

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

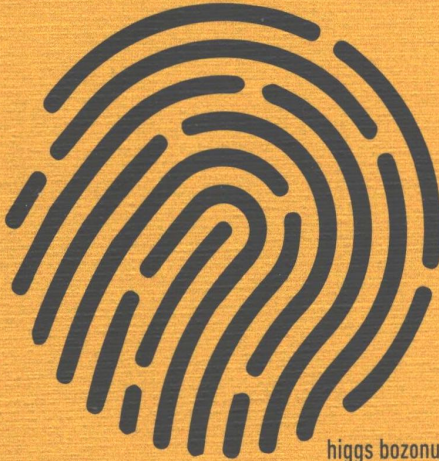
- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

SEAN CARROLL

TÜRKÇESİ: MEHMET MORALI

HIGGS

EVRENİN SONUNDAKİ PARÇACIK



higgs bozonunun
peşinde yeni bir
dünyanın kıyısına
nasıl vardık



GINKO
BİLİM

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - <https://rantey.org>

SEAN CARROLL

California Teknoloji Enstitü'sünde profesör olarak görev yapan Sean Carroll'ın uzmanlık alanı kozmolojidir. Özellikle kara enerji ve genel görelilik konularında çok sayıda makalesi vardır. Ayrıca *Nature*, *The New York Times*, *Sky & Telescope* ve *New Scientist* dergilerinde bilim yazıları yazmaktadır. NASA, NSA, Alfred P. Sloan Vakfı, Amerikan Fizik Derneği, Amerikan Fizik Enstitüsü ve Londra Kraliyet Topluluğundan aldığı birçok ödül bulunmaktadır. *Zamanın Kozmolojik Tarihi* ve *Büyük Resim* [Alfa Bilim] kitaplarının yazarı olan Sean Carroll, yazar olan eşi Jennifer Ouellette ile birlikte Los Angeles'ta yaşamaktadır.

MEHMET MORALI

1956'da İstanbul'da doğdu. Saint Joseph Lisesi'ni ve Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 1996'dan bu yana İngilizce ve Fransızcadan çeviri yapıyor. Önemli çevirilerinden bazıları şunlardır: David Harvey, *Sosyal Adalet ve Şehir* (2006, Metis Yayınları); Mark Mazower, *Karanlık Kıta: Avrupa'nın 20.Yüzyılı* (2003, 2008, Bilgi Üniversitesi Yayınları); Olivier Roy, *Yeni Orta Asya ya da Ulusların İmal Edilişi* (2009, Metis Yayınları); Sevtap Demirci, *Belgelerle Lozan: Taktik-Stratejik-Diplomatik Mücadele, 1922-1923* (2011, Alfa Yayınları); Nadia El Cheikh, *Arapların Gözüyle Bizans* (2012, Alfa Yayınları); M. NaimTurfan, *JönTürklerinYükselişi* (2013, Alfa Yayınları); SusanWise Bauer, *Antik Dünya: İlk Kayıtlardan Roma'nın Dağılmasına ve Batı Biliminin Öyküsü* (2013, Alfa Yayınları), Sean Carroll, *Zamanın Kozmolojik Tarihi* (2017, Alfa Yayınları).

Kitabın özgün adı: The Particle at the End of the Universe:
How the Hunt for the Higgs Boson Leads Us to the Edge of a New World

GINKO BİLİM - 24

BİLİM KURULU

KEREM CANKOÇAK • GÜNSELİ BAYRAM AKÇAPINAR • FERNAT SARI

HIGGS: EVRENİN SONUNDAKİ PARÇACIK SEAN CARROLL

- higgs bozonunun peşinde yeni bir dünyanın kıyısına nasıl vardık -

© Sean Carroll, 2012, Tüm hakları saklıdır.

TÜRKÇESİ • MEHMET MORALI

KAPAK ve İÇ TASARIM • DEVRİM KOÇLAN

ISBN 978-605-69691-8-8

Birinci Basım Kasım 2019

© Ginko Kitap Ltd. Şti. 2019

Baskı: Mutlu Basım Yayın - Bahri Mutlu

Davutpaşa Cad. Güven İş Merkezi C Blok No. 256 Topkapı / İst.

Sertifika No: 18569

Ginko: Osmanağa Mah. Ali Suavi Sk. No: 10 D. 3 Kadıköy / İstanbul • Sertifika No: 35054

T: 0216 449 20 99 • F: 0216 449 21 00

www.ginkokitap.com • posta@ginkokitap.com

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>



SEAN CARROLL

HIGGS: EVRENİN SONUNDAKİ PARÇACIK

higgs bozonunun peşinde yeni bir
dünyanın kıyısına nasıl vardık

TÜRKÇESİ: MEHMET MORALI



GINKO BİLİM

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	11
BİR / İŞİN ÖZÜ	17
İKİ / TANRISALLIĞIN KİMSİNDE	29
ÜÇ / ATOMLAR VE PARÇACIKLAR	47
DÖRT / HIZLANDIRICI ÖYKÜSÜ	61
BEŞ / İNŞA EDİLMİŞ EN BÜYÜK MAKİNE	79
ALTI / TOKUŞTURMAYLA GELEN BİLGİ	95
YEDİ / DALGALARDAKİ PARÇACIKLAR	115
SEKİZ / KIRIK BİR AYNADAN	133
DOKUZ / EVİ YIKMAK	159
ON / BİLGİYİ YAYMAK	185
ON BİR / NOBEL RÜYALARI	203
ON İKİ / BU UFKUN ÖTESİNDE	233
ON ÜÇ / SAVUNMAYA DEĞER KILMAK	257
SONSÖZ	271
EK BİR / KÜTLE VE SPİN	281
EK İKİ / STANDART MODEL PARÇACIKLARI	291
EK ÜÇ / PARÇACIKLAR VE ETKİLEŞİMLERİ	297
TEŞEKKÜRLER	311
DİZİN	327

***Beni kütüphaneye götüren
Anneme***

İnsanlar yeni bir gerçeğin etkisini küçümser.

**-JOE INCANDELA, BÜYÜK HADRON
ÇARPIŞTIRICISINDAKİ CMS¹
İŞBİRLİĞİNİN SÖZCÜSÜ**

1 CMS: Tıkız Müon Solenoidi (Compact Müon Solenoid) –ç.n.

GİRİŞ

JoAnne Hewett yüzünde geniş bir gülümsemeyle bir video kamera karşısında hevesle konuşurken, sersemlemiş gibiydi. San Francisco'daki İsviçre konsolosluğundaki partinin katılımcılarından heyecanlı bir uğultu yükseliyordu. Bu eşsiz bir vesileydi, Cenevre dışındaki Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (LHC, Large Hadron Collider), yani Fransa-İsviçre sınırında kurulmuş olan ve evrenin sırlarını çözme yolundaki görevine başlamakta olan muazzam parçacık hızlandırıcısının yeraltı tünellerinde ilk protonların dönmeye başlaması kutlanıyordu. Şampanya su gibi akıyordu, beklendiği gibi. Hewett'in sesi vurgulu biçimde yükseldi: "Bugünü Yirmi. Beş. Yıldır. Bekliyordum."

Büyük bir andı. 2008'in o noktasında, fizikçiler ileri doğru o büyük adımın atılması için elzem olduğunda ısrarcı oldukları şeyi nihayet elde etmişlerdi: protonları çok yüksek enerjilerde çarpıştıracak dev bir hızlandırıcı. Bir ara Birleşik Devletlerin böyle bir makine inşa edeceğini düşünmüşlerdi ama işler beledikleri gibi gelişmedi. 1983'te, ABD Kongresi, Texas'ta Süperiletken Süper Çarpıştırıcısının (SSC, Superconducting Super Collider) inşasını ilk onayladığında Hewett lisansüstü eğitimine yeni başlıyordu. SSC'nin 2000 yılı öncesinde devreye girmesi planlanıyordu ve o zamana kadar inşa edilen çarpıştırıcıların en büyüğü olacaktı. O da kuşağının parlak ve ihtiraslı birçok başka fizikçisi gibi, oradaki buluşların araştırma kariyerinin temelini oluşturmacağına inanıyordu.

