloji kuramıyla kozmoloji verileri arasındaki inanılmaz uyumun ima ettiği kadar kendini beğenmiş olamayacağımızı bildirir. Evrenin çoğu ne olduğu hâlâ belirsiz olan şeylerdir. Bundan yirmi yıl sonra insanlar bizim cehaletimize gülüyor olabilirler.

Ve bunlar evrenin enerjisinin neden olduğu bilmecelerin tek örneği değildir. Özellikle kara enerjinin değeri aslında çok daha büyük bir sırrın kuyruğunun ucudur: evreni kaplayan enerji neden bu kadar azdır? Kara enerjinin miktarı daha fazla olsaydı, evrenin evriminde madde ve ışınıma karşı egemenliğini kurması çok daha önce olurdu ve yapılar (ve yaşam) ortaya çıkacak zamanı bulamayabilirdi. Üstüne üstlük, erken dönemlerde şişmeyi tetikleyen ve sürdüren şeyin ne olduğunu hiç kimse bilmiyor. Ama evrenin enerjisiyle ilgili en büyük problem *kozmoloji sabiti problemi*dir.

Kuantum mekaniğine göre kara enerjinin miktarı hem şişme döneminde, hem de şimdi çok daha yüksek bir değerde olmalıydı. Kuantum mekaniği bize boşluğun –kalıcı hiçbir parçacığın olmadığı durum– aslında birden ortaya çıkıp yok olan, geçici parçacıklarla dolu olduğunu söyler. Bu kısa ömürlü parçacıkların enerjilerinin herhangi bir değeri olabilir. Bazen o kadar yüksek enerjilere sahip olabilirler ki, artık kütleçekim etkileri göz ardı edilemez. Bu yüksek enerjili parçacıklar boşluğa çok yüksek, evrenimizin uzun süren evriminin olanak vereceğinden daha yüksek bir enerji katkısında bulunur. Evrenin şimdi gördüğümüz gibi görünebilmesi için, boşluk enerjisinin değeri, kuantum mekaniğine göre beklememiz gereken enerjiden şaşırtıcı miktarda, 120 mertebe (10^{120}) daha küçük olmalıdır.

Ve bu problemle ilgili olarak ötede bir problem daha vardır. Acaba neden madde, kara madde ve kara enerji yoğunluklarının karşılaştırılabilir olduğu bir zamanda yaşıyoruz? Elbette kara enerjinin maddeye üstünlüğü vardır ama bu üstünlük üç kattan daha azdır. İlke olarak bu enerjilerin tümüyle farklı kaynakları olduğunu ve bunlardan herhangi birinin diğerlerini bastırabileceğini düşünürsek, yoğunlukların birbirine bu kadar yakın olması çok gizemli görünüyor. Bu rastlantının tuhaflığı özellikle dikkat çekicidir çünkü bu rastlantı sadece (kabaca konuşursak) bizim yaşadığımız çağda geçerlidir. Evrenin erken dönemlerinde, kara enerji bütünün çok daha küçük bir kesrini oluşturuyordu. Ve gelecekte de çok daha büyük bir kesrini oluşturacak. Yalnızca

günümüzde bu üç bileşen, yani madde, kara madde ve kara enerji karşılaştırılabilir düzeylerdedir.

Enerji yoğunluğunun neden bu kadar, olağandışı derecede düşük olduğu ve neden bu farklı enerji kaynaklarının günümüzde benzer miktarlarda katkı yaptığı soruları hiçbir şekilde yanıtlanmamıştır. Aslında, bazı fizikçiler doğru bir açıklama olmadığına inanıyorlar. Onlara göre daha yüksek herhangi bir değer, evrende galaksilerin, diğer yapıların ve elbette bizim ortaya çıkmasını önleyeceği için, boşluk enerjisinin o kadar olanaksız bir değere sahip olduğu bir evrende yaşıyoruz. Kozmoloji sabitinin daha büyük bir değere sahip olduğu herhangi bir evrende, bu enerji değerini sorgulamak üzere bulunamazdık. Bu fizikçiler birçok evren olduğunu ve bu evrenlerden her birinde kara enerji değerinin farklı olduğuna inanıyorlar. Olası birçok evrenin içinden sadece yapı oluşturabilecek olanlarda bulunma olasılığımız vardır. Bu evrende enerjinin değeri gülünç derecede düşüktür ancak biz de sadece bu kadar küçük bir değere sahip olan bir evrende var olabiliriz. Bu düşünüş şekli, On Sekizinci Bölümde gördüğümüz *antropik ilke*dir. Orada da söylediğim gibi, ben ikna olmuş değilim. Buna karşın ne benim ne de bir başkasının elinde daha iyi bir yanıt var. Kara enerjinin değerinin açıklaması belki de parçacık fizikçileri ve astrofizikçilerin günümüzde karşı karşıya oldukları en büyük problemdir.

Enerji hakkındaki bilmecelere ek olarak, madde hakkında bir bilmece daha var: Evrende neden madde var? Denklemler madde ve karşı-maddeye eşit davranıyor. Birbirlerini bulduklarında karşılıklı olarak yok oluyorlar. Evren soğuduğunda ne madde kalmalı ne de karşı-madde.

Kara madde çok fazla etkileşmediği için ortalıkta bulunurken bildiğimiz madde yeğin nükleer kuvvet aracılığıyla güçlü bir biçimde etkileşir. Eğer Standart Modele egzotik bir ek yapılmasaydı, evren günümüzdeki sıcaklıklara düştüğünde bildiğimiz maddenin neredeyse tamamı yok olurdu. Geriye madde kalmasının tek nedeni, maddenin karşı-maddeye üstünlüğünün olmasıdır. Bu kuramlarınızın en basit sürümlerine bile entegre edilmemiştir. Protonların var olmasının

ancak onunla karşılıklı olarak yok olacak olan karşı-protonların bulunmamasının nedenlerini bulmak zorundayız. Bu madde/karşı-madde asimetrisi bir yerden geliyor olmalı.

Geriye kalan madde miktarı kara maddeden daha azdır ama yine de evrenin önemli bir kısmını oluşturur, bildiğimiz ve sevdiğimiz her şeyin kaynağından söz etmiyorum bile. Bu madde/karşı-madde asimetrisinin nasıl ve ne zaman ortaya çıktığı sorusu, parçacık fizikçisi ve astrofizikçilerin çok uğraşmak istedikleri bir başka önemli sorudur.

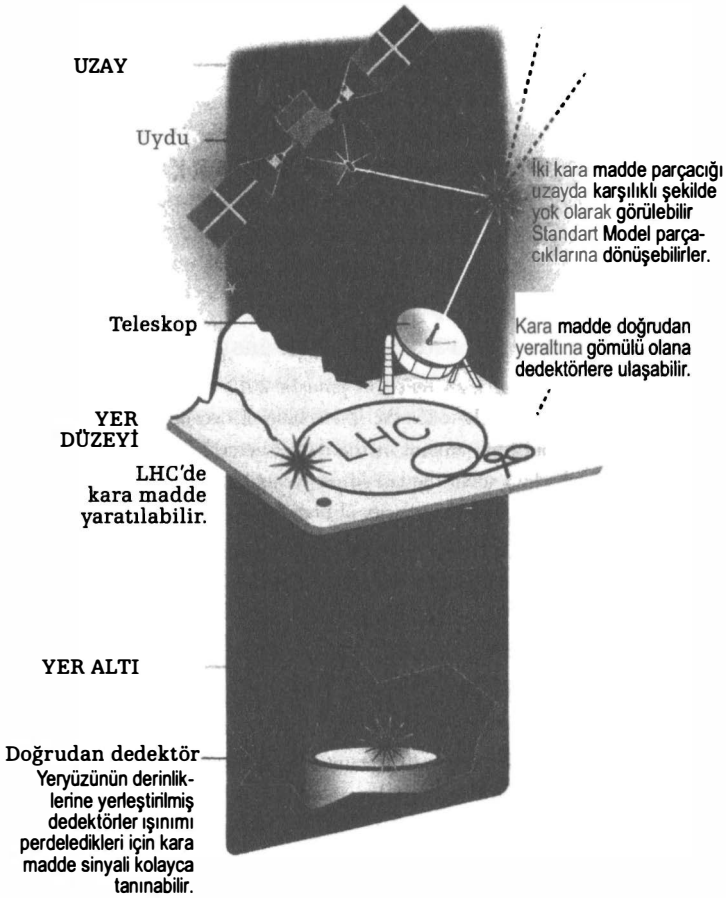
Elbette kara maddeyi neyin oluşturduğu da kritik olarak kalmayı sürdürüyor. Sonunda belki de, son dönemdeki araştırmaların ortaya koyduğu gibi, temel modelin, kara madde yoğunluğunu normal maddeninkine bağladığını bulacağız. Ne olursa olsun, yakında deneylerden kara madde konusunda çok daha fazla şey öğrenmeyi umuyoruz. Şimdi bunlara bir göz atacağız.

YİRMİ BİRİNCİ BÖLÜM

KARANLIK TARAFTAN ZİYARETÇİLER

LHC'nin başmühendisi Lyn Evans 2010 Ocak ayında California'daki LHC/ Kara Madde Konferansında yaptığı konuşmayı, dinleyicilere takılarak nasıl son yirmi-otuz yıldır "Siz kuramcılar karanlık tarafa postu sermiş durumdasınız." dendiğini söyleyerek noktaladı. Şu uyarıyı da ekledi: "Şimdi neden son on beş yılımı LHC'yi yapmakla geçirdiğimi anlıyorum." Lyn'ın yorumları daha önceki yıllardaki yüksek enerji verilerinin yetersizliğine gönderme yapıyordu. Ama bunlar aynı zamanda LHC'de elde edilen verilerin kara maddeye ışık tutabileceği olasılığının da ipuçlarıydı.

Parçacık fiziği ile kozmoloji arasında birçok bağlantı vardır ama en çok merak uyandıranlarından biri, kara maddenin aslında LHC'nin araştırdığı enerjilerde ortaya çıkabileceğidir. Dikkat çekici gerçek şudur ki, eğer zayıf ölçek kütleli, kararlı bir parçacık türü varsa, evrenin ilk dönemlerinden günümüze kadar yaşayan bu türden parçacıklar tarafından taşınan enerji miktarı, kara maddeyi açıklamaya yeterlidir. Başlangıçta sıcak olan, ama soğuyan bir evrende geriye kalan kara maddenin miktarı hakkındaki hesapların sonuçları durumun böyle olabileceğini gösteriyor. Bu ise kara maddenin, deyim yerindeyse burnumuzun dibinde olmakla kalmayıp, kimliği de böyle olduğunu kanıtlayabilir. Eğer kara madde gerçekten böyle zayıf kütleli parçacıklardan oluşuyorsa, LHC bize sadece parçacık fiziği sorularına ilişkin kavrayış kazandırmaz, evrende neler bulunduğu ve her şeyin nasıl başladığı konularında da ipuçları verir. Bu sorular kozmolojinin sorularıdır.



ŞEKİL 78 Kara madde araştırmaları üç yollu bir yaklaşımla yapılır. Yeraltı dedektörlerinde doğrudan hedef çekirdeklere çarpan kara madde araştırılır. LHC, deneysel aletlerde kanıt olarak iz bırakan kara madde üretebilir. Ve uydular ya da teleskoplar da birbirini yok ederek uzayda görülebilir madde üreten kara madde konusunda kanıtlar bulabilir.

Fakat LHC deneyleri kara maddeyi aramanın tek yolu değildir. Gerçek şudur ki fizik artık sadece parçacık fiziğinde değil, astronomi ve kozmolojide de potansiyel olarak heyecan verici bir veriler çağına girmiştir. Bu bölümde gelecek

on yılda deneylerin kara maddeyi nasıl üç yollu bir yaklaşım kullanarak araştıracağını açıklıyor. Önce neden zayıf ölçek kütleli kara madde parçacıklarının avantajlı oldukları araştırılıyor, daha sonra eğer bu önerme doğru ise, LHC'de nasıl kara madde parçacıklarının üretilebileceği ve tanınabileceği sorgulanıyor. Daha sonra kara madde parçacıklarını aramak üzere özel olarak tasarlanmış deneylerle bu parçacıkların yeryüzüne ulaşmaları ve girdikleri zayıf ama potansiyel olarak ölçülebilir etkileşmelerinin nasıl araştırılabileceğini ele alacağız. Son olarak, yerdeki ve uzaydaki teleskopların ve dedektörlerin gökyüzünde birbirlerini yok eden bu kara madde parçacıklarının ürünlerini arama yollarını ele alacağız. Kara maddeyi aramanın bu üç farklı yolu Şekil 78'de gösteriliyor.

SAYDAM MADDE

Kara maddenin yoğunluğunu, soğuk olduğunu (yani ışık hızına göre daha yavaş hareket ettiğini) ve son derece zayıf etkileştiğini –elbette ışıkla önemli bir etkileşimde bulunmadığını– biliyoruz. Ve işte hepsi bu. Kara madde saydamdır. Kütlesini, herhangi bir kütleçekim etkileşimi olup olmadığını ve evrenin erken dönemlerinde nasıl yaratıldığını bilmiyoruz. Ortalama yoğunluğunu biliyoruz ama bizim galaksimizde her santimetreküpte bir proton kütlesi olabilir veya evrenin her kilometreküpüne dağılmış olan sıkı cisimlerde bunun bin trilyon katı proton kütlesi depolanmış olabilir. Her ikisi de aynı ortalama yoğunluğu verir ve her ikisi de yapıların oluşumunu başlatmış olabilir.

O nedenle, orada olduğunu bilmekle birlikte henüz kara maddenin doğasını bilmiyoruz. Küçük kara delikler ya da başka boyutlardan cisimler olabilirler. Büyük olasılıkla bilinen Standart Model etkileşmelerine sahip olmayan, yeni bir temel parçacık olabileceği gibi, belki de yakında keşfedilecek olan bir fizik kuramının zayıf kütle ölçeğinde ortaya çıkan, kararlı bir doğal kalıntısı olabilir. Eğer durum böyle olsa bile, kara madde parçacığının özelliklerini –kütlesini, etkileşmelerini ve daha büyük bir yeni parçacıklar sektörünün bir parçası olup olmadığını– bilmek isteriz.

Temel parçacık yorumunun günümüzde öne çıkmasının nedenlerinden biri, yukarıda kısaca değindiğimiz noktanın –kara maddenin bolluğu, taşıdığı enerji kesri– bu hipotezi desteklemesidir. Şaşırtıcı olan gerçek ise, kütlesi yaklaşık olarak LHC'de araştırılacak (yine $E=mc^2$ yoluyla) zayıf enerji ölçeği olan kararlı bir parçacık günümüzde kalıntı bir yoğunluğa sahip olup –evrendeki parçacıklarda stoklanan enerjinin bir kesri– kara madde olmaya uygun aralıktadır.

Mantık şöyle devam ediyor. Evren evrilirken sıcaklık azaldı. Evren sıcakken bol miktarda olan ağır parçacıklar, düşük sıcaklıktaki enerji bunları yaratmaya yeterli olmadığından, daha sonraki daha serin evrende dağıldılar. Sıcaklık yeterince azaldığında ağır parçacıklar ağır karşı-parçacıklarla karşılıklı olarak yok oldular ancak yaratıldıkları ters süreçler artık yüksek hızlarda gerçekleşmiyordu. Bu yüzden, birbirlerini yok etme nedeniyle evren soğurken ağır parçacıkların sayısal yoğunluğu hızla düştü.