Ama SSC iptal oldu ve gelecek on yıllarda alanlarının gidişatını şekillendirmesi için buna güvenen fizikçilerin altından halıyı çekti. Siyaset, bürokrasi ve iç çekişmeler yolu tıkadı. Şimdi, birçok açıdan SSC'nin tasarlanan halinin bir benzeri olan LHC nihayet ilk kez olarak ateşlenecekti ve Hewett ile meslektaşları

onun için fazlasıyla hazırdılar. “Geçen yirmi beş yılda yaptığım, herkesin aklına gelen tüm çılgınca kuramları alıp SSC ya da LHC’de yeni parçacıkları nasıl belirleyeceğimizi hesaplamakla geçti,” diyordu.

Hewett’in sersemlemişliğinin başka, daha kişisel bir nedeni daha vardı. Videoda kızıl saçları çok kısaydı, neredeyse asker tıraşı gibi. Bu bir moda tercihi değildi. O yılın başlarında saldırgan bir meme kanseri teşhisi konmuştu, beşte bir olasılıkla öldürücü bir kanser. Aşırı sert bir tedavi programını seçti, sert bir kemoterapi ve bitmez tükenmez gibi duran ameliyatlar söz konusuydu. Alameti farikası olan ve genellikle beline kadar uzanan kızıl saçları kısa sürede kayboldu. Zaman zaman, bir kahkaha eşliğinde itiraf ettiği gibi, LHC’de hangi yeni parçacıkların bulunacağını düşünerek moralini yüksek tuttu.

JoAnne ve ben birbirimizi yıllardır tanırız hem dost hem de meslektaş olarak. Benim uzmanlığım esas olarak kozmolojidir. Evrenin bir bütün olarak incelenmesi, bu son yıllarda elde edilen yeni veriler ve şaşırtıcı keşiflerle altın çağını yaşıyor. Entelektüel bir disiplin olarak kozmolojiden ayrılamayacak olan parçacık fiziği gene de kuramsal dağarcığımızı besleyip bizi yeni fikirlere doğru ilerletecek yeni deneysel sonuçların açlığını çekiyordu. Baskı uzun süredir birikmekteydi. Partiye katılanlardan bir diğer fizikçi, Washington Üniversitesinden Gordon Watts’a LHC için olan uzun bekleyişin stresli olup olmadığı soruldu. “Ah, evet, kesinlikle. Şurada bir tutam ağarmış saçım var. Karım bunun nedeninin çocuk olduğunu iddia ediyor ama aslında LHC yüzünden.”

Parçacık fiziği yeni bir çağın eşiğinde bulunuyor, burada kimi kuramlar çökerken, belki de başkaları doğru yere pey sürmüş olacak. Partideki her fizikçinin kendi gözde modelleri var, Higgs bozonu, süpersimetri, technicolor, ekstra boyutlar, kara madde gibi bir dizi egzotik fikir ve fantastik sonuçlar.

“LHC’nin ortaya çıkartacakları konusunda benim umudum, ‘yukarıdakilerin hiçbirisi’” der Hewett. “Samimiyetle, bunun bir sürpriz olacağını düşünüyorum çünkü bence doğa bizden daha akıllı, bizim için hazırladığı bazı sürprizler var. Hepsinin ne olduğunu anlamaya çalışırken çok eğleneceğiz ve bu muhteşem olacak!”

Bu 2008'deydi. 2012'de, LHC'nin devreye alınması için kutlanan San Fransisco partisi sona erdi ve buluş çağı resmen başladı. Hewett'in saçları gene uzadı. Tedavi dehşet vericiydi ama anlaşılan başarılı oldu. Bu arada tüm kariyeri için beklediği deney de tarih yazıyor. Yirmi beş yıl kuram oluşturduktan sonra, Hewett'in fikirleri nihayet gerçek veriler –evvelce insan gözünün görmediği parçacıklar ve etkileşimler, doğanın şimdiye kadar bizden gizlediği sürprizler– karşısında sınava tabi tutuluyor.

4 Temmuz 2012'ye sıçrayalım, Uluslararası Yüksek Enerji Fiziği Konferansının açılış gününe. Bu iki yılda bir, her sefer dünyanın başka bir kentinde düzenlenen bir toplantı ve o yıl da Avustralya'nın Melbourne kentinde düzenlendi. Aralarında Hewett'in de bulunduğu yüzlerce parçacık fizikçisi özel bir semineri dinlemek üzere ana oditoryumu doldurmuştu. LHC'nin tüm yatırımı, yılların birikimi, o beklenti karşılığını almak üzereydi.

Sunum Melbourne'a LHC'nin mekânı olan Cenevre'deki CERN laboratuvarından naklen verilecekti. Normal koşullarda konferans programının bir parçası olarak Melbourne'da sunulması gereken iki konuşma yapılacaktı. Büyükler, bu büyüklükte bir olayın LHC'nin o kadar başarılı olmasına katkıda bulunan birçok kişiyle paylaşılması gerektiğine karar vermişti. Bu duygu takdir görmüştü, CERN'deki yüzlerce fizikçi konuşmanın programlandığı Cenevre saatiyle sabahın dokuzundan saatler önce iyi bir yer kapma umuduyla uyku tulumlarıyla sıraya girmişlerdi.

CERN'in genel müdürü Rolf Heuer konuşmaları başlattı. LHC verilerini toplayıp çözümlemekte çalışan iki ana deneyin sözcüleri, Amerikalı fizikçi Joe Incandela ve İtalyan fizikçi Fabiola Gianotti konuşacaklardı. Her iki deney de üç biner işbirlikçi içeriyordu ve bunların çoğunluğu da bütün dünyaya dağılmış bilgisayar monitörlerine yapışmış bekliyordu. Olay yalnızca Melbourne'a değil, gerçek zamanlı olarak sonuçları duymak isteyen herkese canlı yayınlanıyordu. Modern büyük bilimin bu kutlaması için uygun bir ortamdı, büyük beklentileri ve heyecan verici sonuçları olan uluslararası bir yüksek teknoloji çabasıydı söz konusu olan.

Asabi enerji kırıntıları hem Gianotti'nin hem de Incandela'nın konuşmalarında bariz biçimde ortadaydı ama sunumlar açıldı.

Her biri deneylerin olası kılınmasında yardımcı olan mühendis ve bilim insanlarına yürekten teşekkür ettiler. Sonra titizlikle, sunmak üzere oldukları sonuçlara neden inanmamız gerektiğini açıkladılar, makinelerinin nasıl çalıştığını anladıklarını ve verilerin çözümlemesinin kesin ve güvenilir olduğunu gösterdiler. Ancak sahne titizlikle hazırlandıktan sonradır ki, bize ne bulduklarını gösterdiler.

Ve işte oradaydı. Eğitimsiz gözler için pek bir şey ifade etmeyen ama tutarlı özellikte bir avuç grafik: belli bir enerjiye sahip, beklendiğinden daha fazla olay (tek bir çarpışmadan çıkan parçacık toplulukları). Seyirciler arasındaki tüm fizikçiler bunun ne demek olduğunu derhal anladılar: yeni bir parçacık. LHC doğanın o zamana kadar hiç görülmemiş bir parçasına göz atmıştı. Incandela ve Gianotti gerçek buluşları talihsiz istatistiksel dalgalanmalardan ayırmayı amaçlayan zahmetli istatistiksel çözümlemeleri sundular ve her iki durumda da sonuçlar tereddüde yer vermeyecek şekilde açtı: Bu gerçektir.

Alkışlar. Cenevre’de, Melbourne’da ve tüm dünyada. Veriler o kadar kesin ve açıktı ki yıllardır deneylerde çalışan bilim insanları bile şaşırmıştı. LHC’nin dolambaçlı güzergâhında sonuca varmasında herkesten fazla etkili olan Galli fizikçi Lyn Evans, iki deney arasındaki incelikli uyum karşısında “şoke olduğunu” ifade etti.

O gün ben de CERN’deydim, ana oditoryumun yanındaki basın odasında, gazeteci taklidi yapıyordum. Gazetecilerin izledikleri haberleri alkışlamaları beklenmez ama toplanan muhabirler o anın baskın heyecanına kapıldılar. Bu yalnızca CERN’in ya da fiziğin başarısı değildi; bu tüm insan ırkı için bir başarıydı.