Elbette karşılıklı olarak yok olabilmek için, önce parçacık ve karşı-parçacıklar birbirlerini bulmalıdır.[1] Ama sayıları azaldıkça daha dağınık hale geldikçe bunun olasılığı azaldı. Sonuç olarak, tango yapmak için aynı yerde iki kişi gerektiğinden, evrenin evriminin sonraki bölümlerinde karşılıklı yok olma giderek etkinliğini kaybetti.

Sonuç, termodinamiğin sıradan uygulanmasının ortaya koyacağından daha fazla çok daha kararlı, zayıf kütleli parçacıkların gününüze kalmasıdır. Bir noktada parçacıklar ve karşı-parçacıklar o kadar seyreldi ki, yok etmek için birbirlerini bulamadılar. Günümüzde ne kadar parçacık kaldığı, varsayılan kara madde adayının kütlesine ve etkileşmelerine bağlıdır. Eğer bu değerleri bilirsek, fizikçiler kalıntı bolluğu nasıl hesaplayacaklarını biliyorlar. Merak uyandıran ve dikkat çeken gerçek, kararlı zayıf kütleli parçacıkların karanlık madde olabilmek için tam doğru miktarlarda kalmış oldukları yolundadır.

[1] Bazı kara madde parçacıkları kendilerinin karşı-parçacıklarıdır, bu durumda diğer benzer parçacıkları bulmaları gerekir.

Elbette ne tam parçacık kütlesini ne de kesin etkileşmeleri bildiğimiz için (bu kararlı parçacığın bir parçası olabileceği modelden söz bile etmiyoruz), henüz sayıların tam olarak doğru olduğundan emin değiliz. Ama yüzeysel olarak birbirinden tümüyle ayrı gibi duran, iki farklı olaya ilişkin rakamlar arasındaki rastlantısal ama kaba örtüşme ilgi çekici olup zayıf ölçek fiziğinin evrendeki kara maddeyi açıklayabileceğinin bir işareti olabilir.

Bu tür kara madde adayı jenerik olarak *WIMP* ya da *Zayıf Etkileşen Büyük Kütleli Parçacık* (*Weakly Interacting Massive Particle*) olarak bilinegelmiştir. Buradaki "zayıf" sözcüğü tanımlayıcı bir terim olup zayıf kuvvete gönderme yapmaz. Bir WIMP Standart Modeldeki zayıf etkileşen nötrinolardan daha da zayıf etkileşir. Kara madde ve özellikleri konusunda LHC'de ortaya çıkarılabilecek türden, daha doğrudan kanıtlar olmaksızın, kara maddenin gerçekten WIMP'lerden oluşup oluşmadığını bilemeyiz. Şimdi ele alacak olduğumuz, yeni deneysel araştırmalara bu nedenle gereksinmemiz vardır.

LHC'DE KARA MADDE

Kozmologların zayıf enerji ölçeğinin fiziğini ve LHC'de bulunabilecekleri merak etmelerinin bir nedeni de ilgi çekici kara madde üretilmesi olasılığıdır. LHC'de ulaşılan enerjiler WIMP araştırmaları için tam doğru düzeydedir. Eğer kara madde, gerçekten yukarıdaki hesapta ileri sürüldüğü gibi zayıf enerji ölçeğiyle ilgili parçacıklardan oluşuyorsa, o zaman LHC'de üretilebilir.

Bununla birlikte, bu durum kara madde parçacığının mutlaka bulunacağı anlamına gelmez. Sonuçta kara madde fazla etkileşmez. Standart Modeldeki parçacıklarla sınırlı etkileşmelerinden dolayı kara madde parçacıkları elbette doğrudan üretilmeyecek ve dedektörde görünmeyecektir. Üretilseler bile, uçup giderler. Yine de her şey kaybolmuş olmaz (kara madde parçacığı olsa bile). Sıradüzen probleminin herhangi bir çözümü, çoğu daha kuvvetli etkileşmeleri olan, diğer parçacıkları da içerecektir. Bunlardan bazıları

bol miktarda üretilebilir ve daha sonra saptanamayan enerji ve momentumu taşıyan kara maddeye bozunurlar.

Süpersimetrik modeller, doğal olarak tutarlı kara madde adayı içeren, bu tür zayıf ölçek modelleri arasında en iyi çalışılmış olanlardır. Eğer süpersimetri dünyada uygulanıyorsa, en hafif süpersimetrik parçacık (LSP) kara madde oluşturabilir. Elektrik yükü taşımayan bu en hafif parçacık kendi başına üretilemeyecek kadar zayıf etkileşir. Bununla birlikte eğer var iseler ve doğru kütle aralığında bulunuyorlarsa, gluinolar –yeğin kuvveti ileten gluonların süpersimetrik eşleri ve skuarklar– kuarkların süpersimetrik eşleri yaratılabilir. Ve On Yedinci Bölümde tartışıldığı gibi, bu süpersimetrik parçacıkların her ikisi de sonunda LSP'ye bozunurlar. O nedenle, her ne kadar bir kara madde parçacığı doğrudan yaratılamasa da, bol miktarda yaratılan diğer parçacıkların bozunumlarıyla gözlenebilir miktarda LSP yaratılma olasılığı vardır.

Sınanabilir sonuçları olan öteki zayıf ölçekli kara madde senaryoları aşağı yukarı aynı şekilde üretilmek ve "saptanmak" zorundadır. Kara madde parçacığının kütlesi LHC'de ulaşılabilecek, zayıf ölçekli enerji civarında olmalıdır. Son derece zayıf etkileşme kuvvetlerinden ötürü, bu parçacıklar doğrudan yaratılamazlar ancak birçok modelde bunlara bozunan yeni parçacıklar vardır. Bu durumda kara madde parçacığının varlığını ve olasılıkla kütlesini, dışarıya taşıdığı momentum aracılığıyla öğrenebiliriz.

LHC'de kara maddenin bulunması elbette büyük bir başarı olur. Eğer bulunursa, deneyciler bazı özelliklerini bile ayrıntılı olarak inceleyebilirler. Bununla birlikte, LHC'de bulunan bir parçacığın gerçekten kara maddeyi oluşturduğu iddiası, ek kanıtlar gerektirir. Yeryüzündeki ve uzaydaki dedektörler işte bu kanıtları sağlayabilir.

KARA MADDEYİ DOĞRUDAN SAPTAMA DENEYLERİ

LHC'nin kara madde yaratma potansiyeli elbette ilgi çekicidir. Ancak kozmoloji deneylerinin çoğu hızlandırıcılarda yapılmaz. Öncelikle astronomik kara maddenin araştırılma-

sına yönelik olarak yeryüzünde ve uzayda yapılan deneyler kozmoloji sorularının potansiyel çözümlerini anlamamızdan sorumludur.

Kara maddenin maddeyle etkileşmesi çok zayıf olduğundan, günümüzdeki araştırmalar, kara maddenin neredeyse görünmez olmasına karşın yine de bildiğimiz maddeyle olanaksız değilse de çok zayıf etkileşiyor olması hakkındaki bir inanç sıçramasına dayanır. Bu yalnızca istekli bir tahmin değildir. Eğer kara madde, sıradüzen problemini açıklamak için öne sürülen modellerle bağlantılı ise, o zaman kalan parçacıkların yoğunluğunun kara madde gözlemlerini açıklamaya yetecek miktarda olduğunu gösteren ve yukarıda sözü edilen aynı kalıntı yoğunluğu hesaplarına dayanır. Bu hesapla ileri sürülen çoğu WIMP kara madde adaylarının birçoğu, Standart Model parçacıklarıyla, yeni nesil kara madde dedektörlerinin rahatça saptayabileceği hızlarda etkileşirler.

Bu durumda bile, kara maddenin çok zayıf etkileşmesinden ötürü bu araştırma ya yeryüzünde devasa dedektörler gerektirir, ya da alternatif olarak, yeryüzünde ya da uzayda buluşan, karşılıklı olarak yok olan ve yeni parçacıklar yaratan kara maddenin ürünlerini arayan, çok hassas dedektörler gereklidir. Eğer tek bir bilet alırsanız, büyük olasılıkla büyük ikramiyeyi kazanamazsınız ancak satılan biletlerin yarıdan fazlasını alırsanız, şansınız yüksek olur. Benzer şekilde, her ne kadar kara maddenin dedektördeki bir nükleonla çarpışma olasılığı az da olsa, çok büyük dedektörlerin kara maddeyi saptama şansı oldukça yüksektir.

Kara madde dedektörlerinin zor görevi, nötr –yüksüz– kara madde parçacıklarını saptamak ve sonra da bunları kozmik ışınlardan veya ardalan ışınımından ayırt etmektir. Yüksüz parçacıklar dedektörlerle konvansiyonel yollarla etkileşmezler. Dedektörden geçen bir kara madde parçacığının bıraktığı tek iz, dedektördeki bir çekirdeğe çarpması ve onun enerjisini çok az da olsa yükseltmesinin sonuçları olur. Gözlenebilir tek sonuç bu olacağından, kara madde dedektörlerinin, kara madde parçacıkları geçerken ortaya çıkan çok

az miktardaki ısının veya geri tepme enerjisinin kanıtlarını bulmaya çalışmaktan başka seçenekleri yoktur. Bu nedenle dedektörler, kara madde parçacıklarının sekerken yarattığı çok küçük miktarlardaki ısı veya enerjiyi saptayabilmek üzere çok soğuk veya çok hassas olarak tasarlanırlar.

Kriyojenik dedektör olarak bilinen çok soğuk aletler, kara madde parçacıkları cihaza girdiğinde salınan çok küçük miktardaki ısıyı saptarlar. Zaten sıcak olan bir dedektörde ortaya çıkan çok az miktardaki ısıya dikkat etmek çok zor olabilir ama özel tasarımlı, soğuk dedektörlerle bu çok düşük miktardaki ısı algılanıp kaydedilebilir. Kriyojenik dedektörler germanyum gibi kristal yapılı emiciler kullanılarak yapılır. Bu türden deneyler arasında Kriyojenik Kara Madde Araştırması (CDMS), CRESST ve EDELWEISS sayılabilir.

Diğer bir tür doğrudan saptama deney sınıfı, soy sıvı dedektörleridir. Her ne kadar kara madde ışıkla doğrudan etkileşmiyor olsa da, bir kara madde parçacığı çarptığında, bir ksenon veya argon atomuna eklenen enerji, bir parıldama kıvılcımına yol açabilir. Ksenonla yapılan deneyler KSENONIOO ve LUX, diğer soy sıvılarla yapılanlarsa ZEPLIN ve ArDM olarak sayılabilir.

Kuramsal ve deneysel topluluklardaki herkes bu deneylerin yeni sonuçlarının ne olduğunu bilmek istiyor. Kara madde saptama deneylerinin en hassaslarından biri olan CDMS'nin yeni sonuçlar açıklamak üzere olduğu 2009 yılında Santa Barbara'daki KITP'de düzenlenen kara madde konferansında iki kara madde uzmanı olan Doug Finkbeiner ve Neal Weiner'le birlikte bulunduğum için ben şanslıydım. Doktora çalışmalarını aynı dönemde Berkeley'de yapmış, dostlukları uzun bir geçmişe dayanan bu iki genç araştırmacı; Doug ve Neal buna ek olarak kara madde deneyleri ve bunların ne ifade ettikleri konusunda da çok bilgilidirler. Neal'ın geçmişi daha çok parçacık fiziği iken Doug daha çok astrofizik deneyi yapmıştır ama kara madde çalışmalarının her iki alanı da kapsayacağı anlaşıldıktan sonra her ikisi de kara madde konusuna yoğunlaştılar. Konferansta konu üzerinde çok önemli kuramsal ve deneysel uzmanlık bilgileri derlediler.

En dikkat çekici konuşma benim vardığım sabah yapıldı. California Üniversitesi Santa Barbara'da profesör olan Harry Nelson yaklaşık bir yıl önceki CDMS sonuçları üzerine konuştu. Eski sonuçlara ilişkin bir konuşmanın neden bu kadar ilgi çektiğini merak ediyor olabilirsiniz. Bunun nedeni konferansa katılan herkesin, yalnızca üç gün sonra deneyin yeni verilerinin açıklanacağından haberdar olmasıydı. Ve CDMS'deki bilim insanlarının bir keşfin ikna edici kanıtlarına ulaştığı söylentileri havada uçuştuğundan herkes bu deneyi daha iyi anlamak istiyordu. Yıllar boyu kuramcılar kara maddenin saptanması konusunda çok konuşma dinlemiş olsalar da, sadece sonuçları dinlemiş, ayrıntılara sadece yüzeysel önem vermişlerdi. Ama kara maddenin saptanmasının eli kulağında olduğu akla yakın geldiğinden, kuramcılar öğrenmeye daha arzuluydular. Haftanın sonuna doğru sonuçlar açıklandığında, abartılı beklentilere sahip olan katılımcılar hayal kırıklığına uğradılar. Ama konuşma sırasında herkes pür dikkatti. Yakında açıklanması beklenen sorular hakkında birçok sorunun araya girmesine karşın Harry konuşmasını kararlılıkla tamamlamayı başardı.

Bu, iki saatlik gayrı resmi bir sunum olduğundan, biz katılımcılar daha iyi anlamak için gerek gördüğümüz anlarda konuşmacının sözünü kesip soru sorabiliyorduk. Bu konuşma, aralarında pek çok parçacık fizikçisinin bulunduğu dinleyicilere karışık gelen konuyu çok güzel ele aldı. Astronomi değil, parçacık fiziği eğitimi almış olan Harry bizimle aynı dili konuşuyordu.

Bu olağanüstü zor kara madde deneylerinden sonra şeytan ayrıntılardaydı. Harry bunu açıklığa kavuşturmuştu. CDMS deneyi, daha çok sıkı madde ya da katı madde fizikçileri tarafından kullanılan, ileri düşük enerji fiziği teknolojisine dayanıyordu. Harry bize, nasıl bu işbirliğine katılmadan önce bu kadar hassas algılamaların çalışacağına hiçbir şekilde inanmadığını anlattı ve deneyci arkadaşlarına, özgün deney önerisinde hakem olmadığı için kendisine teşekkür borçlu oldukları yolunda takıldı.

CDMS, ksenon ve sodyum iodide parıldama deneylerinden çok farklı işler. Bu deneyde, üzerlerinde fonon dedektörü olan çok hassas bir kayıt cihazı bulunan, hokey topu büyüklüğünde germanyum veya silisyum parçaları vardır. Dedektör çok düşük sıcaklıkta, yani süper iletkenlikle süper iletken olmama sınırında olacak kadar düşük sıcaklıklarda çalışır. Eğer ışık birimi fotonlara benzer olan, germanyum veya silisyumun içinde enerji taşıyan ses birimi olarak tanımlanan fononlardan gelen küçük bir enerji bile dedektöre çarpsa, bu enerji cihazı süper iletken olmaktan çıkararak adına *süper iletken kuantum girişim cihazı (SQUID)* adı verilen cihazda bir potansiyel kara madde adayı kaydedilir. Bu cihazlar çok hassas olup enerji depolanmasını çok iyi ölçerler.