Bulunanın ne olduğunu bildiğimizi düşünüyoruz: İskoç fizikçi Peter Higgs’e atfen “Higgs Bozonu” adı verilen bir temel parçacık. Higgs de seminerler için salondaydı, seksen üç yaşında ve açıkça heyecanlıydı: “Hayattayken bunu göreceğimi hiç düşünmedim.” 1964’te aynı fikri benzer şekilde öneren birçok önemli fizikçi de oradaydı; kuramların nasıl adlandırılacağına usulleri her zaman adil olmamıştır ama bu herkesin kutlamalara katılabileceği bir andı.

Peki, nedir bu Higgs bozonu? Doğanın, çeşitleri çok da fazla olmayan temel parçacıklarından biridir ve üstelik çok özel bir tür

parçacıktır. Modern parçacık fiziğinde üç tür parçacık bilinir. Madde parçacıkları vardır, elektronlar ve kuarklar gibi. Bunlar gördüğümüz her şeyi oluşturan atomları yapılandırır. Kuvvet parçacıkları vardır, bunlar madde parçacıklarını bir arada tutan kütleçekimi, elektromanyetizmayı ve çekirdek kuvvetlerini işletirler. Bir de kendine özgü kategorisi içinde Higgs vardır.

Higgs ne olduğuyla değil ne yaptığıyla önem kazanır. Higgs parçacığı uzayı kaplayan, adına “Higgs alanı” denen bir alandan doğar. Bilinen evrendeki her şey, uzayda ilerlerken, Higgs alanı içinde hareket eder; hep oradadır, ardalandaki görünmez bir şekilde dolanır ve önem taşır: Higgs olmadan, elektronlarla kuarklar, tıpkı ışık parçacığı olan foton gibi kütsüz olurdu. Onlar da ışık hızında hareket eder ve bırakın bildiğimiz anlamıyla yaşamı, atomlarla moleküllerin oluşması bile mümkün olmazdı. Higgs alanı sıradan maddenin dinamikleri açısından etken bir oyuncu değildir ama ardalandaki mevcudiyeti yaşamsaldır. Bu olmasa, dünya tamamen farklı bir yer olurdu. Ne var ki artık onu bulduk.

Bir uyarıda bulunmakta yarar var. Elimizde olan çok Higgs-benzeri bir parçacığın kanıtı. Doğru kütleyle sahip, kabaca beklenen şekilde üreyip bozunuyor. Yine de bulmuş olduğumuz kesinlikle özgün modelde öngörülen basit Higgs olduğunu güven içinde söyleyebilmek için daha çokbaştayız. Daha karmaşık bir şey ya da kapsamlı bir ilişkili parçacıklar ağıının bir parçası olabilir. Ama kesinlikle yeni bir parçacık bulduk ve bu tam da bizim Higgs’in davranacağını düşündüğümüz gibi davranıyor. Bu kitabın amaçları açısından, 4 Temmuz 2012’yi Higgs bozonunun bulunuşunun açıklandığı tarih olarak ele alacağım. Bunun daha ince bir şey olduğu ortaya çıkarsa, o zaman herkes için daha iyi olur, fizikçiler sürprizleri görmek için yaşar.

Higgs bulunuşunun parçacık fiziğinde yeni bir çağın başlangıcını temsil ettiğine dair umutlar çok güçlü. Fizikte şu anda bilip anladıklarımızdan çok daha fazlasının olduğunu biliyoruz; Higgs’i incelemek henüz görülmedik dünyalara açılan yeni pencereler sunuyor. Gianotti ve Incandela gibi deneycilerin elinde inceleyecek yeni bir örnek var; Hewett gibi kuramcılarının elinde de daha iyi modeller inşa etmek için yeni ipuçları. Evren anlayışımız ileri doğru muazzam, çoktandır beklenen bir adım attı.

higgs: evrenin sonundaki paracak

Bu kitap gerçekliğin, Higgs'in de can alıcı bir parçası olduğu nihai doğasını keşfetmeye yaşamlarını adanmış olan insanların öyküsü. Kuramcılar var, ellerinde kalem kâğıt, espresso ve meslektaşlarıyla olan tartışmalar tarafından ateşlenen, zihinlerinde soyut fikirleri döndürüp duran insanlar. Mühendisler var, makineleri ve elektroniği var olan teknolojinin sınırlarının çok ötesine zorluyorlar. En önemlisi de deneyciler var, doğa hakkında yeni bir şeyler bulmak için makinelerle fikirleri bir araya getiriyorlar. Modern fiziğin ön safları milyarlarca dolara mal olan ve tamamlanması on yıllar alan, olağanüstü fedakârlıklar ve eşsiz ödüller için yüksek peyler sürülen projeler gerektiriyor. Bunlar bir araya geldiğinde, dünya değişiyor.

Hayat güzel. Bir kadeh daha şampanya alın.

İŞİN ÖZÜ

Burada, bir grup yetenekli ve fedakâr insanın neden yaşamlarını görülemeyecek kadar küçük şeylerin aranmasına adadıklarını soruyoruz.

Parçacık fiziği ilginç bir etkinliktir. Binlerce insan milyarlarca doları kilometreler çapında dev makineler inşa etmeye harcar, atomaltı parçacıkları ışık hızına yakın süratlerde döndürüp çarpıştırırlar ve tüm bu işleri parçacık fizikçisi olmayanların gündelik yaşamlarında esasında hiçbir etkisi olmayan başka atomaltı parçacıkları incelemek için yaparlar.

Yani bu işe bakmanın bir yolu budur. Şu da başka bir yolu: parçacık fiziği, insanın içinde yaşadığımız dünya üzerine merakının en saf tezahürüdür. İnsanlar hep sorular sordu ve iki bin yılı aşkın bir süre önceki eski Yunanlardan bu yana, keşfetme dürtüsü, evrenin nasıl işlediğini belirleyen temel kuralları bulma yolunda dünya çapındaki sistemli çabaya dönüştü. Parçacık fiziği doğrudan bizim dünyamızı anlama yolundaki durmak bilmeyen arzumuzdan kaynaklanıyor; bizi harekete geçiren parçacıklar değil, anlamadığımızı çözme yolundaki insani arzu.

Yirmi birinci yüzyılın ilk yılları bir dönüm noktasıdır. Bir parçacık hızlandırıcısından elde edilen gerçekten şaşırtıcı son deneysel sonuç 1970'lerde, yirmi beş yılı aşkın bir süre önce gerçekleşti (Bunun tam tarihi, sizin “şaşırtıcı” tanımınıza bağlıdır). Bunun nedeni deneycilerin aletleri başında uyuya kalmış olmalarından değil, hem de hiç değil. Makineler hamleler ve uzun adımlarla ilerledi ve çok kısa süre önce bile çok uzak mesafelerdeki olanaksızlıklar olarak görülen yerlere geldiler. Sorun,

gördüklerinin zaten görmelerini beklediğimiz şeyler olmasında. Sürekli şaşırtılmayı uman bilim insanları için bu hayli sıkıntı verici bir durum.

Diğer bir deyişle, sorun deneylerin yetersiz olmasında değil, kuramın çok iyi olmasında. Modern bilimin uzmanlaşmış dünyasında, “deneycilerin” ve “kuramcılarının” rolleri hayli ayrılmıştır, özellikle de parçacık fiziğinde. Yirminci yüzyılın ilk yarısı gibi yakın bir tarihteki, İtalyan fizikçi Enrico Fermi gibi bir dâhinin zayıf etkileşim için yeni bir kuram önerdiği, sonra dönüp ilk kendi içinde tutarlı nükleer zincirleme reaksiyonun inşasına rehberlik ettiği günler geride kalmıştır. Bugün, parçacık kuramcıları karatahtalarda denklemler karalar, bunlar eninde sonunda özgül modellere dönüşür ve aşırı hassas makinelerden veriler toplayan deneyciler tarafından teste tabi tutulur. En iyi kuramcılar deneycilerin yaptıklarını yakından izler, deneyciler de onlarınkini ama her ikisinde birden uzmanlaşmış kimse yoktur.

1970’ler, ilhamdan aşırı düzeyde yoksun bir terim olan “Standart Model” adıyla bilinen en iyi parçacık fiziği kuramımıza son rötuşların yapılmasına tanıklık etti. Kuarkları, gluonları, nötrinoları ve duymuş olabileceğiniz tüm diğer temel parçacıkları tanımlayan Standart Model’dir. Hollywood yıldızları ya da karizmatik politikacılar gibi, bilimsel kuramlar da bir kaidenin üzerine yerleştirilirler ki onları devirebileyim. Başkasının kuramının doğru olduğunu göstererek ünlü bir fizikçi olamazsınız; başkasının kuramının neresinin yanlış olduğunu göstererek ya da daha iyi bir kuram önererek ünlü olursunuz.

Ama Standart Model inatçıdır. Şimdiye kadar, on yıllardır, yeryüzünde gerçekleştirebileceğimiz tüm deneyler öngörülerini harfiyen doğruladı. Tüm bir parçacık fizikçileri kuşağı, keşfedecekleri ya da açıklayabilecekleri yeni bir olgu olmadan, öğrencilikten kıdemli profesörlüğe akademik merdivenin basamaklarını tırmandılar. Beklenti neredeyse taşınamayacak ağırlıkta.

Tüm bunlar değişiyor. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı, insanın evvelce ulaşamadığı enerjilerde parçacıkları çarpıştırarak, fizikte yeni bir çağı temsil ediyor. Dahası bu yalnızca yüksek enerji değil. Yıllardır hayal ettiğimiz, kuramsal olarak öngörülen yeni parçacıkları ve umuyoruz ki bazı sürprizleri bulmayı beklediği-

miz bir enerji düzeyi, “zayıf etkileşim” olarak bilinen kuvvetin sırlarını sakladığı enerji.

Sürülen peyler çok yüksek. İlk kez olarak bilinmeyene göz atılırken, her şey olabilir. LHC’nin bulacağı umulan bir dizi rakip kuramsal model var. Bakana kadar ne göreceğinizi bilemezsiniz. Spekülasyonların merkezinde Higgs bozonu yer alıyor. Mütevazı bir parçacık ama hem Standart Modelin son parçasını hem de ötesindeki dünyaya ilk bakışı temsil ediyor.

Küçük parçacıklardan oluşan büyük bir evren

Güney California’da, Pasifik kıyısının yakınlarında, Los Angeles’ta benim yaşadığım yerden güneye doğru bir buçuk saatlik mesafede hayallerin hayata büründüğü sihirli bir yer var: Legoland. Dino Land (Dinozorlar Diyarı), Fun Town (Eğlence Kasabası) ve diğer atraksiyonlarda, çocuklar, sonsuz olasılıklar çerçevesinde bir araya getirilebilecek minik plastik bloklar olan Legolardan inşa edilmiş kapsamlı bir dünyayı hayranlıkla seyre-diyorlar.

Legoland gerçek dünyaya çok benzer. Her an için, yakın çevreniz normal koşullarda her türden maddeyi içerir: ahşap, plastik, kumaş, cam, metal, hava, su, canlılar. Çok farklı özellikleri olan çok farklı şeyler. Ama daha yakından baktığınızda, bu maddelerin gerçekte birbirlerinden farklı olmadığını görürsünüz. Bunlar aslında az sayıda temel yapı taşının farklı dizilişleridir. Bu yapı taşları da temel parçacıklar. Legoland’daki binalar gibi, masalar, otomobiller, ağaçlar ve insanlar, az sayıda basit parçay-la yola çıkıp onları farklı şekillerde bir araya getirerek elde edebileceğiniz şaşırtıcı çeşitliliğin bir kısmını temsil ediyorlar. Bir atom bir lego bloğunun yaklaşık trilyonda biri boyutlarında, ama ilkeler benzeşiyor.

Maddenin atomlardan oluştuğu fikrini doğru kabul ediyoruz, bu bize okulda öğretilen bir şey, orada, duvarında elementlerin periyodik tablosunun asılı olduğu sınıflarda kimya deneyleri gerçekleştiriyoruz. Bu olgunun ne kadar basit olduğu gerçeğini gözden kaybetmek çok kolay. Bazı şeyler yumuşak, bazıları da serttir; bazıları hafif, bazıları da ağırdır; kimileri sıvı, kimileri katı, kimileri de gazdır; bazıları saydam, bazıları opak olur; bazı

şeyler canlıdır, bazıları da değil. Ama yüzeyin altında, tüm bu şeyler aslında aynı türden malzemedir. Periyodik cetvelde yüz kadar atom sıralanır ve çevremizdeki her şey bu atomların bileşiminden oluşur.

Dünyayı birkaç temel bileşen üzerinden anlayabileceğimiz umudu eski bir fikirdir. Kadim zamanlarda, bir dizi farklı kültür, Babilliler, Yunanlar, Hindular ve başkaları hayli tutarlı bir biçimde her şeyin yapıldığı bir beş “element” dizisi icat etmişlerdir. En aşına olduklarımız toprak, hava, ateş ve sudur ama beşinci bir göksel element daha vardır, esir ya da öz. (Evet, Bruce Willis ve Milla Jovovich’in oynadıkları film adını buradan alıyor.) Birçok başkaları gibi, bu fikir de Aristoteles tarafından kapsamlı bir sistem haline getirilmiştir. Her elementin belli bir doğal duruma eğilimli olduğunu önermişti; örneğin, toprak düşmeye eğilimlidir, hava da yükselmeye. Elementler farklı bileşimlerde karıştırılarak, çevremizde gördüğümüz farklı maddeler elde edilir.

Aristoteles öncesinden bir Yunan filozofu olan Demokritos ilk olarak bildiğimiz her şeyin bazı çok küçük bölünemez parçalardan oluştuğunu önermiş ve bunlara “atom” adını vermişti. Tarihin talihsiz bir kazası sonucu bu terminoloji 1800’lerin başlarında çalışan bir kimyacı tarafından ele geçirilip kimyasal elementleri tanımlayan parçaları adlandırmakta kullanılmıştır. Şu anda atom olarak tasavvur ettiğimiz şey hiç de bölünmez değildir, çevresinde elektronların döndüğü protonlar ve nötronlardan oluşan bir çekirdekte oluşur. Hatta protonlarla nötronlar da bölünmez değildir; onlar da daha küçük, “kuark” adı verilen parçalardan oluşur.

Kuarklarla elektronlar gerçek atomlardır, Demokritos’un verdiği anlamla, maddenin bölünmez yapı taşları. Bugün onları “temel parçacık” diye adlandırıyoruz. Atom çekirdeğini oluşturan protonlarla nötronların yapısına iki tür kuark giriyor, neşeli bir şekilde “yukarı” ve “aşağı” olarak adlandırılanlar. Böylece, yakın çevremizde algıladığımız her madde parçasını oluşturmak için hepsi birlikte üç temel parçacığa ihtiyacımız var, elektronlar, yukarı kuarklar ve aşağı kuarklar. Bu antikitenin beş elementine göre bir ilerleme, periyodik cetvele göre çok büyük bir ilerlemedir.

Ama dünyayı yalnızca üç parçacığa indirgemek biraz abartıdır. Her ne kadar elektronlarla yukarı ve aşağı kuarklar otomobilleri, nehirleri ve köpek yavrularını açıklamakta yeterli olsalar da keşfettiğimiz parçacıklar yalnızca bunlar değildir. Aslında on iki farklı madde parçacığı vardır: yeğın (kuvvetli, baskın) etkileşime giren ve protonlarla nötronlar gibi daha büyük derlemelelerin içinde bulunan altı kuark ve uzayda bireysel olarak hareket edebilen altı “lepton.” Aynı zamanda bunları gördüğümüz birkaç karışımında bir arada tutan kuvvet içeren parçacıklar da vardır. Kuvvet parçacıkları olmasa, dünya gerçekten de sıkıcı bir yer olurdu, tek tek parçacıklar uzayda doğrusal hatlar boyunca hareket edip hiçbir etkileşime girmezlerdi. Çevremizdeki her şeyi açıklamak için hayli küçük bir bileşenler dizisi ama doğrusu, daha basit de olabilirdi. Modern parçacık fizikçileri daha iyisini yapma arzusuyla hareket ederler.