Ama bir olayın kaydedilmesi, bu hikâyenin sonu değildir. Deneyciler dedektörün sadece ardalan ışınımını değil, kara maddeyi saptadığını belirlemek zorundadır. Buradaki sorun, her şeyin ışıyor olmasıdır. Biz ışıyoruz. Çalıştığım bilgisayar ışıyor. Okuduğunuz kitap (ya da elektronik alet) ışıyor. Tek bir deneycinin parmak ucundaki ter damlacığı, bir kara madde sinyalini berbat etmeye yeter. Ve burada hem doğal hem de insan yapısı radyoaktif maddeler göz önüne alınmıyor bile. Dedektörün kendisi olduğu kadar çevre ve hava da ışınım barındırır. Dedektöre kozmik ışın çarpabilir. Kayalarda bulunan düşük enerjili nötronlar kara maddeyle karıştırılabilir. Kozmik ışınlardaki müonlar kayalara çarparak bir madde serpintisi yaratabilir ve bu maddede kara maddeyle karıştırılabilecek nötronlar olabilir. Bu kara madde parçacıklarının kütle ve etkileşme kuvvetlerinin iyimser olarak tahmin edilmesi durumunda bile, ardalanda hesaplanan olay sayısından 1000 kat daha fazla elektronik olay olabilir.

O yüzden, kara madde deneyleri oyununun adı *perdeleme ve ayırt etme* olabilir. (Bunlar astrofizikçilerin kullandığı terimlerdir. Parçacık fizikçileri daha bilgisayara dönük *parçacık kimliği* terimini kullanırlar ama şu günlerde bu da artık iyi bir terim olmayabilir. Deneyciler, ışınımı dışarıda tutabilmek için dedektörlerini olabildiğince perdelemeli (dış dünyadan yalıtmak) ve potansiyel kara madde olaylarını de-

dektörlerde ışınımın ilginç olmayan saçılmalarından ayırt etmelidirler. Perdeleme, deneyleri yeraltı madenlerinde yaparak kısmen gerçekleştirilebilir. Buradaki düşünce kozmik ışınların dedektöre girmeden önce dedektörün çevresindeki kayalara çarparak etkisiz hale gelmesidir. Çok daha az etkileşimde bulunan kara madde böylece dedektöre engellenmeden ulaşabilir.

Neyse ki kara maddenin saptanması için kullanılabilecek birçok maden galerisi ve tünel vardır. Tungsten kullanılan CRESST dedektörünün yanı sıra KSENON10 ve daha büyük bir sürümü olan KSENON100, bu arada DAMA deneyi de İtalya'da yerin 3000 metre altındaki bir tünelde bulunan Gran Sasso laboratuvarında bulunmaktadır. Güney Dakota'da, özgün olarak altın aramak amacıyla açılmış olan 1500 metre derinliğindeki Homestake madeni de, ksenon kullanılan ve LUX olarak bilinen bir başka deneye ev sahipliği yapıyor. Bu deney, Roy Davis'in güneşteki nükleer tepkimelerden kaynaklanan nötrinoları keşfettiği yerde yapılacaktır. CDMS deneyi de yerin 750 metre altında bulunan Soudan madenindedir.

Yine de maden galerilerinin ve tünellerin üzerindeki kayalar, dedektörlerin ışınımdan kurtulduğunu tam olarak garantilemez. Deneylerde kullanılan dedektörler başka yollarla daha da perdelenir. CDMS, eğer dışarıdan kara madde olamayacak ölçüde yoğun etkileşen bir şey gelirse, ışıyacak olan bir polietilen tabakasıyla kaplıdır. Daha da unutulmaz olan, perdelemede on sekizinci yüzyılda batmış olan bir Fransız kalyonundan çıkarılan kurşunun kullanılıyor olmasıdır. Yüzlerce yıldır su altında bulunan kurşun, bu sürede bütün radyoaktivitesini boşaltmıştır. Kurşun, dedektörleri dışarıdan gelecek ışınımdan koruyan, mükemmel derecede yoğun ve emici bir malzemedir.

Bütün bu önlemlere karşın, çok miktarda elektromanyetik ışınım varlığını sürdürür. Işınımı potansiyel kara madde adaylarından ayırt etmek, daha ileri teknikler de gerektirir. Kara madde etkileşmeleri, bir nötron hedefe çarptığında ortaya çıkan nükleer tepkimeleri andırır. O nedenle fonon

okuma sisteminin tam karşısında, müstakbel kara madde parçacığı germanyum ya da silisyumdan geçerken yaratacağı iyonlaşmayı ölçecek olan, daha konvansiyonel bir parçacık fiziği dedektörü yer alır. İyonlaşma ve fonon enerjisinin ikisinin birlikte ölçülmesi, nükleer olayları –kara maddenin sonucu olabilecek iyi olaylar– ışınımın tetiklediği, elektron kaynaklı olaylardan ayırır.

CDMS deneyinin diğer güzel özellikleri arasında, yapabildiği mükemmel konum ve zamanlama ölçümleri de bulunur. Bu güzeldir çünkü her ne kadar konum doğrudan iki boyutta ölçülebilir olsa da, fononların zamanlaması üçüncü koordinattaki konumu verir. Böylece deneyciler olayın tam olarak nerede olduğunu belirleyebilir ve ardalan yüzey olaylarını atabilir. Bir başka güzel özellik de deneyin hokey topu büyüklüğünde istiflenmiş dedektörlere bölünmüş olmasıdır. Gerçek bir olay bu dedektörlerin yalnızca birinde olacaktır. Öte yandan yerel olarak tetiklenmiş olan ışınım, mutlaka bir dedektörle sınırlı kalmak zorunda değildir. Bütün bu özelliklerle birlikte yeni bir tasarımla CDMS'de kara madde bulunması olasılığı epeyce yüksektir.

Bunların yanı sıra etkileyici olan, CDMS'nin tek kara madde dedektörü ve kriyojenik aletlerin de bunların tek türü olmamasıdır. O haftanın sonuna doğru, ksenon deneyinin öncülerinden olan Elena Aprile kendi deneylerinin (KSENON10 ve KSENON100) ve soy sıvılarla yapılan diğer deneylerin karşılaştırılabilir ayrıntılarını verdi. Bunlar yakında en hassas kara madde dedektörleri olacağından, dinleyiciler onun konuşmasına da dikkat kesildiler.

Ksenon deneyleri kara maddeyi ışıması yoluyla kaydeder. Sıvı ksenon yoğun ve homojendir, atom kütlesi büyüktür (bu, kara maddenin etkileşme hızını artırır), iyi ışır, enerji geldiğinde hemen iyonlaşır, öyle ki yukarıda tarif edilen iki tür sinyal, elektromanyetik olaylardan etkin bir biçimde ayırt edilir. Ve her ne kadar fiyatı son on yılda altı kat kadar dalgalanmış olsa da, diğer potansiyel malzemeye göre ucuzdur. Bu türden soy gaz deneyleri büyüdükçe iyileşmiştir ve öyle olmaya da devam edecektir. Daha fazla malzemeyle saptan-

ma olasılığı yükselmekle kalmayacak, bu arada dedektörün dış kısmı iç kısmını daha iyi perdeleyecek ve sonucun önemli olduğunun anlaşılmasına katkıda bulunacaktır.

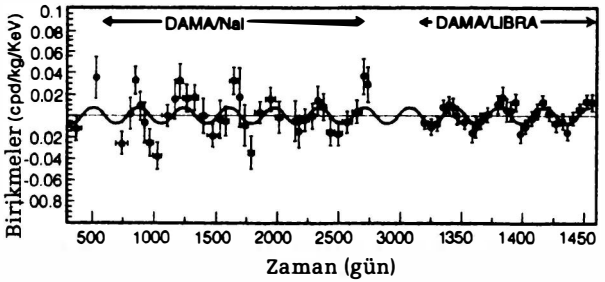
Deneylerde hem iyonlaşma hem de başlangıçtaki ışımanın her ikisi de ölçülerek sinyaller ardalan ışımasından ayrılır. KSENON100 deneyinde ışımayı ölçmek üzere, dedektörün düşük sıcaklık ve yüksek basınçlı ortamında çalışmak üzere tasarlanmış, çok özel foto tüpler kullanılmıştır. Argon dedektörlerinde, ışıma atması zamanın fonksiyonu olarak ayrıntılı şekilde kullanıldığından, gelecekte daha da iyi ışıma bilgisi sağlayabilir ve bu da buğdayın sap ve samandan ayrılmasına yardımcı olacaktır.

Günümüzde gelinen noktanın tuhaf durumu (yakında değişebilirse de) şudur ki, bir ışıma deneyi –İtalya'daki Gran Sasso Laboratuvarındaki DAMA deneyi– aslında bir sinyal yakalamıştır. Biraz önce anlattığım deneylerden farklı olarak DAMA'da sinyal ve ardalanı ayırt etmeye yarayacak bir iç ayırıcı yoktur. Deney, dünyanın güneş çevresindeki yörüngesinden gelen ayırt edici hız bağlılığından yararlanarak, kara madde sinyal olaylarını yalnızca zaman bağlılıklarına dayanarak ayırır.

Gelen kara madde parçacıklarının hızlarının işin içine girmesinin nedeni, bu hızların dedektörde ne kadar enerji depolandığını belirlemesidir. Eğer bu enerji çok düşükse, orada herhangi bir şeyin olup olmadığını anlayacak ölçüde hassas olmayacaktır. Daha yüksek enerji, deneyde olay kaydedilmesi olayının daha yüksek olduğu anlamına gelir. Dünyanın yörüngedeki hızı yüzünden kara maddenin bize göre hareketi (ve dolayısıyla depoladığı enerji) yılın hangi döneminde olduğumuza bağlıdır. Yazları sinyal kışlardan daha iyi görülür. DAMA deneyinde bu tahmine göre olay hızındaki yıllık modülasyona bakılır. Ve deney verileri, böyle bir sinyal bulunduğunu gösteriyor. (Salınan DAMA verileri için *bkz.* Şekil 79.)

Henüz hiç kimse DAMA sinyalinin kara maddeyi mi yoksa dedektör ya da çevresine ilişkin olası bir yanlış anlamayı mı temsil ettiğini bilmiyor. Başka hiçbir dedektör henüz herhangi bir şey görmediğinden, insanlar kuşkulu. Başka

sinyallerin bu yokluğu, çoğu kara madde modellerinin tahminleriyle uyumsuz.



ŞEKİL 79 DAMA deneyinin, sinyalin zamana göre modülasyonunu gösteren verileri.

Her ne kadar şimdilik kafa karıştırıcıysa da, bilimi ilginç kılan aslında bu. Sonuç bizi kaç farklı kara madde türü olabileceğini ve kara maddenin DAMA'nın onu diğer deneylerden daha kolay saptamasına neden olacak özellikleri olup olmadığı konusunda düşünmeye teşvik ediyor. Böyle sonuçlar aynı zamanda bizi dedektörleri daha iyi anlamaya ve böylece sahte sinyalleri anlayıp, verilerin deneycilerin öne sürdüğü koşulları sağlayıp sağlamadığını fark etmeye zorluyor.

Dünyanın her yerindeki diğer deneylerde hassasiyetin yükseltilmesine çalışılıyor. Bu deneyler DAMA'nın kara madde keşfini doğrulayabilir ya da bertaraf edebilir. Veya kendileri, bağımsız olarak farklı türde bir kara madde keşfedebilirler. Herkes, eğer tek bir diğer deney bile DAMA'nın keşfini doğrularsa, kara maddenin keşfedilmiş olacağı konusunda hemfikir olsa da, bu henüz gerçekleşmedi. Yine de yanıtlar yakında ortaya çıkmaya başlayabilir. Siz bunları okuduğunuzda şimdi söz edilen sonuçlar eskimiş olsa bile, deneylerin niteliği büyük olasılıkla çağ dışı kalmayacaktır.

KARA MADDENİN DOLAYLI SAPTANMASI

LHC deneyleri ve yeryüzünde kurulu kriyojenik ya da soy sıvı dedektörleri kara maddenin doğasını araştırmanın iki yolu-

dur. Üçüncü ve son yol ise yeryüzü veya uzayda kara maddenin *dolaylı yoldan saptanması*dır.

Kara madde seyreltik olmakla birlikte ara sıra kendisiyle ya da karşı-parçacığıyla karşılıklı yok olur. Bu, genel yoğunluğunu etkileyecek sıklıkta gerçekleşmez ancak yine de ölçülebilir bir sinyal üretmek için yeterli olabilir. Bunun nedeni, kara madde parçacıkları yok olduğunda, onların enerjisini taşıyacak yeni parçacıkların üretilmesidir. Doğası ve niteliklerine bağlı olarak kara maddenin yok olması, kimi zaman elektron ve pozitron ya da bir çift foton gibi, saptanabilir Standart Model parçacıkları ortaya çıkarabilir. Bu durumda karşı-parçacıkları ya da fotonları ölçen astrofizik dedektörleri bu yok oluşların işaretlerini görebilir.

Kara maddenin yok olmasının ortaya çıkardığı Standart Model ürünlerini araştıran aletler başlangıçta bu hedefe yönelik olarak tasarlanmamışlardı. Uzayda ne olduğunu daha iyi anlamak amacıyla uzayda veya yeryüzünde ışık ya da parçacık saptamak üzere teleskop veya dedektörler olarak tasarlanmışlardı. Yıldızların, galaksilerin ve onların içindeki egzotik cisimlerin ne tür şeyler yaydığını öğrenmek yoluyla astronomlar, gök cisimlerinin kimyasal bileşimlerini anlayabilir ve yıldızların özellikleri ve doğasını keşfedebilir.

Filozof Auguste Comte 1835 yılında, ulaşılabilir bilgi sınırlarının ötesinde olduklarını düşündüğü yıldızlar hakkında hatalı bir şekilde "Yıldızların kimyasal bileşimlerini hiçbir zaman öğrenemeyeceğiz," demişti. Ama onun bu sözleri söylemesinden çok kısa bir süre sonra güneş spektrumunun keşfedilmesi ve yorumlanması bize güneşin bileşimini öğretti ve Comte'un kesinlikle hatalı olduğunu gösterdi.

Günümüzde başka gök cisimlerini bileşimini saptamaya çalışan deneyler bu görevi sürdürüyor. Bugünün teleskopları çok hassas olduğundan her birkaç ayda bir uzayda bulunanlar hakkında yeni bir şeyler öğreniyoruz.

Kara madde araştırmalarının şansı, bu deneylerin yapmak üzere tasarlandıkları ışık ve parçacık gözlemlerinin, kara maddenin doğası ve özelliklerini de aydınlatabilecek olmasıdır. Karşı-parçacıklar evrende göreceli olarak ender

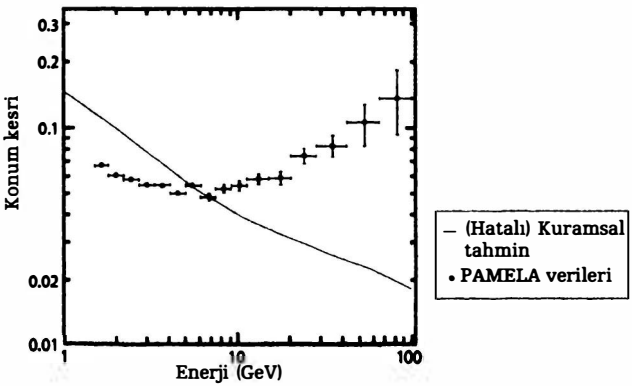
bulunduklarından ve foton enerjilerinin dağılımları ayırt edici ve tanınabilir özellikler sergileyebileceklerinden, böyle bir saptama sonunda kara maddeyle bağlantılı olabilir. Bu parçacıkların uzayda dağılımı, böyle karşılıklı yok olma ürünlerinin çok daha yaygın olan astrofiziksel ardalanlardan ayırt edilmesine de yardımcı olabilir.