Higgs bozonu

Bu parçacık fiziğinin Standart Modelidir: on iki madde parçacığı artı onları bir arada tutacak bir kuvvet taşıyıcısı parçacıklar grubu. Dünyanın en düzenli resmi değil belki ama verilere uyuyor. Çevremizdeki ya da en azından yeryüzündeki dünyayı başarıyla betimlemek için gerekli tüm parçaları bir araya getirdik. Dışarıda, uzayda, henüz her şeyi anlamadığımızın inatçı anımsatıcıları olarak kara madde ve kara enerji gibi şeylerin kanıtlarını buluyoruz, bunlar kuşkusuz Standart Model tarafından açıklanamayan şeyler.

Çoğunlukla, Standart Model zarifçe madde parçacıkları ve kuvvet taşıyan parçacıklar olarak bölünür. Higgs bozonu farklı bir durumdur. Bu fikri 1960’larda önerenlerden biri olan Peter Higgs’e atfen adlandırılan Higgs bozonu bir çeşit çirkin ördektir. Teknik açıdan bir kuvvet taşıyıcı parçacıktır ama çok aşına olduklarımızdan farklı türden bir kuvvet taşıyıcıdır. Kuramsal fizikçinin bakış açısından, Higgs aslında güzel bir yapıya rastgele ve tuhaf bir eklenti gibi durur. Higgs bozonu olmasa, Standart Model zarafet ve erdemin simgesi olacaktı; bu haliyle, biraz karışıktır. Karışıklık yaratmanı bulmak da hayli zor bir iş olmuştur.

Peki neden o kadar çok fizikçi Higgs bozonunun var olması gerektiğine kani olmuştu? “Diğer parçacıklara kütle kazandırmak için,” ve “simetrileri bozmak için” gibi açıklamalar duyacaksınız ki bunların ikisi de doğru ama ilk elde hazmetmesi de güçtür. Esas nokta, Higgs bozonu olmadan Standart Modelin çok farklı görüneceği ve hiç de gerçek dünyaya benzemeyeceğidir. Higgs bozonuyla, kesin bir uyum söz konusudur.

Kuşkusuz kuramsal fizikçiler Higgs bozonunun bulunmadığı ya da bozonun standart öyküden çok farklı olduğu kuramlar geliştirmek için çok uğraşmışlardır. Kuramların birçoğu verilerle karşılaştığında başarısız olmuş, diğerleri de gereksizce karmaşık gözükmiştir. Hiçbiri gerçek bir gelişme gibi gözükmemiştir.

Ve artık onu bulduk. Ya da ona çok benzeyen bir şeyi. Ne kadar temkinli olduklarına bağlı olarak, fizikçiler ya “Higgs bozonunu bulduk,” ya “Higgs-imsi bir parçacık bulduk,” ya da hatta “Higgs’e benzeyen bir parçacık bulduk,” diyeceklerdir. 4 Temmuz açıklaması, Higgs’in davranacağına varsayıldığı şekilde davranan bir parçacık betimler, başka bazı parçacıklara aşağı-yukarı beklediğimiz gibi bozunmaktadır. Ama daha erkendir ve daha fazla veri topladığımızda daha fazla sürprizler olması mümkündür. Fizikçiler bunun hepimizin beklediği Higgs olmasını istemiş *değildir*; beklenmedik bir şey bulmak hep daha ilginç ve eğlenceli olmuştur. Verilerde bu yeni parçacığın tam olarak beklediğimiz Higgs olmayabileceği yolunda çok küçük ipuçları vardır. Gerçeği ilerideki deneyler ortaya çıkartacaktır.

Neden umurumuzda?

Bir seferinde, yerel bir radyo istasyonunda parçacık fiziği, kütleçekim, kozmoloji gibi konularda bir söyleşi yapmıştım. Yıl 2005, Einstein’ın fizik dünyasını altüst eden bir avuç makalesini yayımladığı “mucizevi yılı” 1905’in yüzüncü yıldönümüydü. Bu soyut kavramlardan bazılarını açıklamak için elimden geleni yapmış, radyoda olduğumu bilmeme karşın elimi kolumu aşağı-yukarı sallamaktan kendimi alamamıştım.

Söyleşiyi gerçekleştiren mutlu olmuş gibiydi ama biz bitirdikten ve o da kayıt cihazlarını topladıktan sonra, kafasında bir ampul yanmıştı sanki. Bir soruya daha yanıt verip vermeyeceğimi sordu.

Tabii, dedim, o da mikrofonunu, kulaklığını yeniden kurdu. Soru basitti: “Neden kimsenin umurunda olsun ki?” Ne de olsa, bu araştırmanın sonuçları hiçbir şekilde kansere çare olmayacak ya da daha ucuz bir akıllı telefon ortaya çıkartmayacaktı.

Aklıma gelen yanıt bana hâlâ anlamlı gelir: “Altı yaşımız-dayken, hepimiz bu soruları sorarız. Gök neden mavidir? Neden nesneler aşağı düşer? Neden bazı şeyler sıcak, bazıları da soğuktur? Bunlar nasıl çalışır?” Bilimle ilgilenmek için öğrenmemiz gerekli değildir, çocuklar doğal bilim insanlarıdır. İçimizde olan bu merak yıllar süren okul ve gerçek yaşamın baskısı sonucu bastırılır. Nasıl iş buluruz, özel birisiyle karşılaşırız, çocuklarımızı büyütürüz gibi sorularla meşgul olmaya başlarız. Dünyanın nasıl işlediği sorusunu bırakıp bizim çıkarımıza nasıl işleyeceğini sormaya başlarız. Sonraları, çocukların on ya da on dört yaşına kadar bilimi sevdiğini gösteren araştırmalara rastladım.

Bu günlerde, dört yüz yılı aşkın bir süre ciddi bir şekilde bilim araştırmalarını sürdürmemizin ardından, içimizdeki altı yaşındaki çocuğa verecek birkaç yanıtımız var. Fiziksel dünya hakkında o kadar çok şey biliyoruz ki yanıtsız sorular artık uzak yerlerde ve aşırı koşullarda bulunuyor. En azından, fizikte böyle; biyoloji ya da nöroloji gibi alanlarda yanıtların hâlâ kaçıp gittiği sorular sormakta bir zorluk çekmiyoruz. Ama fizikte ya da en azından gerçekliğin temel yapıtaşlarıyla ilgilenen “temel” fizik alt-alanı anlayışın sınırlarını o kadar ileri götürmüştür ki halihazırdaki kuramlarımıza uymayan yeni veriler elde etmek için dev hızlandırıcılar ve teleskoplar inşa etmemiz gerekmektedir.

Bilim tarihinde, elle tutulur yararların hemen sağlanacağı umuduyla değil, yalnızca merak nedeniyle sürdürülen temel araştırmaların ardı ardına, neredeyse kendine rağmen, elle tutulur muazzam yararlar yol açtığı görülmüştür. 1831’de, modern elektromanyetizma anlayışımızın kurucularından olan Michael Faraday’e bir politikacı, soruşturması sırasında, bu yeni moda “elektrik” işinin yararını sormuştu. Doğruluğu kuşkulu yanıt şuydu: “Bilmiyorum, ama bahse girerim ki bir gün hükümetiniz bundan vergi alacak.” (Bu görüşme hakkındaki kanıtlar kuşkuludur ama insanların tekrarlayacağı kadar güzel bir öyküdür.) Bir yüzyıl sonra, bilim alanındaki en parlak zekâlardan bazıları, sonunda tüm fiziğin ana temellerini devirecek olan birkaç şaşı-

tıcı deneysel sonucun ışığında, yeni kuantum mekaniği alanıyla boğuşmaktaydı. Bu o sıralarda hayli soyuttu ama sonrasında transistörlere, lazerlere, süperiletkenliğe, LED'lere ve nükleer enerji (ve nükleer silahlar) üzerine tüm bildiklerimize varacaktı. Bu temel araştırma olmasa bugünkü dünyamız tamamen farklı bir yer olurdu.