Namibia'da kurulu bulunan HESS (the High Energy Stereoscopic System, Yüksek Enerjili Steoroskopik Sistem) ve Arizona'daki VERITAS (the Very Energetic Radiation Imaging Telescopic Array System, Çok Yüksek Enerjili Işınım Görüntüleme Teleskopik Dizi Sistemi) yeryüzünde kurulu bulunan ve galaksimizin merkezinden gelen yüksek enerjili fotonları arayan, büyük teleskop dizileridir. Ve çok yüksek enerjili gamma ışın gözlemevlerinin yeni neslini temsil eden Cherenkov Teleskop Dizisi (CTA) çok daha hassas olacaktır. Öte yandan Fermi Gamma Işını Uzay Teleskopu, 2008'in başlarında gönderilen bir uyduda, yeryüzünden 550 km yukarıda dünya çevresinde her 95 dakikada bir tur atıyor. Yeryüzündeki foton dedektörlerinin devasa toplama alanlarına sahip olma avantajları varsa da, Fermi uydusundaki çok hassas aletler, daha iyi enerji çözünürlüğü ve yön bilgilerine sahip olmalarının yanı sıra, hem daha düşük enerjili fotonlara hassastır ve hem de görüş alanı yaklaşık 200 kat büyüktür.

Bu deney türlerinden biri, yok olan kara maddeden kaynaklanan fotonları veya kara maddenin yok olması sonucu ortaya çıkan elektron ve pozitronlardan kaynaklanan ışınımı görebilir. Eğer bunlardan birini görecek olursak, kara maddeyi tanımaya ve özelliklerini öğrenmeye başlıyoruz demektir.

Öbür dedektörler esas olarak elektronların karşı-parçacıkları olan pozitronları arar. İtalyanların yönetimindeki PAMELA adlı deneyde çalışan fizikçiler bulduklarını paylaştılar bile. Bulunanlar, tahmin edildiği gibi görünmüyor (PAMELA sonuçları için *bkz.* Şekil 80). PAMELA kısa adı, "Payload for Antimatter-Matter Exploration and Light Nuclei Astrophysics (Karşı-madde/Madde Araştırmaları ve Hafif Çekirdek Astrofiziği Uydusu) sözcüklerinin baş harflerinden

oluşuyor. Ağız dolusu bu ad, PAMELA sözcüğü İtalyan aksanıyla söylendiğinde biraz hafiflemiş gibi oluyor. Henüz PAMELA'daki çok sayıda olayın kara maddeye mi ait olduğunu, yoksa pulsar gibi uzay cisimlerinin yanlış hesaplanmasından mı kaynaklandığını bilmiyoruz. Ama ne olursa olsun, bu sonuçlar hem astrofizikçilerin hem de parçacık fizikçilerinin dikkatini çekmiş durumda.



ŞEKİL 80 PAMELA deneyinde deneysel verilerin (noktalar) kuramsal hesaplarla (noktalı eğri) uyuşmadığını gösteren grafik.

Kara madde yok olarak proton ve karşı-protonlara da dönüşebilir. Aslında birçok modelde, eğer kara madde parçacıkları birbirlerini buluyor ve yok ediyorlarsa, bu durumun çok sık ortaya çıkacağı öngörülüyor. Bununla birlikte, galakside bilinen astrofizik olaylarına bağlı olarak bulunan çok sayıda karşı-proton, kara madde sinyalini perdeleyebilir. Yine de böyle kara maddeyi, karşı-proton ve karşı-nötronun çok zayıf bağlı durumları olan ve kara madde yok olduğunda ortaya çıkabilecek olan karşı-döteronlar yoluyla görme şansımız olabilir. Şimdi Uluslararası Uzay İstasyonunda bulunan Alfa Manyetik Spektrometresi (AMS-02) ile birlikte Genel Karşı-Parçacık Spektrometresi (GAPS) gibi özel uydu deneyleri sonuçta bu karşı-döteronları bulabilir ve kara maddeyi keşfedebilir.

Son olarak, sadece zayıf kuvvet yoluyla etkileşen ve nötrino adı verilen yüksüz parçacıklar, kara maddenin dolaylı yoldan keşfinde anahtar rol oynayabilirler. Güneş ve dünyanın merkezinde kara madde hapsedilmiş durumda olabilir. Bu durumda alınabilecek tek sinyal nötrinolar olabilir çünkü dışarıya kaçarken, diğer parçacıklardan farklı olarak etkileşmeleri sonucunda durdurulamazlar. AMANDA, IceCube ve ANTARES adlı dedektörler bu yüksek enerjili nötrinoları arıyor.

Eğer yukarıdaki sinyallerden herhangi biri gözlenirse – hatta gözlenmese bile– kara maddenin doğası, etkileşmeleri ve kütlesi hakkında daha çok şey öğreneceğiz. Bu arada fizikçiler, olası çeşitli kara madde modellerinin tahminlerine göre hangi sinyallerin beklenmesi gerektiği üzerine düşünüyorlar. Ve elbette var olan herhangi bir ölçümün neyi ifade ettiğini de sorguluyoruz. Kara madde çok zayıf etkileştiğinden ötürü, bulunması zordur. Ama günümüzde çalışmakta olan birçok farklı türdeki kara madde deneyleriyle, kara maddenin saptanmasının çok yakın olabileceği, LHC'den ve başka yerlerden gelen sonuçların, evrende nelerin olduğu ve her şeyin birbirine nasıl uyduğunu daha iyi hissetmemize olanak vereceğini ümit ediyoruz.

Kısım VI
ÖZET

YİRMİ İKİNCİ BÖLÜM

KÜRESEL DÜŞÜN, YEREL DAVRAN

Bu kitabın konusu, maddenin içyapısını olduğu kadar evrenin dış sınırlarını da keşfedebilmek için insan aklının yönelttiği kısa bakışlardır. Bu her iki uğraşta da son dönemde Harvard'da profesör olan Sidney Coleman, yaşayan en bilge fizikçilerden biri olarak değerlendirilir. Öğrencilerinin anlattığı bir hikâye şöyleydi: Sidney doktora çalışmasını tamamladıktan sonra doktora sonrası bir pozisyon için başvuru yaptığında, aldığı tavsiye mektuplarında Richard Feynman dışındaki herkes Sidney'i tanıdıkları en zeki fizikçi olarak tarif etmişlerdi. Son mektup, Sidney'in bildiği en iyi fizikçi olduğunu yazmış olan Feynman'ınkiydi ama elbette kendini saymamıştı.

Sidney'in altmışıncı yaş günündeki Festschrift kutlamasında –yani onun onuruna düzenlenen konferansta– onun kuşağının önde gelen fizikçilerinin çoğu birer konuşma yaptı. Kendisi de iyi bir parçacık fizikçisi olan ve Harvard'dan Sidney'in uzun yıllar birlikte çalıştığı Howard Georgi, bu çok başarılı kuramsal fizikçilerin hepsinin ne kadar farklı düşündüklerini görmenin ona çok çarpıcı geldiğini anlattı.

Haklıydı. Her konuşmacı bilime kendine özgü bir şekilde yaklaşıyordu ve farklı yeteneklere sahip olan bu insanların tümü (hepsi erkekti) kendi alanlarında önemli katkılar yapmışlardı. Bazılarının görsel bazılarınınsa matematiksel yetenekleri vardı; bazılarıysa bilgiyi özümseme ve değerlendirmede olağanüstü bir kapasiteye sahiptiler. Başarıları maddenin içindeki yeğin nükleer kuvveti anlamaktan sicim kuramını bir araç olarak kullanmak yoluyla çıkarılabilecek matematiğe kadar uzanan katılımcılar arasında hem yuka-

rıdan aşağıya, hem de aşağıdan yukarıya tarzlar temsil ediliyordu.

Puşkin, "Geometride de şiirde olduğu kadar ilhama gereksinim vardır", dediğinde haklıydı. Parçacık fiziğinde, kozmolojide, matematikte ve diğer bilim dallarında da, tıpkı daha yaygın olarak bilinen sanat ve beşeri bilimlerdeki gibi, yaratıcılık esastır. Bilim, alışılmadık yerlerde sergilenen çabaları geliştiren fazladan zenginliğin en güzel örneğini oluşturur. Gereken ilham ve hayal gücü, mantık kurallarının arasında kolayca gözden kaçabilir. Bununla birlikte, matematik ve teknolojinin kendileri de, fikirleri nasıl birleştirecekleri konusunda yaratıcı olarak düşünen ve kazara ilginç bir sonuca ulaştığında onun değerini anlayacak ölçüde yaratıcı dikkate sahip olan kimseler tarafından keşfedilmiş ve formüle edilmiştir.

Geçtiğimiz birkaç yılda, hayatın farklı alanlarında yaratıcı insanlarla karşılaşma ve onlarla çalışma olanağı bulacak kadar şanslıydım. Onların paylaşımları konusunda derinlemesine düşünmek ilginçtir. Bilim insanları, yazarlar, sanatçılar ve müzisyenler yüzeysel olarak bakıldığında çok farklı görünebilirler, oysa becerilerin, yeteneklerin ve mizaçların doğası her zaman beklendiği ölçüde belirgin değildir. Şimdi bilim ve bilimsel düşünce konularındaki hikâyemizi bana çok çarpıcı gelen özelliklerle toparlayacağım.

UZAKTAKİ YETENEK

Önemli, kayda değer bir şey yaptıklarında ne bilim insanları ne de sanatçılar tek başına yaratıcılık konusunda düşünürler. Hemen hemen başarılı olmuş hiç kimse, masasına oturup "ben bugün yaratıcı olacağım," diye karar vermez. Bunun yerine probleme odaklanırlar. Odaklanırlar derken, kararlı bir şekilde, onu düşünmeden edemez bir halde, dikkatle odaklandıkları işe yoğunlaşırlar.

Biz genellikle yaratıcı çabaların temellerinde bulunan devasa adanmışlık ve teknik uzmanlığa tanık olmaksızın, son ürünleri görürüz. Ben 2008 yılında, Philippe Petit'nin 1974 yılında Dünya Ticaret Merkezinin ikiz kuleleri arasında ge-

rilmiş olan bir telde dört yüz metrelik yürüyüşünü anlatan –o zamanlar benim gibi New Yorkluların ve dünyanın başka yerlerinde yaşayanların da dikkatini fazlasıyla çekmiş olan bir girişimdi bu– *Man on Wire (Teldeki Adam)* filmini izlediğimde, onun macera, oyun ve beceri anlayışını takdir etmiştim. Ama Philippe sadece iki duvara birer cıvata vidalayıp arasına teli gererek oyununa başlamamıştı. Elizabeth Streb bana kendi stüdyosunda Philip o teli germeden önce yaptığı birçok çizimin ve hesaplamaların olduğu kalın bir kitap gösterdi. İşte o zaman bu girişimin dengeli olmasını garantileyen hazırlıkları ve odaklanmayı anlayabildim. Şakayla karışık bir şekilde ifade ettiği gibi, Philippe "kendi kendini yetiştirmiş bir mühendis"ti. Ancak dikkatli bir çalışmadan ve kullanacağı malzemenin mekanik özelliklerini anlamak üzere bilinen fizik yasalarını uyguladıktan sonra tel üzerinde yürümeye hazır hale gelmişti. Elbette yürüyüşü gerçekten yapana kadar Philippe her şeyi hesaba katmış olduğundan kesinlikle emin olamazdı, sadece bekleyebileceği her şeyi bilmesi yeterliydi.

Eğer bu derece özümsemeyi inanılması zor buluyorsanız, etrafınıza bakın. İnsanlar, önemli olsun önemsiz olsun, bir işle meşgulken sık sık dalıp giderler. Komşunuz çapraz bulmaca çözer, arkadaşınız televizyonda büyülenmiş gibi spor etkinliği izler, metrodaki bir yolcu kitabına dalıp ineceği durağı kaçırır, video oyunları başında geçirmiş olabileceğiniz sayısız saatlerden söz etmiyorum bile.

Kafaları bilimsel araştırmayla meşgul olanlar, hayatlarını kazandıkları iş aynı zamanda yapmayı sevdikleri iş olduğundan şanslı bir durumdadırlar. Bu kategorideki profesyoneller genelde, yaptıkları işin kalıcı önemi olduğu gibi rahatlatıcı (ama büyük olasılıkla yanıltıcı) bir fikre sahiptir. Bilim insanları, dünyanın gerçeklerini bulmaya çalışan, daha büyük bir görevin bir parçası olduklarını düşünmekten hoşlanırlar. Belirli bir günde çapraz bulmaca çözecek vaktimiz olmayabilir ama büyük olasılıkla bir araştırma projesi üzerinde –daha büyük resme ve daha büyük bir hedefe yönelik olan– daha fazla zaman harcamak isteyebiliriz. Gerçek

davranış, tıpkı bir oyun oynarken veya TV'de spor izlerken olduğu gibi bir özümsemeyi kapsayabilir.[1] Ama bir bilim insanı büyük olasılıkla otomobil kullanırken ya da gece uyuyakaldığında da araştırma hakkında düşünmeyi sürdürür. Bir projeye günler, aylar hatta yıllar boyunca bağlı kalabilme yetisi elbette araştırmanın önemli olduğu –(en azından başlangıçta) çok az kişi anlayabiliyor olsa bile, hatta sonunda tutulan yolun yanlış olduğu ortaya çıksa bile– inancına bağlıdır.

Son zamanlarda doğuştan gelen yaratıcılık ve yeteneğin sorgulanması ve başarının sadece erken başlama ve pratiğe bağlanması bir moda haline geldi. *New York Times*'daki köşe yazısında David Brooks son dönemde bu konuda çıkmış olan birkaç kitabı bu şekilde özetledi: "Şimdi Mozat'ın sahip olduğu şeyin Tiger Woods'un sahip olduğu şeyle aynı olduğuna inanıyoruz: uzun süreler boyunca odaklanabilmek ve oğlunun yeteneklerini geliştirmeye niyetli bir baba."[2] Verdiği bir başka örnek Picasso'ydu. Picasso klasik bir sanatçının oğluydu ve yaşadığı ayrıcalıklı ortamda, daha çocuk yaşlarında çok güzel resimler yapıyordu. Bill Gates de sıra dışı olanaklara sahipti. Son kitabı *Outliers*'da[3] Malcolm Gladwell, Gates'in Seattle'da gittiği lisenin bilgisayar kulübü olan birkaç liseden biri olduğunu ve Gates'in sonradan Washington Üniversitesinde saatler boyu, durmadan bilgisayar kullanabildiğini anlatıyor. Gladwell devamla, Gates'in başarısında sahip olduğu olanakların, dürtü ve yeteneklerinden daha önemli olduğunu ileri sürüyor.

Gerçekten de erken yaşlarda odaklanmak ve pratik yapmaya başlamak, böylece yöntem ve tekniklerin iyice oturması, yaratıcı pek çok kariyerin tartışma götürmez bir parçasıdır. Eğer elinizde çözülmesi zor bir problem varsa, temel konularda mümkün olduğunca az zaman harcamaya çalışır-

---

[1] Dr Mihaly Csikszentmihalyi akış kavramını kullanarak bu olayı ***Flow: The Psychology of Optimal Experience*** (Random House, 2002) adlı kitabında anlatarak öncü olmuştur.

[2] Brooks, David. "Genius: The Modern View," ***New York Times***, Nisan 30, 2009.