Einstein'ın parlak uzay ve zaman kuramı olan genel göreliliğin bile, ayakları yere basan uygulamaları oldu. Eğer bir yerlerde, yönünüzü bulmak için Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System, GPS) kullandıysanız genel görelilikten yararlanmışsınız demektir. Cep telefonunuzda ya da arabanızın navigasyon sisteminde bulabileceğiniz bir GPS birimi yörüngedeki bir dizi uydudan sinyaller alır ve bu sinyallerin hassas zamanlamasını kullanarak yeryüzündeki bir nokta elde eder. Ama Einstein'a göre, yörüngedeki (ve dolayısıyla daha zayıf bir kütleçekim alanındaki) saatler, deniz seviyesindekilere göre biraz daha hızlı ilerler. Küçük bir etki, ama birikir. Görelilik hesaba katılmamış olsa, GPS sinyalleri zamanla kayıp, yararsız hale gelirdi, yalnızca bir gün içinde, yeriniz birkaç kilometre şaşardı.

Ama teknolojik uygulamalar, önemli olmalarına karşın, nihayetinde benim, JoAnne Hewett'in ya da cihazlar inşa edip verileri karşılaştırmakla uzun saatler geçiren deneycilerden herhangi birinin peşinde olduğumuz şey değildir. Gerçekleşirlerse, çok iyi olur ve birileri yaşlanmaya bir çare olarak Higgs bozonunu kullanırsa burun kıvrımayız. Ama onu aramamızın nedeni bu değildir. Arıyoruz, çünkü merak ediyoruz. Higgs çok uzun zamandır çözmeye çalıştığımız bir bilmecenin son parçasıdır. Onu bulmak başlı başına bir ödül.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Higgs'i bulmamız, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı sayesinde oldu, insanın keşif tutkusunun cisimleşmesine verilmiş sıkıcı bir isim daha. LHC insan tarafından şimdiye kadar inşa edilmiş en büyük, en karmaşık makinedir ve sıkı bir dokuz milyar dolara (yaklaşık 50 milyar tl) mal olmuştur. CERN'de çalışan bilim insanları bunun elli yıl boyunca üretken bir biçimde çalışacağını

umuyorlar. Ama onlar o kadar sabırlı değiller; dünyayı değiştirecek bazı sonuçları derhal elde etmek iyi olurdu, teşekkür ederiz.

LHC ölçülebilecek her açıdan muazzamdır. İlk olarak 1980’lerde hayal edilmişti ve inşası 1994’te onaylandı. Çalıştırılmadan çok önce, LHC büyük haber oldu çünkü dünyayı yok edecek bir kara delik oluşturabileceği gerekçesiyle inşasının durdurulmasının talep edildiği davalar açılmıştı. Bunlar başarıyla saf dışı bırakıldı ve dev çarpıştırıcı 2009’da çalışmasına başladı.

13 Aralık 2011’de, tüm dünyada fizikçiler ve birtakım meraklı izleyiciler LHC’den araştırmacıların iki konuşmasını dinlemek üzere seminer salonlarında ve bilgisayarların çevresinde toplandılar. Konu, Higgs bozonunun aranmasıydı. Bu türden bir konu fizik seminerlerinde sıklıkla görülen bir başlıktır ve mesaj neredeyse her seferinde “Araştırma iyi gidiyor bize şans dileyin!” tarzında olur. Bu kez durum farklıydı. Birkaç gün öncesinden internette alışıldık mesajın verilmeyeceğine dair bir söylenti yayılmıştı, bu kez, “Tamam, bir şeyler görmüş olabiliriz. Belki de sonunda Higgs bozonunun gerçekten de orada olduğu yolunda bir kanıt bulmuşuzdur,” diyeceklerdi.

Yanıt evet oldu, gerçekten de LHC’nin Higgs’i gördüğüne dair ipuçları vardı. Ama sadece ipuçları; son söz söylenmemişti. LHC, protonları inanılmaz enerjilerle çarpıştırmıştı ve iki dev deneysel dedektör bu çarpışmalardan hangi parçacıkların çıktığına bakmıştı; iki yüksek enerjili fotonun (ışık parçacığı) belli bir enerjide ortaya çıkması, Higgs bozonunun mevcut olmaması durumunda olacak olandan biraz da olsa, daha fazla kez gerçekleşmişti. Kuşkusuz, bir şeylerin olduğuna dair bir kanıt ama henüz bir buluş değil. Ama her şeyin kokusu iyiydi. Rolf Heuer basın konferansını bir süslemeyle bitirmişti: “gelecek yıl bir buluşla karşılaşmak üzere.”

Öyle de yaptılar. 4 Temmuz 2012’de, iki seminer Higgs araştırmasındaki son durum konusunda bizi bilgilendirdi. Bu kez iştah açıcı ipuçları değildi söz konusu olan; yeni bir parçacık bulmuşlardı, kuşku yoktu. Tüm dünyadaki binlerce fizikçi neşeyle alkışladılar ama aynı zamanda da rahatlayarak iç çektiler; LHC başarılı olmuştu.

Kavşaklar

Parçacık fiziği kritik bir eşikte duruyor. İnsan ırkının evrenin nasıl işlediğini daha iyi anlama yolundaki uzun soluklu çabasının temel bir parçasındayız. Ne var ki bu iş çok pahalı ve geleceği de belirsiz.

Higgs bozonu peşindeki araştırma yalnızca bir atomaltı parçacıkları ve esrarlı fikirler öyküsü değil. Bu aynı zamanda bir para, siyaset ve kıskançlık öyküsü. İşin içinde o kadar çok insanın, görülmemiş uluslararası işbirliğinin ve birçok teknolojik yeniliğin bulunduğu bir proje belli bir düzeyde işbirliği, pazarlık ve ara sıra da entrika olmadan gerçekleşmez.

LHC, Higgs'i bulmayı amaçlayan ilk dev parçacık hızlandırıcısı değil. Chicago'nun hemen dışındaki Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı'ndaki (Fermi National Accelerator Laboratory, Fermilab) Tevatron vardı, 1983'te devreye girdi ve üst kuark'ın (ama Higgs'in değil) bulunmasının da içinde bulunduğu verimli bir yaşamdan sonra nihayet 2011 Eylülü'nde kontak kapattı. 1989-2000 yılları arasında bugün LHC'nin yer aldığı aynı yeraltı tüneline işleyen Büyük Elektron-Pozitron çarpıştırıcısı (Large Electron-Positron Collider, LEP) vardı. Çarpıştıklarında karışık parçacık sıçramalarına yol açan görece kütleli protonlar yerine, LEP elektronlarla karşı-madde kardeşleri pozitronları çarpıştırıyordu. Bu kurulum çok hassas ölçümler yapılmasını olası kıldı ama bu ölçümlerin hiçbiri Higgs'i ortaya çıkartmadı.

Bir de Hewett'in özlemle atıfta bulunduğu Süperiletken Süper Çarpıştırıcı (Superconducting Super Collider) var ya da SSC. SSC, LHC'nin Amerikan sürümüydü ama daha büyük, daha iyi olacaktı ve daha önce devreye girmesi planlanıyordu. 1980'lerde önerilen SSC, LHC'nin bir gün erişeceği enerjilerin neredeyse üç katında (şimdi eriştiğinin beş katında) işleyecekti. Ama LHC, SSC karşısında muazzam bir avantaj sahibi olmakla övünebilir: o inşa edildi.

Yalnızca birkaç yıllık çalışmanın ardından, LHC bize gerçek bir buluş bağışladı, Higgs bozonuna çok benzeyen bir parçacık. Bu bir çağın sonu ama başka birinin de başlangıcı. Higgs yalnızca yeni bir parçacık değildir, o özel, çok doğal bir şekilde henüz

tespit edemediğimiz türden başka parçacıklarla da etkileşime girebilecek bir parçacıktır. Standart Modelin nihai yanıt olmadığı biliyoruz; astronomların saptadığı kara madde bunun açık kanıtıdır. Higgs bizim dünyamızı erişimimizin hemen ötesinde bulunan bir başkasına bağlayan portal olabilir. Yeni bir parçacık bulduğumuza göre, önümüzde özelliklerini ve bizi nerelere götüreceğini öğrenmek için geçireceğimiz on yıllar var.