[3] Gladwell, Malcolm. ***Outliers: The Story of Success*** (Little Brown & Co., 2008).

sınız. Ama bir kez beceriler (veya matematik bilgisi) alışkanlık haline geldiğinde, gerekli olduğunda bunları çok rahat hatırlayabilirsiniz. Böyle yerleşik beceriler, kimi iyi fikirleri bilinçli aklınıza sokmadan önce bile genelde ardalanda çalışmayı sürdürürler. Uyurken bir problemi çözen insanlar olmuştur. Larry Page Google'ın tohumunu atan fikri rüyasında gördüğünü söylemişti ama elbette bu, problem üzerinde aylarca düşünüp odaklandıktan sonra olmuştu. İnsanlar genelde vahiy anının ardındaki ayrıntılı çalışmalar için ne kadar zaman harcandığını düşünmeden, bütün kavrayışları "sezgi" ya da "içgörü" kavramlarına atfederler.

Bu nedenlerle Brooks ve Gladwell kuşkusuz bazı bakımlardan haklıdır. Her ne kadar beceri ve Tanrı vergisi yetenek önemli ise de, bunlar, yetenekler bilenmeden, adanmışlık ve pratiğin getirdiği yoğunluk olmadan sizi pek bir yere götüremez. Ancak genç yaşta elde edilen olanaklar ve sistematik hazırlık da hikâyenin tamamı değildir. Bu tarif, odaklanabilme yeteneği ve pratiğin de kendi içinde bir beceri olduğu gerçeğini göz ardı eder. Daha önce yapmış olduklarından deneyim kazanıp bir şeyler öğrenebilen ve öğrendiklerini akılda tutabilen sıra dışı insanların çalışma ve tekrardan yararlanabilme olasılığı çok daha yüksektir. Bu azim ve kararlılık bilimsel araştırma ya da yaratıcı herhangi bir çabada, sonunda geri dönüş sağlayacak odaklanma ve yoğunlaşmaya olanak verir.

Calvin Klein'ın özgün parfümünün adı olan "Obsession" (takıntı) rastgele seçilmiş bir ad değildi: o, (kendi sözleriyle) takıntılı olduğu için başarılı olmuştu. Profesyonel golf oyuncuları vuruşlarını sayısız tekrarlarla mükemmelleştirmiş olsalar da, herkesin bir golf topuna canı çok sıkılmadan ve hayal kırıklığı yaşamadan binlerce kez vurabileceğine inanmıyorum. Zorlu tırmanış rotalarında çalışan dağcı arkadaşım Kai Zinn, ayrıntıları ve hamleleri benden çok daha iyi hatırlar. Bir rotada on kez tırmandığında bunun daha çok yararını görür. Bu, onu çok daha dirençli ve sebatkâr kılar. Ben can sıkıntısı içinde tırmanıp orta düzeyde bir dağcı olarak kalırken, tekrarlardan nasıl yararlanacağını ve öğreneceğini

bilen Kai, gelişmesini sürdürecektir. On sekizinci yüzyılda yaşamış olan doğasever, matematikçi ve yazar Georges-Louis Leclerc bu yeteneği şöyle özetler: "Deha yalnızca sabra daha fazla eğilimli olmaktır." Bense buna gelişme olmaması nedeniyle ortaya çıkan sabırsızlığı da eklemek isterim.

BİR FASULYE YIĞININI ÖLÇEKLENDİRMEK

Pratik, teknik eğitim ve dürtü bilimsel araştırma için esastır. Ama gerekenlerin tümü bunlar değildir. Otistikler –bazı akademisyenler ve çok daha fazla sayıda bürokratın yanı sıra– çok yüksek düzeyde teknik beceriler sergilerken, yaratıcılık ve hayal gücünden yoksundurlar. Bu diğer özelliklerin desteği olmaksızın dürtünün ve teknik başarının sınırlarını görmek için günümüzde sinemaya gitmek yeter. Animasyon eseri yaratıkların perdede yine animasyon eseri başka yaratıklarla dövüştüğü, izlemesi bile zor olan sahneler, kendi içlerinde etkileyici başarılar olabilirler ama çoğumuzun ilgisini çekebilmek için gerekli olan yaratıcı enerjiden yoksundurlar; ışık ve gürültüye karşın zaman zaman uyuyakalıyorum.

Bana göre en sürükleyici filmler, büyük sorunları ve gerçek fikirleri ele alan ama bunları bizim algılayıp takdir edebileceğimiz, küçük örneklerle somutlaştıran filmlerdir. *Kazablanka*'nın konusu yurtseverlik, aşk, savaş ve sadakat olabilir ama her ne kadar Rick Ilsa'yı "bu çılgın dünyada üç küçük insanın sorunlarının bir fasulye yığını kadar bile etmediğini görebilmek için fazla çabaya gerek yok," diye uyarmasına karşın, bu filme kendimi kaptırmış olmamı bu üç küçük insana borçluyum (ve elbette Peter Lorre ve Claude Reins).

Bilimde de doğru soruları sorabilmek ancak hem büyük hem de küçük resimleri akılda tutmakla mümkün olur. Hepimizin yanıtlamak istediği büyük sorular ve izi sürülebilir olduğuna inandığımız küçük sorular vardır. Gelişmeye yol açan daha çok küçük problemlerin çözümü olduğundan, büyük soruların tanımlanması ender olarak yeterli olur. Ölçek konusunda Salt Lake City'de toplanan konferansın adı (Üçüncü Bölüm) ile birlikte William Blake'in şiirinden bir

dizenin de belirttiği ve Galileo'nun da çok önceden anlamış olduğu gibi, bir kum tanesinde bütün bir dünya gözlenebilir.

Yaratıcı bir kimsenin neredeyse vazgeçilmez bir özelliği, doğru soruları sorabilme yeteneğidir. Yaratıcı insanlar ilerlemeye yol açan, gelecek vaat eden, heyecan verici ve en önemlisi erişilebilir yolları bilirler ve sonunda soruları doğru formüle ederler. En iyi bilim çoğu zaman engin ve dikkate değer problemlere ilişkin farkındalığı, görünüşe göre daha küçük olan ve bir kimsenin çözmeyi ya da anlamayı çok istediği bir konuyu ya da ayrıntıyı odakta tutarak birleştirir. Kimi zaman bu küçük problemler ya da tutarsızlıklar büyük ilerlemelerin ipuçlarına dönüşür.

Darwin'in devrimci görüşleri kısmen kuşların ve bitkilerin küçük gözlemleri sonucunda ortaya çıkmıştır. Merkür'ün günberi noktasının yalpalaması (presesyonu) hatalı bir ölçüm değildi; Newton yasalarının sınırlı olduğunun bir göstergesiydi. Bu ölçüm sonunda Einstein'ın kütleçekim kuramının doğrulamalarından birine dönüştü. Bazılarına çok küçük ya da üstü kapalı görünebilen çatlaklar ve aykırılıklar, problemi doğru ele alanlar için yeni fikir ve kavramlara açılan kapılar olabilirler.

Einstein bile başlangıçta kütleçekimi anlamak üzere yola çıkmamıştı. Son zamanlarda geliştirilmiş olan elektromanyetizma kuramının ifade ettiklerini anlamaya çalışıyordu. Herkesin uzay ve zamanın simetrileri olduğunu düşündüğü şeydeki tuhaflıklara ya da tutarsızlıklara odaklanmıştı ama düşünüş tarzımızda devrim yaptı. Einstein bütün bunların bir anlamı olması gerektiğini düşünüyordu ve bunun nasıl mümkün olduğunu çıkarabilecek kadar da geniş görüşlü ve ısrarcıydı.

Bu karşılıklı etkileşim çok daha yeni araştırmalarda da gözlenir. Süpersimetrik kuramlarda neden belirli etkileşmelerin gözlenmemesi gerektiğini anlamak, bazılarına ayrıntı gibi görünebilir. 1980'lerde Avrupa'da bu gibi problemlerden söz ettiğinde, meslektaşım David B. Kaplan'la dalga geçmişlerdi. Ama bu problem, süpersimetri ve süpersimetri kırılmasında, şimdi LHC'de deneycilerin sınamaya hazırlandık-

ları yeni fikirlere yol açan, yeni kavrayışların bir kaynağına dönüşmüştür.

Ben, evrenin tutarlı olduğuna ve herhangi bir sapmanın, keşfedilmesi gereken, ilginç bir şey olduğuna kesinlikle inanıyorum. Washington, D. C'deki Yaratıcılık Vakfının bir sunumunda bu noktadan söz ettiğimde bir blog yazarı, bunu benim yüksek standartlara sahip olduğum şeklinde yorumladı. Ama gerçekte evrenin tutarlı olduğu yolundaki inanç, büyük olasılıkla pek çok bilim insanının, çalışacağı problemleri seçmelerini sağlayan temel itici güçtür.

Tanıdığım yaratıcı insanların çoğu, kafalarında birden çok soruyu ve fikri aynı anda tutma yeteneğine de sahipler. Herkes Google'dan bir şeyleri arayıp bulabilir ama gerçekleri ve düşünceleri ilginç yollarla bir araya getiremediğiniz sürece, yeni bir şey bulabilme olasılığınız çok zayıftır. Genelde yeni bağlantılara ve kavrayışlara ya da şiire (yaratıcılığın özgün olarak uygulandığı kavramdı) yol açan, kesinlikle farklı yerlerden ve yönlerden gelen düşüncelerin kulak tırmalayacak şekilde yan yana bulunmasıdır.

Pek çok insan doğrusal olarak çalışmayı tercih eder. Ancak bunun anlamı, yol tıkandığında ya da belirsiz hale geldiğinde arayışın da sonlanması gerektiğidir. Birçok yazar ya da sanatçı gibi, bilim insanları da bölüm bölüm ilerlerler. Bu her zaman doğrusal bir süreç değildir. Bir bilmecenin bazı kısımlarını anlayabiliriz ama boşlukları sonradan doldurabileceğimizi ümit ederek, anlamadığımız kısımları geçici olarak bir yana ayırırız. Sürekli, tek bir okumayla bir kuramı çok az kişi tam olarak anlayabilir. Sonuçta her şeyi birleştirebileceğimize, o nedenle bir şeyi anlamadan atlayıp geçmeye ve daha sonra, daha fazla bilgiyle donandığımızda geri dönebileceğimize inanmalıyız. Makaleler ya da sonuçlar başlangıçta anlaşılmaz görünebilir ama her halükarda okumaya devam etmeliyiz. Anlayamadığımız bir şeyle karşılaştığımızda atlayıp sona kadar gitmeli, onu kendi yöntemimizle çözmeli ve daha sonra aklımızı kurcalayan o yere geri dönmeliyiz. Devam etmek ve neyin anlamlı, neyin anlamsız olduğunu anlayabilmek için bütün dikkatimizi o noktaya yöneltmiş olmalıyız.

Thomas Edison'ın ünlü sözüdür: "Deha yüzde bir ilham, yüzde doksan dokuz terden oluşur." Ve Louis Pasteur da bir zamanlar "gözlem alanında şans, hazırlıklı akıldan yanadır," demişti. Kendini işine adamış bilim insanları bazen aradıkları yanıtları böyle bulmuşlardır. Ama bazen de bu yolla özgün araştırma hedefinin dışındaki problemlere de çözüm buldukları olmuştur. Alexander Fleming bulaşıcı hastalıkları tedavi etmenin bir yolunu bulmayı amaçlamamıştı. İncelediği *Stafilokok* kolonilerini bir mantarın öldürdüğüne dikkat etmiş ve bunun tedavi edici özellikleri olabileceğini fark etmişti ancak penisilinin dünyayı değiştiren bir ilaca dönüşmesi için bir on yıl daha geçmesi ve başkalarının katkıda bulunması gerekti.

İkincil yararlar genelde geniş bir soru tabanından gelir. Raman Sundrum ve ben süpersimetri üzerinde çalışırken, sıradüzen problemini çözebilecek, çarpılmış bir ek boyut bulduk. Daha sonra, denklemlere daha yakından bakıp bunları daha geniş bir bağlamda ele aldığımızda, bilinen herhangi bir fizik yasasını ihlal etmeden sonsuz bükülmüş uzay boyutunun var olabileceğini de bulduk. Tümüyle başka bir konu olan parçacık fiziği çalışıyorduk. Ama hem büyük hem de küçük resimler aklımızdaydı. Standart Modeldeki kütle ölçeklerinin sıradüzenini anlamaya çalışmak gibi olgusal konulara yoğunlaşırken bile, uzayın yapısı hakkındaki büyük soruların farkındaydık.

Bu özel çalışmanın önemli bir niteliği de ne Raman'ın ne de benim görelilik uzmanı olmamızdı, o nedenle araştırmamıza açık fikirli olarak ulaştık. Ne biz (ne de bir başkası) Einstein'ın kütleçekim kuramının, denklemler tersinin mümkün olduğunu göstermediği sürece, görülemeyen, sonsuz boyuta izin vermiş olacağını kestirebilirdik. Sonsuz ek boyutun olanaksız olduğunun varsayıldığından habersiz, denklemlerimizin sonucunu büyük bir azimle izledik.

Yine de haklı olduğumuza hemen ikna olmadık. Ve Raman'la ben ek boyutlar konusundaki radikal fikre balıklama dalmadık. Ancak bizimle birlikte pek çok başkalarının anlamlı, daha konvansiyonel görüşler denemesinden sonra

uzayzaman kutumuzu terk ettik. Her ne kadar ek boyut egzotik ve alışılmamış bir öneri olsa da, Einstein'ın görelilik kuramı yine de uygulanır. Bu nedenle, bizim hayali evrenimizde ne olup biteceğini anlamak için denklemlerimiz ve matematiksel yöntemlerimiz var.

İnsanlar sonradan, ek boyutların fırlatma noktaları olduğunu varsayarak, böyle ek boyutları olmayan bir evrende uygulanabilecek olan yeni fiziksel fikirleri araştırmak üzere bu araştırmanın sonuçlarını kullandılar. Fizikçiler bu problem hakkında ortogonal (burada, gerçekten ortogonal) düşünerek daha önce tümüyle habersiz oldukları olasılıkları fark ettiler. Bunun da üç boyutlu uzay kutusu dışında düşünmeye yararı oldu.

Yeni şeylerle yüz yüze gelen birinin, problem tümüyle çözülmeden önce var olan belirsizliklerle birlikte bir süre yaşaması gerekir. Yeni bir olayı araştıran biri, var olan bilginin oluşturduğu düzgün, sağlam zeminden yola çıkarken bile, kaçınılmaz olarak –gerilmiş telde yürüyen biri kadar yaşamsal riskler olmasa bile– bilinmeyenlerle ve onlara eşlik eden belirsizliklerle karşı karşıya kalır. Uzay macera-perestleriyle birlikte sanatçılar ve bilim insanları da "daha önce hiç kimsenin gitmemiş olduğu yerlere cesaretle gitmeye" çalışırlar. Ama cesaret rastgele olmayıp, yeni yerler yeni fikirler ya da başlangıçta gerçekçi olmayan ve delice görünen deneyler içeriyor olsa bile, daha önceki başarıları göz ardı etmez. Araştırmacılar hazırlıklı olmak için ellerinden geleni yaparlar. Kuralların, denklemlerin tutarlılık konusundaki içgüdülerin işe yaradığı yer burasıdır. Bunlar yeni alanları katederken bizi koruyan donanımlardır.