DeneySEL parçacık fiziğinin uzun vadeli geleceği kuşkuludur. Bir yüzyıl, hatta elli yıl önce, tek bir bilim insanı ve öğrenci grubu tarafından kurulabilecek türden cihazlarla parçacık fiziğinde temel bir buluş gerçekleştirmek mümkündü. O günler geride kaldı. LHC bize Higgs'i verip başka bir şey vermezse, kuşkucu hükümetleri bir sonraki nesil çarpıştırıcıyı inşa etmek için kaynak tahsisi etmeye ikna etmek giderek zorlaşacaktır.

LHC gibi bir makine milyarlarca dolarlık yatırım demektir ama bunun yanında yaşamlarını doğanın sırlarının birazcık daha derinlerine kazmaya vakfetmiş fedakâr bilim insanlarının binlerce kişi-yıllık çabasını da gerektirir. LHC'nin inşasına yardımcı olan Lyn Evans, sayısız kuramsal modeli inceleyen JoAnn Hewett ya da deneylerini tarihsel bir başarıya dönüştüren Fabiola Gianotti ve Joe Incandela çok büyük bir iddiaya girmişlerdir. Bu makinenin yeni bir buluş çağını açacağı üzerine kumar oynamışlardır ve sürdürdükleri pey de meslek yaşamlarının uzun yıllarıdır. Higgs'i bulmak tüm çalışmalarının karşılığını veren, haklı çıkartan bir şeydir. Akıllarımızı çalıştıracak olan budur.

Tarihsel olarak, doğa bizi şaşırtmakta çok başarılı olmuştur.

TANRISALLIĞIN KIYISINDA

Burada, Higgs bozonunun Tanrı'yla hiçbir ilişkisinin olmadığını ama gene de çok önemli olduğunu keşfedeceğiz.

Leon Lederman kuşkuluydu. Ne yaptığını biliyordu ama geri alamazdı. Bu, o beklenmedik muazzam sonuçları olan küçük şeylerden biriydi.

Tabii ki “Tanrı Parçacığından” söz ediyoruz. Bizatihi parçacıktan değil, o Higgs bozonu. Ama sorumlusu Lederman olan “Tanrı Parçacığı” adından.

Dünyanın en büyük deneysel fizikçilerinden biri olan Lederman birden fazla nötrino türü olduğunu keşfettiği için 1988 Nobel Ödülü’nü kazanmıştır. Bunun için kazanmış olmasaydı, ödüle değer yeni bir kuark türünün keşfi de aralarında olmak üzere başka başarıları da vardı. Bilinen üç tür nötrino ve altı kuark var, dolayısıyla bu tür başarılar ağaçtan toplanmıyor. Lederman boş zamanlarında da Fermilab’ın direktörü olarak görev aldı ve Illinois Matematik ve Bilim Akademisi’ni kurdu. Lederman aynı zamanda karizmatik bir kişiliğe sahipti ve meslektaşları arasında mizahı ve öykü anlatma becerileriyle tanınıyordu. En sevdiği anekdotlardan biri, bir lisansüstü öğrencisiyken Princeton’daki İleri Araştırmalar Enstitüsü’nde Albert Einstein’la karşılaşmayı başarmasıyla ilgilidir. Hevesli genç adamın Columbia’daki parçacık fiziği araştırmasını anlatmasını sabırla dinleyen büyük adam ardından gülümseyerek, “Bu ilginç değil,” demiştir.

Ama halkın gözünde, Lederman daha mutsuz bir şeyle tanınmaktadır: Higgs bozonunu n kastederek, dünyanın başına “Tanrı

Parçacığı” adını sarmasıyla. Doğrusu bu, parçacık fiziği ve Higgs peşindeki araştırmalar üzerine Dick Teresi’yle birlikte yazdıkları sürükleyici bir kitabın başlığıdır. Yazarların kitaplarının birinci bölümünde açıkladıkları gibi, bu başlığı seçmelerinin nedeni kısım “yayımcının ‘Tanrının Cezası Parçacık’ adını kullanmalarına izin vermemesiydi ama aslında, hain doğası ve neden olduğu maliyete bakılırsa, bu daha uygun bir başlık olurdu.”

Dünya yüzündeki huysuzluklarıyla tanınan fizikçiler bir konuda seve seve anlaşılır: Tanrı parçacığı adından *nefret* ediyorlar. Daha geleneksel adın türetildiği Peter Higgs gülererek, “Kitaba gerçekten canım sıkıldı,” der, “tek ben de değilim.”

Bu arada, kendi çaplarında tartışmacı olan tüm dünyadaki gazeteciler bir tek noktada hemfikirler: Tanrı Parçacığı adını *seviyorlar*. Dünyadaki en güvenli iddialardan biri şu olabilir: Popüler basında Higgs bozonu üzerine bir makale görürseniz, metnin bir yerlerinde buna Tanrı Parçacığı denecektir.

Gazetecileri suçlamanız yersiz. Adlar söz konusu olduğunda, Tanrı Parçacığı çok parlak, halbuki Higgs bozonu biraz anlaşılmaz duruyor. Ama fizikçileri de suçlayamazsınız, Higgs’in Tanrı’yla hiçbir ilişkisi yok. Yalnızca gerçekten önemli, heyecan duyulmasını hak eden bir parçacık ama bu heyecan dinsel coşku düzeyine pek çıkmıyor. Fizikçilerin, herhangi bir dinbilimsel imadan uzak olsa da bu mütevazı temel parçacığa tanrısal statü bahşetmeye neden meyilli olduklarını anlamak gerekiyor. (Tanrı’nın parçacıklar arasında ayrım gözettiğine gerçekten inanan var mıdır?)

Tanrı’nın zihni

Fizikçilerin Tanrı’yla uzun ve karmaşık bir ilişkileri vardır; yalnızca evreni yaratan varsayımsal kadiri mutlak varlıkla değil, bizatihi “Tanrı” adıyla da. Evrenden söz ettiklerinde, fizikçiler fiziksel dünya hakkında bir şeyler ifade etmek için genellikle Tanrı fikrini kullanırlar. Einstein bu konuda ünlüdür. Bu fazlasıyla atıfta bulunulabilir bulunan bilim insanının en sık tekrarlanan sözleri şunlardır: “Tanrı’nın düşüncelerini bilmek isterim; gerisi teferruatır” ve kuşkusuz, “Tanrı’nın evrenle zar atmadığından eminim.”

Birçoğumuz Einstein'ın adımlarını izlemekten geri durmamışızdır. 1992'de, Kozmik Ardaalan Kâşifi (Cosmic Background Explorer, COBE) adlı bir NASA uydusu Büyük Patlamadan kalan ardaalan ışınlamındaki minik dalgalanmaların şaşkırtıcı görüntülerini gösterdi. Olayın önemi, COBE'nin arkasındaki araştırmacılarından biri olan George Smoot'u şöyle demeye sevk etti: "Dini bütün birisiyseniz, bu Tanrı'ya bakmak gibi bir şey olur." Ve Stephen Hawking, çok satan *Zamanın Kısa Tarihi*'nin (Özgün adı: A Brief History of Time) son paragrafında, dinbilimsel dile başvurmadan çekinmez:

Buna rağmen biz eğer bir tam kuram keşfedersek, bu bir süre sonra temel ilkeleri sadece birkaç bilimci değil herkes tarafından anlaşılabilir bir kuram olacak. O zaman hepimiz, felsefeciler, bilimciler ve sıradan insanlar bizlerin ve evrenin neden var olduğu tartışmasına katılabiliriz olacağız. Bunun cevabını bulabilirsek bu insan aklının nihai zaferi olacak; çünkü artık Tanrı'nın zihnini biliyor olacağız.

Tarihsel olarak, dünyanın en etkileyici fizikçilerinin bazıları, hayli dindar olmuşlardır. Muhtemelen tüm zamanların en büyük bilim insanı olan Isaac Newton, biraz heterodoks da olsa, inançlı bir Hristiyandı ve fizikle uğraştığı kadar İncil'i inceleyip yorumlamakla da zaman geçirirdi. Yirminci yüzyıldan bir örnek de George Lemaître'dir, şimdi artık "Büyük Patlama Modeli" adını verdiğimiz, "İlksel Atom" kuramını geliştiren bir kozmolog. Lemaître hem bir rahip hem de Leuven, Belçika'daki Katolik Üniversitesi'nde profesördü. Büyük Patlama modelinde, gözlemlenebilir evrenimiz yaklaşık 13,7 milyar yıl önce sonsuz yoğunluktaki tekil bir anda başlamıştır; Hristiyan anlatıda, evrenimiz Tanrı tarafından zamanın bir anında yaratılmıştır. İki öykü arasında bariz paralellikler mevcuttur ama Lemaître dinini bilimle karıştırmamakta hep titiz davranmıştır. Bir aşamada Papa XII. Pius, "İlksel Atom" kuramını Tekvin'deki "Işık Olsun" ile özdeşleştirilebileceğini önermeye çalışmış ama bizzat Lemaître onu bu mantık yolunu terk etmeye ikna etmiştir.