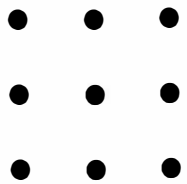
Meslektaşım Marc Kamionkowski'nin sözleriyle, "hırslı ve çağ ötesi olmaya, tamam." Ama buradaki ustalık hâlâ gerçekçi hedeflerin seçilmesidir. Benim de katıldığım Yaratıcılık Vakfı toplantısında bulunan, ödül kazanmış bir işletme öğrencisi, son zamanlardaki, ekonomide bir balona dönüşen, ekonomik büyümenin kısmen yaratıcılıktan kaynaklandığına dikkat çekti. Ama balonun patlamasına, düzenleme yokluğunun yol açtığını da ekledi.

Geçmişte çığır açan araştırmalardan bazıları çelişen kendine güven ve kuşku uyarılarının örneklerini oluşturur. Bilim yazarı Gary Taubes bir seferinde bana akademik dünyada tanıdığı insanların aynı zamanda hem kendine en çok güvenen hem de en güvensiz insanlar olduğunu söylemişti. Bu çelişki –ilerledikleri inancı ve haklı olduklarından emin olmak üzere uyguladıkları özenli standartlar– onlara güç verir. Yaratıcı insanlar bir katkı yapmak üzere yaratıldıklarına inanırlar ve bu arada sürekli olarak başkalarının çoktan düşünmüş ve akıllarından çıkarmış olabilecekleri benzer fikirleri akıllarında tutarlar.

Fikirleri konusunda çok maceracı olan bilim insanları sıra bunları sunmaya geldiğinde çok kuşkucu olabilirler. Bunlar arasındaki en etkili iki isim olan Isaac Newton ve Charles Darwin, büyük fikirlerini dış dünyayla paylaşmadan önce uzun süre beklemişlerdir. Charles Darwin'in araştırması uzun yıllar sürdü ve Darwin *Türlerin Kökeni* adlı eserini, ancak uzun gözlemsel araştırmalarını tamamladıktan sonra yayımladı. Newton'ın *Principia* adlı eseri, gelişmesi on yıldan daha uzun süren kütleçekim kuramını anlatıyordu. Newton kitabını yayımlamak için, üç boyutlu cisimlerin (sadece noktasal cisimler değil) de ters kare yasasına uyduğunu gösteren doyurucu bir ispatı tamamlayıncaya kadar beklemişti. Kütleçekimin bir cismin merkezinden itibaren alınan uzaklığın karesiyle azaldığını söyleyen bu yasanın ispatı için Newton'ın kalkülüs (diferansiyel ve integral hesap) matematiğini geliştirmesi gerekmişti.

Kimi zaman bir problemi doğru şekilde görmek ve görünürde olası bir çözüm yokken, bir çözüm bulabilmek amacıyla sınırları yeniden tanımlamak için o problemi yeniden formüle etmek gerekebilir. Sebat ve inanç sonuçta çok büyük fark yaratır; dinsel inanç değil elbette, bir çözümün var olduğuna dair inanç. Başarılı bilim insanları ve her türden yaratıcı insanlar ölü sonlara varmayı reddederler. Eğer bir problemi bir yolla çözemezsek, başka bir yol deneriz. Eğer yol kapanmışsa tünel açarız, başka bir yön buluruz veya üzerinden uçarak arazinin şeklini anlarız. Hayal gücü ve

ilk bakışta çılgınca görünen fikirlerin işin içine girdiği yer burasıdır. Devam edebilmek ve dünyanın eninde sonunda keşfedeceğimiz, tutarlı bir iç mantığı olduğuna güvenebilmek için bir yanıtın gerçekliğine inanmalıyız. Eğer bir şey hakkında doğru perspektifle düşünürsek, çoğu zaman, aksi durumlarda fark etmemiş olacağımız bağlantıları buluruz.

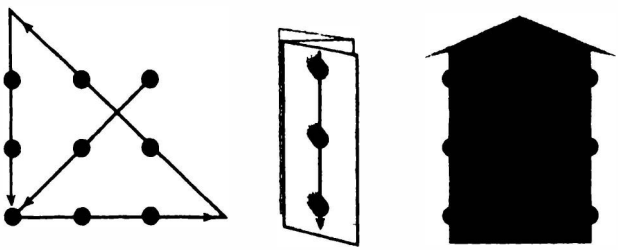


ŞEKİL 81 Dokuz nokta probleminde, bütün noktaları kaleminizi kaldırmadan dört doğru parçasıyla nasıl birleştirebileceğiniz sorulur.

"Kutunun dışında düşünmek" deyimi, küçük odanızdan çıkmaktan değil (benim bir zamanlar düşündüğüm gibi), dokuz noktayı kaleminizi kaldırmadan dört doğru parçasıyla nasıl birleştireceğinizi soran dokuz nokta probleminden gelir (Şekil 81). Eğer kaleminizi dokuz noktanın kapladığı alanın içinde tutma zorunluluğu varsa, bu problemin çözümü yoktur, ama bunun gerektiğini zaten kimse söylemedi ki. "Kutunun dışına" çıkmak problemin çözülmesini sağlar (Şekil 82). Bu noktada bu problemi başka birçok şekilde yeniden formüle edebileceğinizin de farkına varırsınız. Eğer geniş noktalar kullanırsanız, üç çizgi yeterli olur. Eğer kâğıdı katlarsanız (ya da gerçekten bir kız çocuğunun bu problemin yaratıcısına önerdiği gibi çok kalın bir çizgi kullanırsanız) yalnızca tek bir çizgi yeterli olur.

Bunlar aldatıcı çözümler değil. Eğer başka kısıtlamalar olsaydı, öyle olabilirdi. Ne yazık ki eğitim kimi zaman öğrencileri sadece problemleri çözmeye değil, öğretmenin niyetini tahmin etmeye, doğru yanıt aralığını ve potansiyel olarak öğrencilerin akıllarını küçültmeye yönlendiriyor. *Kuark ve*

Jaguar'da[4] Murray Gell-Mann, Washington Üniversitesinde Fizik Profesörü olan Alexander Calandra'nın, bir öğretmenin öğrencisine not verip vermemekte kararsız kaldığı "Barometre Hikâyesi"nden[5] söz eder. Öğretmen öğrenciye barometrenin bir binanın yüksekliğini ölçmek için nasıl kullanılabileceğini sormuştur. Bu öğrenci, barometreye bir ip bağlanıp binanın tepesinden yere sarkıtılabileceğini ve sonra da ipin ölçülebileceği yanıtını vermiştir. Öğrenciye fizik kullanması gerektiği söylenince o da, barometrenin binanın tepesinden yere düşmesi için ne kadar zaman geçtiğinin ölçülebileceği veya belirli bir zamanda gölgesinin uzunluğunun ölçülebileceği yanıtını vermiştir. Öğrenci gönüllü olarak bir başka fizik dışı çözüm de önermiştir: bina sorumlusuna, binanın yüksekliğini söylemesi koşuluyla barometreyi kendisine vereceğini söylemek. Bunlar elbette öğretmenin duymak istediği yanıtlar olmayabilir. Ama öğrenci, dirayetli (ve mizahi) bir şekilde, öğretmenin koyduğu sınırlamaların problemin bir parçası olmadığını fark etmiştir.



ŞEKİL 82 Dokuz nokta probleminin olası yaratıcı çözümleri arasında "kutunun dışında düşünmek," noktaların bir hizaya gelmesi için kâğıdı katlamak ve çok kalın uçlu bir kalem kullanmak da vardır.

Diğer fizikçilerle birlikte ben de 1990'larda uzaydaki ek boyutlar hakkında düşünmeye başladığımızda, yalnızca ku-

[4] Gell-Mann, Murray. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex* (W.H. Freeman & Company, 1994).

[5] *Teacher's Edition of Current Science 49*, no. 14 (January 6–10, 1964).

tunun dışına çıkmakla kalmadık, üç boyutlu uzayın kendisinin de dışına çıktık. Problemleri çözdüğümüz sahnenin içinde bulunduğu dünyanın, başlangıçta varsaydığımızdan daha büyük olduğunu düşünüyorduk. Bunu yaparken de, parçacık fizikçilerini yıllardır rahatsız eden problemlere potansiyel çözümler bulduk.

Bütün bunlara karşın, araştırma boşlukta ortaya çıkmaz. Daha önce başkalarının düşündüğü birçok fikir ve kavrayışla zenginleşir. İyi bilim insanları birbirlerini dinlerler. Kimi zaman doğru problemi ya da çözümü yalnızca başkalarının yaptıklarını çok dikkatli dinleyerek, gözleyerek ya da okuyarak bulabiliriz. Çoğu zaman başkalarının yeteneklerini de işin içine katmak ve dürüstlüğümüzü korumak için işbirliği yaparız.

Herkes bir problemi çözen ilk kişi olmak istese bile, bilim insanları hâlâ başkalarının çalışmalarından bir şeyler öğrenir ve ortak konulardaki çalışmalarını diğerleriyle paylaşır. Zaman zaman başka bilim insanları, bazen de farkında olmadan, ilginç problem ve çözümlerin ipuçlarını barındıran şeyler söylerler. Bilim insanlarının kendi parlak fikirleri olabilir ama buna karşın genelde fikir değiş-tokuşu yaparlar, sonuçları tartışırlar ve eğer özgün fikir işlemezse ya düzeltmeler yapar ya da yeniden başlarlar. Yeni fikirler ortaya koymak, bazılarını korurken diğerlerini çöpe atmak bizim geçim yolumuzdur. Böyle ilerleriz. Bu, kötü değildir. Gelişmenin yoludur.

Doktora öğrencilerine danışmanlık yaparken oynayabileceğim en önemli rollerden biri, henüz nasıl ifade edeceklerini henüz tam olarak öğrenmemiş olsalar da, onların iyi fikirlerine karşı uyanık olmak ve benim önerilerimde boşluklar bulduklarında onlara kulak vermektir. İleri-geri, yaratıcılığı öğretmenin ya da en azından beslemenin belki de en iyi yollarından biridir.

Başka yaratıcı girişimlerin çoğunda olduğu gibi bilimde de rekabet önemli bir rol oynar. Bir yaratıcılık tartışmasında sanatçı Jeff Koons, salonda bulunan bizlere, gençken kız kardeşinin sanatla uğraştığını ve kendisinin bu işi daha iyi

yapacağını fark ettiğini söylemişti. Genç bir film yapımcısı, birbirlerinin yöntem ve görüşlerini özümsemede ve böylece kendininkileri oluşturma ve güzelleştirmede rekabetin kendisi ve meslektaşları için nasıl teşvik edici bir rolü olduğunu açıklamıştı. Şef David Chang benzer bir düşünceyi daha dobra dobra ifade ediyordu. Yeni bir restorana gittiğinde şöyle düşünüyormuş: bu, çok lezzetli. Nasıl oldu da bunu ben düşünemedim?

Newton eserinin yayımlanması için sonuçların tamamlanmasını bekledi. Ancak ters kare yasasını bildiği halde bunu destekleyecek kalkülüs bilgisinden yoksun olan rakibi Robert Hooke'a karşı da ihtiyatlıydı. Yine de Newton'ın yayınını hızlandırmasına kısmen de olsa Robert Hooke'un benzeri bir çalışma yaptığının duyurulması etkili olmuş gibi görünüyor. Darwin'in de sonuçlarını açıklarken, Alfred Russel Wallace'ın benzer evrimsel fikirler üzerinde çalıştığı, sessiz kalmayı fazla uzatırsa onun çalışmasına galebe çalabileceği bilgisinin motivasyonunda önemli bir rol oynadığı kesindir. Hem Darwin hem de Newton, devrimci sonuçları sunmadan önce makalelerinin düzgün olmasını istemişler ve doğru olduklarından kesinlikle emin oluncaya –veya en azından artık kendilerinden önce davranılabileceğine inanıncaya kadar– kadar geliştirmişlerdir.

Evren bizden daha zeki olduğunu tekrar tekrar ortaya koyuyor. Denklemler ve gözlemler hiç kimsenin rüyasında bile görmediği fikirleri geliştiriyor. Gelecekte böyle gizli olayları sadece açık görüşlü soruşturmalar ortaya çıkarabilir. Su götürmez kanıtlar olmasaydı hiçbir bilim insanı kuantum mekaniğini icat edemezdi. Orada olduklarına dair olaylar ve denklemlerle karşılaşmamış olsaydık, DNA'nın kesin yapısının bulunmasını ve hayatı oluşturan çok büyük sayıdaki olaylar dizisini beklemek olanaksız olurdu, diye düşünüyorum. Atomun içinde olup bitenler ve gördüğümüz her şeyin yapısında bulunan parçacıkların davranışları gibi Higgs mekanizması da usta işi ve zekicedir.

Araştırma organik bir süreçtir. Her zaman mutlaka hangi yöne doğru gittiğimizi bilmemiz gerekmez ancak deneyler

ve kuram çok değerli kılavuzlar olarak hizmet ederler. Hazırlık ve beceri, yoğunlaşma ve sebat, doğru sorular sormak ve hayal gücümüze kuşkulu bir şekilde de olsa güvenmek, kavrayışa giden araştırmalarımızda bize yardımcı olur. Açık fikirli olmak, başkalarıyla konuşmak, bizden öncekilerden daha iyisini yapmaya çalışmak ve yanıtların var olduğuna inanmak da öyle. Motivasyon ve işin içine girebilecek olan belirli becerilerden bağımsız olarak bilim insanları içeri ve dışarı yöndeki araştırmalarını sürdürecekler ve evrende hazır bulunan başka yaratıcı mekanizmaları öğrenmek için dört gözle beklemeye devam edeceklerdir.

SONUÇ

Fizik araştırmalarım ve *Bükülmüş Geçitler* (*Warped Passages*)[1] *adlı kitabım* hakkındaki Alman basın raporlarının çevirilerine ilk baktığımda "edge of the universe" sözcüklerinin çok sayıda tekrarlandığını görmüş ve çok şaşırmıştım. Bu tabirin makul ancak görünüşe göre rastgele ortaya çıkmasının açıklaması ilk başta çok açık değildi ama sonra bilgisayarın benim soyadımı Almancaya böyle çevirdiği ortaya çıktı.[2]

Gerçekten de evrenin kenarındayız, hem küçük hem de büyük ölçeklerde. Bilim insanları 10^{-17} santimetrelik zayıf ölçekten evrenin yaklaşık 10^{30} santimetre olan boyutuna kadar olan uzaklıkları deneysel olarak keşfettiler. Gelecekteki gerçek paradigma kaymalarının sınırlarının hangi ölçek olacağından emin olamayız ancak birçok bilimsel göz şu anda, LHC ve kara madde araştırmalarının da deneysel olarak incelediği zayıf ölçeğe odaklanmış durumda. Aynı zamanda, kavrayışımızdaki boşlukları doldurmaya çalışırken, kuramsal çalışmalar da zayıftan Planck enerjilerine kadar ve daha büyük ölçekleri araştırmaya devam ediyor. Görülebilecek her şeyi gördüğümüzü düşünmek kendini beğenmişlik olur. Yeni keşiflerin beklediği neredeyse kesindir.

Modern bilimin çağı tarihin zaman çizgisinde küçücük bir nokta olarak temsil ediliyor. Fakat on yedinci yüzyılda doğuşundan itibaren teknoloji ve matematiğin ilerlemesi sayesinde elde edilen dikkate değer kavrayışlar bizim, dünyayı anlama çabasında etkileyici uzunlukta bir yol katetmemizi sağlamıştır.

Bu kitapta yüksek enerji fizikçileri ve kozmologların günümüzde yollarını nasıl belirledikleri ve kuramla deney

---

[1] Almancada *Verborgene Universen.*

[2] Almancada "rand" sözcüğü "kenar", "all" sözcüğü ise "evren" anlamına gelir.

birlikteliğinin bazı derin ve temel sorulara nasıl ışık tutabildiği anlatılıyor. Büyük Patlama kuramı evrenin şu andaki genişlemesini açıklar ama daha önce nelerin olduğu ve kara maddeyle kara enerjinin yapılarının ne olduğu sorularını yanıtsız bırakır. Standart Model temel parçacıkların etkileşmelerini tahmin eder ama özelliklerinin neden böyle olduğu sorusunu çözümsüz bırakır. Kara madde ve Higgs bozonunun bulunması, tıpkı yeni uzayzaman simetrileri ve hatta uzayın yeni bir boyutunun bulunması gibi, çok yakın olabilir. Şanslıysak yanıtlar yakında ortaya çıkabilir. Ya da, ilgili nicelikler çok ağır ya da çok zayıf etkileşmekte iseler, biraz zaman da alabilir. Sormaya ve bakmaya devam edersek bunu öğreneceğiz.

Sınanması daha da zor olan bazı düşünceler hakkındaki spekülasyonları da sundum. Her ne kadar bunlar hayal gücünü genişletiyor ve sonuçta gerçekliğe bağlıyor olsa da, felsefe veya dinin alanlarında kalabilirler. Bilim çoklu evren manzarasının –ve bu nedenle Tanrı'nın varlığının– aksini kanıtlayamayacaktır ama doğruluğunu kanıtlaması da olanaklar dahilinde değildir. Yine de, çoklu evrenin bazı yanlarının –sıradüzeni açıklayabilecek olan– sınanabilir sonuçları vardır. Bunları ortaya çıkarmak bilim insanlarına kalmıştır.

Bu kitabın diğer başlıca elemanları, bilimsel düşünceye bilgi veren ölçek, belirsizlik, yaratıcılık ve akılcı eleştirel mantık gibi kavramlar olmuştur. Bilimin yanıtlara ulaşmaya doğru ilerleyeceğine ve tam bir açıklamaya ulaşmadan önce zaman içinde bir karmaşa çıkabileceğine inanabiliriz. Yanıtlar karmaşık olabilir ama bu, mantığa inanmaktan vazgeçmeyi haklı çıkarmaz.

Doğayı, yaşamı ve evreni anlamak olağanüstü zor problemler doğurur. Hepimiz kim olduğumuzu, nereden gelip nereye gittiğimizi daha iyi anlamak ve kendimizden daha büyük, modadan daha kalıcı şeylere odaklanmak isteriz. Bazı kimselerin açıklamalar için neden dine döndüğünü anlamak kolaydır. Olgular ve şaşırtıcı bağlantıları gösteren yaratıcı yorumlar olmaksızın, bilim insanlarının şimdiye kadar olan yanıtlara ulaşmış olacaklarını tahmin etmek çok zor olurdu.

Bilimsel olarak düşünen insanlar dünya hakkındaki bilgimizi daha ileri götürür. Buradaki zorluk, anlayabileceğimiz kadarını anlamaktır ve bize gereken de, dogmalarla sınırlandırılmamış meraktır.

Meşru sorgu ve saldırganlık arasındaki çizgi bazıları için konu olabilir ama sonuçta, evrenin yapısı hakkındaki soruları yanıtlamanın tek güvenilir yolu kritik bilimsel bilgidir. Bazı çağdaş dinsel hareketlerdeki aşırı uçlarda bulunan entelektüel karşıtı akımlar geleneksel Hıristiyan mirasıyla çelişir –ilerleme ve bilim şöyle dursun– ama neyse ki bunlar bütün dini ve entelektüel bakış açılarını temsil etmiyor. Birçok düşünme biçimi –dini olanlar bile– var olan paradigmalara meydan okur ve fikirlerin evrilmesine olanak verir. Her birimiz için ilerleme, yanlış fikirleri değiştirmek ve doğru olanları inşa etmektir.

Son konuşmalardan birinde, Ulusal Bilimler Akademisinin eski başkanı ve şu anda *Science* dergisinin yazı işleri müdürü olan Bruce Alberts, bilimde kalıtsal olan yaratıcılık, akılcılık, açıklık ve hoşgörü gereksinmesini, Hindistan'ın ilk başbakanı olan Jawaharlal Nehru'nun "bilimsel tavır" olarak adlandırdığı sağlam nitelikler bütününü öne çıkardığı duyguyu takdir ettim.[3] Sosyal, pratik ve politik alanlarda birçok çetin konuyla uğraşmaya uygun, temel araçlar sağlayan bilimsel düşünüş yolları günümüz dünyasında son derece kritiktir. Bilim ve bilimsel düşüncenin ilgisi hakkında birkaç öte düşünceyle kapatmak istiyorum.

Günümüzdeki bazı karmaşık zorluklar, teknoloji, büyük bolluklar hakkında bilgi ve ham bilgisayar gücünün bir birleşimiyle ele alınabilir. Fakat birçok önemli ilerleme –bilimsel ya da başka türlü– uzun sürelerle zor problemler üzerinde çalışan, yaratıcı bireylerden oluşan, küçük ya da yalıtılmış gruplarca üretilen epeyce düşünceyi gerektirir. Her ne kadar bu kitap temel bilimin yapısı ve değerine odaklanmış olsa da; saf, merak odaklı araştırma bilimin kendisini ilerletmesine paralel olarak, yaşam biçimimizi kökten değiştirmiş

[3] *Bkz.*, örneğin, Susan Jacoby, *The Age of American Unreason* (Pantheon, 2008)

olan teknolojik atılımlara yol açmıştır. Bize zor problemler üzerinde düşünmenin önemli yollarını sağlamasının yanı sıra, temel bilim, incelemiş olduğumuz yaratıcılık ve ilkeleri özümseyen daha bilimsel düşünceyle birleştirildiğinde, yarının çözümlerini bulmamıza yardım edecek olan teknolojik aletleri ortaya çıkarır.

Şimdi soru, bu bağlamda daha önemli soruları nasıl ele alacağımızdır. Acaba teknolojiyi nasıl kısa süreli hedeflerin ötesine taşıyabiliriz? Bir teknoloji dünyasında bile hem düşüncelere hem de özendirmelere gereksinmemiz var. Gerçekten gerekli olan küçük bir alet yapan bir şirket çok başarılı olabilirse de yenisini arama işine kapılmak çok kolaydır. Ama bu, teknolojinin ele almasını istediğimiz gerçek konulardan uzaklaştırabilir. iPod eğlenceli olabilir ama iPod hayat tarzı günümüzün dünyasındaki büyük problemleri çözmeyecektir.

Wired dergisinin kurucularından biri olan Kevin Kelly, teknoloji ve ilerleme konulu bir konferansta, birlikte katıldığımız bir panelde şöyle demişti: "teknoloji evrendeki en büyük güçtür." Eğer gerçekten öyleyse, teknoloji devrimi için temel bilim esas olduğundan, bu en büyük güçten bilim sorumludur. Elektron hiçbir art düşünce olmadan keşfedilmiştir ama dünyamızı tarif eden elektronik oldu. Elektrik de tümüyle entelektüel bir keşiftir ama günümüzde dünya teller ve kablolarla sarılmış durumda. Atomun anlaşılması zor kuramı olan kuantum mekaniği bile Bell laboratuvarlarındaki araştırmacıların, teknolojik devrimin donanımının temelindeki transistörü geliştirmelerinde anahtar bir rol oynamıştır. Ama ilk dönemlerdeki atom araştırmacılarının hiçbiri yapmakta oldukları araştırmanın, bırakın bilgisayar gibi devasa bir araçta ve enformasyon devriminde kullanılmasını, ileride bir uygulaması olacağına bile inanmazlardı. Sonuç olarak bu atılımlara yol açan gerçekliğin yapısını derinden kavrayabilmek için hem temel bilimsel bilgiye hem de bilimsel düşünme yollarına gerek vardı.

Hiçbir bilgisayar gücü veya sosyal ağ Einstein'ın genel görelilik kuramını daha hızlı geliştirmesini sağlayamazdı. Bu sayede bilim insanları kuantum mekaniğini de daha ça-

buk anlayamazlardı. Bu, bir fikir ya da bir olayın yeni bir kavrayışı ortaya çıktığında, teknolojinin gelişmeyi hızlandıracağını inkâr etmek anlamına gelmez. Ve bazı problemler çok miktarda verinin derinlemesine incelenmesini gerektirir. Ancak genelde öz bir problemin varlığı esastır. Bilim pratiğinin bize sağladığı gerçekliğin doğası hakkındaki kavrayışlar, sonunda bizi öngöremediğimiz şekillerde etkileyen, dönüştürücü atılımlara yol açarlar. Bunların peşinde koşmaya devam etmemizin yaşamsal önemi vardır.

Teknolojinin merkezi önemde olduğu artık kabul edilmiştir. Bu, yeni gelişmelerden çoğunda teknolojinin kullanıldığı anlamında doğrudur. Ancak ne başlangıç ne de son olduğu ve bir şeylerin yapılması, gelişmelerden haberdar olunması ve bağlantı kurulması anlamında da merkezi olduğunu eklemeliyim. Onu hangi amaçla kullanacağımız bizim seçimimize kalıyor. Ve yaratıcı düşüncenin pek çok biçiminden, yeni problemlerin çözümünü kolaylaştıran veya yeni gelişmeler sağlayan kavrayışlar ortaya çıkar.

Fiziksel olarak MapQuest'te, mecazen bütün sosyal ağ sitelerinde gördüğümüz gibi, teknoloji aynı zamanda her birimizi kendi evrenimizin merkezine yerleştirir. Ama dünyanın problemleri çok daha engin ve küreseldir. Teknoloji çözümleri olanaklı kılabilirse de çözümler daha çok, en iyi bilimsel çalışmalarda gördüğümüz türden açık ve yaratıcı düşünceler sonucunda ortaya çıkar.

Geçmişte ulusumuzun bilim ve teknoloji ye önem vermesinin, uzun dönemli taahhütlerde bulunma ve bunlara sadık kalmanın gerekliliğinin de kabul edilmesiyle birlikte, bizi yeni gelişmelerin ve fikirlerin ön sıralarında tutan, başarılı bir strateji olduğu kanıtlanmıştır. Şimdi ise bu güne kadar bize çok yararlı olan bu değerleri kaybetme tehlikesi içindeymişiz gibi görünüyor. Yalnızca kısa vadeli ilerlemelerle yetinmediğimiz, uzun vadenin bedel ve faydalarını da anladığımız için, bu ilkelere sadık kalmayı sürdürmek zorundayız.

İleride karşılaşabileceğimiz bazı ciddi zorlukları irdelemek amacıyla kullanabilmemiz için, dünyamız hakkındaki

rasyonel sorgulama daha fazla krediyi hak ediyor. Bruce Alberts konuşmasında bilimsel düşünceyi, insanları boş laflara, basitleştirilmiş TV haberlerine ve taraflı radyo programlarına karşı silahlandırmanın bir yolu olarak da savundu. İnsanların bilimsel yöntemden uzaklaşmasını istemeyiz çünkü bu yöntem günümüzde toplumların uğraşmak zorunda oldukları ve aralarında mali sistem, çevre, risk değerlendirme ve sağlık yönetiminin de bulunduğu birçok karmaşık sistem hakkında anlamlı sonuçlar elde etmenin bir yoludur. Bilimsel olsun olmasın, ilerlemenin ve problemleri çözmenin ana öğelerinden biri, ölçek konusundaki farkındalık olmuştur ve olacaktır. Neyin gözlenmiş olduğunu ve anlaşıldığını ölçeklere göre sınıflandırmak bizi birimler; fiziksel ölçekler, popülasyon grupları veya zaman çerçeveleri olsun, fiziği ve dünyayı kavrayışımızda çok ileriye götürmüştür. Sadece bilim insanlarının değil, politik ve ekonomik liderlerin de böyle kavramları akılda tutmalarında yarar vardır.

Yüksek mahkeme yargıcı Anthony Kennedy Dokuzuncu Adli Yargı konuşmasında bilimsel düşüncenin önemine atıfta bulunmakla kalmadı, dünya hakkında düşünmemizin ayrıntılı ve küresel yollarına ilişkin olduğu kadar evrenin küçük ölçekli ve büyük ölçekli öğelerine de uygulanan, "mikro" ve "makro" düşünme yöntemleri arasındaki önemli zıtlığa da dikkat çekti. Bu kitapta görmüş olduğumuz gibi, pratik ve politik olduğu kadar bilimsel konuların da irdelenmesindeki faktörlerden biri, iki düşünce ölçeği arasındaki karşılıklı etkileşimdir. Bu ikisinin farkındalığı, yaratıcı fikirlere katkıda bulunan faktörlerden biridir.

Yargıç Kennedy aynı zamanda bilimin öğeleri arasındaki "gülünç ve anlamsız çözümlerin çoğu zaman gerçek çözüm oldukları ortaya çıkar" yargısını da çok beğendiğini belirtti. Ve durum gerçekten de böyledir. Bununla birlikte iyi bilimin kökenleri, yüzeysel olarak bakıldığında zoraki ve sağduyuya ters sonuçlara yol açsa bile, bu sonuçların doğru olduğunu gösteren ölçümlerde veya bizim gerçek olduğunu sandığımız, görünüşe göre delice sonuçları olan problemlerdedir.

Birçok öğe birleşerek iyi bilimsel düşüncenin temelini oluşturur. Bu kitapta bilimsel düşünüşün, fikirleri deneylerle sınadığı ve uygun olmadıklarında onlardan vazgeçtiği yollarla birlikte, rasyonel, bilimsel düşüncenin önemini ve onun maddeci önermelerini de iletmeye çalıştım. Bilimsel düşünüş belirsizliği başarısızlık olarak görmez. Riskleri uygun yollarla değerlendirir ve hem kısa hem de uzun vadeli etkilerini dikkate alır. Çözümleri ararken yaratıcı düşünceye olanak sağlar. Bunlar hem laboratuvar ya da ofisin içinde hem de dışında ilerlemeler sağlayabilecek olan düşünce kipleridir. Bilimsel yöntem evrenin sınırlarını anlamamıza yardımcı olur ama aynı zamanda, şimdi içinde yaşamakta olduğumuz bu dünyaya ilişkin kritik kararlarda bizi yönlendirir. Toplumumuz bu ilkeleri özümsemeli ve gelecek kuşaklara öğretmelidir.

Büyük sorular sormaktan ya da önemli kavramları ele almaktan korkmamalıyız. Meslektaşlarımdan biri olan Matthew Johnson, "Şimdiye kadar böyle bir fikir deposu hiçbir zaman olmamıştı", derken doğru söylüyordu. Ama henüz yanıtları bilmiyor ve deneysel testlerin sonuçlarını bekliyoruz. Kimi zaman yanıtlar, kozmik mikrodalga ışımasının bize evrenin ilk dönemindeki üstel genişlemesi hakkında pek çok şey öğrettiği durumda olduğu gibi, beklendiğinden çok daha önce gelir. Ve bazen de, bizi hâlâ bekleten LHC'de olduğu gibi, daha uzun zaman alabilir.

Yakında evrendeki kuvvetler ve evrenin yapısı hakkında olduğu kadar maddenin sahip olduğu özelliklere neden sahip olduğu konusunda da daha çok şey öğreneceğiz. Aynı zamanda "kara" olarak adlandırdığımız, kayıp şey konusunda da daha çok şey öğrenmeyi umuyoruz. O nedenle "tanıtıcı bölümümüz" sona ererken, daha önceki kitabım *Warped Passages*'daki giriş bölümünde de bulunan, Beatles şarkısından bir dizeye dönelim: "Got to be good-looking 'cause he's so hard to see." ("İyi görünümlü olmalı, zira zordur görmesi.") Yeni olayları ve kavrayışları bulmak zor olabilir ama beklemeye ve zorluklara değecektir.

DİZİN

açısal momentum 215
Adams, John C. 415
Adler, Fred 68
Adoration of Magi (Giotto) 55
Alberts, Bruce 463, 466
Alda, Alan 162
ALICE (A Large Ion Collider Experiment- Büyük İyon Çarpıştırma Deneyi) 197, 256
AMANDA (Antarctic Muon and Neutrino Detector Array- Antarktika Müon ve Nötrino Dedektör Dizgesi) 442
Amerikan Mirası Sözlüğü 73
AMS-02 441
Anderson, Carl 132
ANTARES 442
antropik ilke 398
Aprile, Elena 436
Ardalan (fon) olayları 393, 405, 411
Aristoteles 309, 378
Arkani-Hamed, Nima 361
Armstrong, Karen 75
ASCOT (Süper İletken Toroidlere Sahip Cihaz) 259
asimptotik durumlar 303
As Time Goes By (şarkı) 22
ATLAS (Toroid LHC Cihazı) 7, 148, 161, 162, 164, 187, 198, 254, 255, 256, 257, 258, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 268, 270, 271, 273, 274, 276, 282, 290, 325, 335
atom 40, 41, 42, 44, 45, 46, 80, 81, 99, 102, 106, 108, 109, 111, 112, 130, 131, 247, 313, 314, 318, 436, 464
atom fiziği 40
Augustine 50, 76, 77
Avatar (film) 395
Aymar, Robert 184

Bacon, Francis 49
Baldo-Ceolin, Massimilla 54
balon benzetmesi 401
Barings, Bank 219
Bellarmine, Robert 61, 90
Bernanke, Ben 234
Berners-Lee, Tim 280, 372
Berra, Yogi 276
Bevatron 131
Biogen 407
Bjorken, James 133
Blake, William 450
Bohr, Niels 35, 111, 276, 286, 314
Born, Brooksley 234
Brahe, Tycho 59, 65, 66, 242
Brooks, David 448
Brooks, James L. 166
Broom Köprüsü (Dublin) 48
Brout, Robert 150
Browne, Thomas 71
Buckley, Matthew 266
Bullet (Mermi) Kümesi 418, 419
Burke, Bernie 404
Büchmann, Anna Christina 27
Bükülmüş Geçitler (Warped Passages) (Randall) 15, 356, 382, 461
Büyük Birleşik Kuram (GUT) 120, 378
Büyük Patlama 75, 156, 398, 402, 403, 409, 410, 411, 421, 462

Calandra, Alexander 457
California Üniversitesi 433
Cameron, James 394

Cassano, Joseph 219
CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (Örgütü)) 18, 21, 138, 139, 141, 142, 143, 145, 148, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 172, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 194, 195, 196, 198, 202, 210, 225, 227, 254, 255, 258, 262, 263, 274, 280, 290, 317, 325, 372
CERN Konseyi 183, 185
Chamberlain, Owen 131
Chang, David 459
Clinton, Bill 181
CMS (Sıkı Müon Solenoidi) 5, 7, 148, 164, 186, 187, 188, 189, 197, 198, 254, 255, 256, 257, 258, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 282, 325, 335, 342, 352
Coleman, Sidney 445
Coles, Katherine 68
Comte, Auguste 439
Couchepin, Pascal 196
Csikszentmihalyi, Mihaly 448

DAMA deneyi 435, 437
Darwin, Charles 455
Dattola, Domenico 267
da Via, Cinzia 256, 257, 267
Davut (Michelangelo) 305, 306
Dawkins, Richard 93
Day the Earth Stood Still, The (film) 72
demet-demet çarpışmaları 135
Demokritos 99
Derrickson, Scott 8, 30, 72
DESY (Deustches Elektronen Syncrotron) 172
Dicke, Robert 404
Dimopoulos, Savas 361
Dirac, Paul 131
DNA 103, 104, 106, 459
Dona, Leonardo 61
Doppler etkisi 399
Doro, Michele 64
Doyle, Arthur Conan 71
Dvali, Gia 361
Dylan, Bob 88
Dylan, Jesse 162

EAGLE 259
E = mc2 115, 118, 129, 140, 294, 319, 410
Englert, François 150
Evans, Lyn 7, 184, 199, 425

Fabricius, Hieronymus 105
fasulye torbaları 277
Fermi, Enrico 286, 303
Fermilab 143, 172, 180, 189, 199, 202, 257
Feynman, Richard 51, 126, 127, 133, 203, 231, 445
Fielding, Henry 27
Fillon, François 196
Finkbeiner, Doug 7, 432
Fish, Stanley 93
Fleming, Alexander 453
Ford, Kent 417
Fragola, Joe 8, 218, 223
Franklin, Benjamin 22, 34
Freedman, Wendy 402
Fresnel, Augustin-Jean 50
Friedman, Jerome 132
Friedrich, Caspar David 70

Gago, Jose Mariano 196
Gamow, George 113
Gell-Mann, Murray 113, 299, 302, 303, 457
Genel Karşı-Parçacık Spektrometresi (GAPS) 441
Georgi, Howard 120, 378, 445
Gianotti, Fabiola 7, 254, 258
Giddings, Steve 208
Gilbert, Wally 407
Gladwell, Malcolm 448, 449
Glashow, Sheldon 120, 121, 378, 379

Goldman, Sachs 215, 228
Google 39, 449, 452
Gosse, Philip 75
Gould, Stephen Jay 85
Grateful Dead 88
Greenspan, Alan 234
Gregerson, Linda 8, 68, 69, 71
Gross, David 94, 162, 303
Guralnik, Gerald 150
Guth, Alan 407, 409, 420
Güneş 63, 65, 66, 90, 393, 442

Habsburg, Francesca von, 162
Hagen, C. R. 150
Halley Kuyrukluyıldızı 56
Hamilton, William Rowan 47, 48, 49
Harris, Sam 93
Harvey, William 105
hassaslık 67, 95, 242, 243, 247, 250, 251, 252, 269, 315
Hawking ışınımı 206, 207, 208
Hawking, Stephen 53, 58, 206
hayvan manyetizması 34
Heisenberg, Werner 110
Herbert, George 93
HESS (Yüksek Enerjili Steoroskopi Sistemi) 440
Higgs alanı 150, 151, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 328, 330, 331, 333, 337
Higgs bozonu (Higgs parçacığı) 18, 148, 150, 151, 278, 296, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 340, 341, 345, 346, 355, 368
Higgsino 347, 348
Higgs mekanizması 150, 151, 309, 318, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 330, 333, 459
Higgs, Peter 150, 318, 327
Hitchens, Christopher 93
Holmes, Sherlock 71
Hooke, Robert 50, 65, 459
Hoyle, Fred 398
Hubble, Edwin 157, 399
Huckabee, Mike 28
Huxley, Thomas 300
Huygens, Christian 50

İncil 76, 77, 88
ivme 420

Janssen, Zacharias 64
Japon sanatı 307
Jenni, Peter 254
Johnson, Matthew 467
Joyce, James 113
Jura dağları 180
Jüpiter 62

Kaluza, Theodor 357, 364
Kamionkowski, Marc 454
Kant, Immanuel 69
Kaplan, David B. 451
karşı-kuark 115, 116, 117, 143, 278, 332, 334
karşı-müon 285
karşı-parçacıklar 139, 285, 428
karşı-proton 131, 132, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 441
karşı-tau 285, 335
Katolik Kilisesi 74, 90
Kazablanka (film) 450
Keats, John 299
Kelly, Ellsworth 307
Kelly, Kevin 464
Kendall, Henry 132
Kennedy, Anthony 466
Kepler, Johannes 57, 59, 91
Kısasa Kısas (Levenson) 61
Kibble, Tom 150
Klein, Calvin 449
Klein, Oskar 357, 364
Koerner, Joseph 63
Koons, Jeff 458
Kosslyn, Stephen 38
Kovar, Dennis 20
Kozmik Mikrodalga Ardalan Kâşifi 405
Kristof, Nicholas 246
Kriyojenik Kara Madde Araştırması 432

Kriyojenik Kara Madde Araştırması (CDMS) 432
Kuark ve Jaguar (Gell-Mann) 456

Lawrence, Ernest 8, 131
Leclerc, Georges-Louis 450
Lederman, Leon 328
Lee, T. D. 21, 254, 280, 372
Lehmann, Harry V. 202
Lemaitre, Georges 75
Leonhardt, David 234, 235
LEP (Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı) 138, 139, 141, 143, 165, 166, 168, 184, 186, 197, 198, 329
Levenson, Tom 8, 61
Le Verrier, Urbain Jean Joseph 415
Linde, Andrei 410
Lippershey, Hans 59, 64
Llewellyn Smith, Christopher 185
Lloyd, Humphrey 49
Luther, Martin 90

Mad Men (TV dizisi) 72
Malpighi, Marcello 105
Mangano, Michelangelo 208
Man on Wire (film) 447
Maxwell, James Clerk 49
Meade, Patrick 210, 373
Merkür 101, 396, 415, 451
Meyrin 262
Michelangelo 208, 305
Milton, John 94
Mont Blanc 394
Montgomery, Hugh 20
Musk, Elon 162

NASA 218
Natcher, William 181
Nehru, Jawaharlal 463
Nelson, Harry 433
Neptün 415
Newton, Isaac 28, 33, 40, 41, 47, 50, 51, 57, 58, 62, 65, 66, 80, 91, 101, 102, 110, 111, 112, 135, 231, 395, 396, 451, 455, 459
New York Times 1, 146, 223, 234, 235, 246, 342, 448
Nowak, Martin 46

Obama, Barack 86
Oddone, Pier 20
Oliver, John 216
Omphalos (Gosse) 75
Onun Üsleri 392
Oort, Jan 416
Opticks (Newton) 47
Outliers (Gladwell) 448
Overbye, Dennis 342

Padua 53, 54, 55, 64, 67, 105, 144
Page, Larry 449
PAMELA (Karşı-Madde/Madde Araştırması ve Hafif Çekirdekler Astrofiziği Uydusu) 440, 441
Pasteur, Louis 453
Pauli, Wolfgang 285, 346
Peebles, Jim 404
Penzias, Arno 403, 404, 405
Perez, Gilad 255, 256
Petit, Philippe 446
Picasso, Pablo 448
Pierini, Maurizio 197
Planck kütlesi 340, 361
Planck, Max 235, 304
Planck uydusu 413
Planck uzunluğu 104, 122
Planck zarı 367
Platon (Eflatun) 309, 378
Pleiades 61
Polchinski, Joe 358
Politzer, David 303
Pollock, Jackson 308
Power, Clement 69

Rabi, Isidor Isaac 179, 284
Reagan, Ronald 181
Reinhart, Carmen 233
Religio Medici (Browne) 71, 72
Riley, Bridget 307
Rilke, Rainer Maria 69

Rogoff, Kenneth 233
Rosenthal, Benjamin 20
Rubbia, Carlo 141, 185
Rubin, Vera 416, 417
Rutherford, Ernest 130, 131, 132

Salam, Abdus 92
Sancho, Luis 202
Scrovegni Şapeli (Padua) 55
Sears, Richard 218
Secret, The (Byrne) 35
Segrè, Emilio 131
Serra, Richard 305, 306
Shapley, Harlow 399
Sıkı Müon Solenoidi 264
Sidereus Nuncius (Galileo) 61
Silver, Nate 213, 236
SLAC (Stanford Çizgisel Hızlandırıcı Merkezi) 132, 138, 139, 143
Spielberg, Steven 33
Spiropulu, Maria 342
Standart Model 121, 129, 133, 141, 147, 151, 153, 199, 249, 251, 252, 256, 262, 278, 279, 282, 284, 285, 286, 287, 289, 291, 295, 296, 314, 316, 318, 319, 320, 326, 328, 329, 330, 334, 337, 341, 345, 346, 347, 350, 361, 371, 374, 375, 426, 427, 431, 439, 462
Streb, Elizabeth 8, 31, 41, 394, 447
Sundrum, Raman 201, 205, 356, 365, 366, 367, 371, 453
Süpernova Kozmoloji Projesi 420
Süper Proton Senkrotronu (SPS) 169

Tale of Genji 27
Taubes, Gary 455
Taylor, Richard 76, 132, 133
Tegmark, Max 397
Tennyson, Alfred 20
Tevatron 142, 143, 163, 172, 197, 199, 257, 277
This Time Is Different (Reinhart and Rogoff) 233
Thomas Edison 453
Tom Jones (Fielding) 27
Tonelli, Guido 258
Tucker-Smith, Dave 352
Türlerin Kökeni (Darwin) 455
Tycho Sistemi 66

UNESCO 179
Uranüs 415

van der Meer, Simon 141
Vanity Fair 162
Venüs 63
Vicente, Mark 35, 239

Wagner, Walter 202, 216
Wallace, Alfred Russel 459
Wanderer Above the Sea of Fog (Friedrich) 70
W bozonu 165, 293, 294, 295, 331, 333
Weinberg, Steven 53
Weiner, Neal 432
What the Bleep Do We Know!? (film) 35
WIMP (zayıf etkileşen büyük kütleli parçacık) 429, 431
Wilczek, Frank 303
Wilkinson, David 411
Wilson, Robert 8, 403, 404, 405
Witten, Edward 53

Young, Thomas 50

Zanonato, Flavio 54
Z bozonu 165, 322, 323
Zinn, Kai 449
Zweig, George 113, 302
Zwicky, Fritz 416, 417
Zwirner, Fabio 8, 53

Bildiğimiz en küçük cisimleri inceleyen parçacık fiziği ile en büyük cisimleri inceleyen kozmolojideki keşiflerin kıyısında harekete hazır bir şekilde bekliyoruz. Bu keşifler gerçekleştiğinde, evren ve modern dünya hakkında bildiklerimizde devrimci gelişmeler olacaktır.

Lisa Randall, Galileo ile Newton'dan Einstein ile CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısına ve Higgs bozonu araştırmalarına kadar, evreni anlamak için yaptığımız korkunç ilerlemelerin bir haritasını çıkartıyor. Aslında bu, fiziğin ötesinde bir şeydir. Randall hangi soruları soracağımıza nasıl karar verdiğimizi; risk, güzellik, yaratıcılık ve gerçekliğin bilimsel düşüncede oynadıkları rolleri ve önemli sorulara verilecek yanıtların kim olduğumuz ve nereden geldiğimiz konularını nasıl aydınlatacağını açıklıyor.

"Sizi farklı düşünmeye yöneltecek ve ... daha doğru kararlar almanızı sağlayacak bir kitap." –Bill Clinton, ABD eski başkanı

"Lisa Randall'ın bilimdeki olağandışı, üst düzey anlatımı, ve saydamlığı insana kendini çok iyi hissettiriyor." –Richard Dawkins

"Göz kamaştırıcı düşünceler...Yarının bilimini anlamak için bugün bu kitabı okuyun." –Steven Pinker

"Etkileyici bir çalışma...bilimle ilgilenen herkesin okuması gereken bir kitap." –*Sunday Times*

"Lisa Randall çok yetenekli...Tutku ve insanı şaşırtan gerçeklerle dolu... Büyüleyici." –*Independent on Sunday*

ALFA
www.alfakitap.com
/alfakitap
/alfakitap
/alfakitap