Ama bugün, faal fizikçilerin çoğu Tanrı'ya inanmaya muhtemelen toplumun genelinden daha az eğilimlidir. Meslek olarak doğa dünyasının işleyişini incelediğinizde, evrenin herhangi bir doğa üstü yardım olmadan kendi başına ne kadar iyi işlediğinden

etkilenirsiniz. Kuşkusuz dini bütün fizikçilere önemli örnekler vardır ama gene kuşkusuz, fiziğin gerçek işleri denklemin içine doğal dünyanın dışından bir şey katmadan da ilerler.

Tanrı lafları

Pekâlâ, madem fizikçiler Tanrı'ya o kadar da inanmıyor, neden O'ndan söz edip duruyorlar? Doğrusu, iki neden var, biri iyi bir neden, diğeri pek de o kadar değil.

İyi neden şu ki, Tanrı evrenden söz ederken çok uygun bir eğretileme sağlıyor. Einstein “Tanrı'nın düşüncesini bilmek isterim,” derken, papanın tasavvur ettiği lafzi doğaüstü varlığı düşünmüyordu. Gerçekliğin temel işleyişini anlamak için içinden gelen bir arzuyu ifade ediyordu. Evren hakkında şaşırtıcı bir olgu vardır: anlamlıdır. Çeşitli koşullar altında maddeye ne olduğunu inceleyebiliriz ve hiçbir zaman ihlal edilmeyen şaşırtıcı düzenler görürüz. Bu düzenler mantık çerçevesinde kuşkunun ötesinde gerçek olarak belirlendiğinde, bunlara “doğa yasaları” diyoruz.

Doğa yasaları çok ilginçtirler ama yasaların olması da ilginçtir. Şimdiye kadar keşfettiğimiz yasalar kesin ve zarif matematiksel ifadeler olarak şekil bulmuştur. Fizikçi Eugene Wigner gerçekliğin bu özelliğinden o kadar etkilenmişti ki, “matematiğin fizikteki mantıksız etkinliğinden” söz ediyordu. Evrenimiz rastgele işler yapan basit bir malzeme karmaşası değildir; sabit madde bileşenlerinin hayli düzenli ve öngörülebilir evrimidir, parçacıkların ve kuvvetlerin karmaşık bir koreografiyle dansıdır.

Fizikçiler eğretileme olarak Tanrı'dan söz ettiklerinde yalnızca fiziksel dünyayı insana benzetme, ona bir insan çehresi verme doğrultusundaki doğal eğilime kapılmış olurlar. “Tanrı'nın düşünceleri” “altta yatan doğa yasaları” anlamındadır. Bu yasaların ne olduğunu bilmek isteriz. Daha ihtiraslı olanı, bu yasalar farklı olabilir miydi, onu bilmek isteriz, yani var olan doğa yasaları birçok olası setten biri midir yoksa dünyamız hakkında eşsiz ve özel bir şey mi vardır? Böylesi muazzam bir soruya yanıt bulabiliriz de bulamayabiliriz de ama bu faal bilim insanlarının tahayyülünü ateşleyen türden bir şeydir.

Bilim insanlarının Tanrı laflarına başvurmasının diğer nedeni o kadar da ulvi değil: halkla ilişkiler. Higgs bozonuna Tanrı Parçacığı demek çok yanlış olabilir ama bu pazarlama dehasıdır. Fizikçiler Tanrı parçacığı etiketine dehşet ve küçümsemeyle tepki verirler. Ama bakışları çekiyor, bu yüzden de bilimsel konularda çalışan her gazeteci fizikçilerin terim hakkında ne düşündüklerini biliyor olsa da kullanılmayı sürdürecektir.

“Tanrı Parçacığı” insanların ayağa kalkıp dikkat etmesine yol açıyor. Bu laf bir kez bulunduktan sonra, bu esrarlı kavramı dikkatlerinde başka talepler olan bir kamuoyuna açıklamaya çalışanlar tarafından kullanılmaması mümkün değil. Higgs bozonunu aradığınızı söyleyin, birçokları kanalı değiştirecektir, belki de Kardashian kardeşler ölçüsüzce bir şey yapmıştır. Tanrı Parçacığını aradığınızı söyleyin, insanlar hiç olmazsa ne demek istediğinizi anlatırken izleyecektir. Kardashian kardeşler nasıl olsa yarın da aynı şeyleri yapacak.

Bu tür renkli bir dil bilim insanlarının başını bazen de derde sokuyor. 1993'te, Birleşik Devletler LHC'den de güçlü olacak Süperiletken Süper Çarpıştırıcıyı inşa etmeyi henüz planlarken, Nobel ödüllü Steven Weinberg yeni makinenin erdemleri üzerine Kongreye ifade veriyordu. Bir yerde, sorular ilginç bir yola girdi.

Temsilci Harris Fawell (Cumhuriyetçi-Illinois): Bazen her şeyi anlatacak bir tek sözcüğe sahip olmamızı isterim ve bu biraz olanaksız. Sanırım, belki de Dr. Weinberg, siz buna biraz yaklaştınız emin değilim ama bunu not ettim. Maddeyi yöneten kuralların olmasının tesadüf olmadığından kuşkulandığınızı söylediniz, ben de not ettim, bu bizim Tanrı'yı bulmamızı mı sağlayacak? Bu iddiada bulunmadığınızdan eminim ama kuşkusuz evren hakkında çok daha fazla şey bilmemize yol açacak?

Temsilci Don Ritter (Cumhuriyetçi-Pennsylvania): Beyefendi burada durabilir mi? Beyefendi bir anlığına durabilirse, söylemek isterim ki...

Fawell: istediğimden emin değilim.

Ritter: Bu makine bunu yaparsa, döner ve bunu desteklerim.

Weinberg Kongre görüşmeleri sırasında Higgs bozonuna Tanrı Parçacığı olarak atıfta bulunacak kadar patavatsız değildi.

Ama eğretileninin cazibesi güçlüdür ve bir noktada, gerçekliğin işleyişi üzerine konuşmalar insanı bu soruyu sormaya yöneltiyor.

Ortada hâlâ ikircikli bir durum varsa söyleyeyim: Büyük Hadron Çarpıştırıcısında bulacağımız ya da Süperiletken Süper Çarpıştırıcıda bulmuş olabileceğimiz hiçbir şey, Tanrı'yı bulmamızı sağlamayacak. Ama doğanın nihai yasalarını anlamaya daha fazla yaklaşmış olacağız.

Nihai parça

Lederman ve Teresi Higgs bozonuna yalnızca dikkat çekeceğini bildikleri için Tanrı Parçacığı adını vermediler (Ama bu fikir akıllarından geçmiş olmalı). Sonunda bu fiyakalı adlandırma iyi olduğu kadar kötü tepkiler de çekti. Kitabın gözden geçirilmiş bir yeni baskısının girişinde yazdıkları gibi: “Başlık iki grubu kızdırdı: 1) Tanrı'ya inananlar ve 2) İnanmayanlar. Ortadakilerden sıcak tepkiler aldık.”

Yapmaya çalıştıkları, Higgs bozonunun önemini ifade etmektir. Şimdi okumakta olduğunuz kitabın biraz daha mütevazı bir amacı var... ama biraz. Dürüst olmak gerekirse, onlara *Evrenin Sonundaki Parçacık*¹ söz ettiğimde, katıksız onaylamayla karşılık vermediler. Bildiğimiz kadarıyla evrenin, uzaydaki bir yerde ya da zamanın gelecekteki bir anında bir “sonu” yok. Evrenin sonunun olduğu söylenebilecek bir yer olsa bile, orada bir parçacık bulacağınızı düşünmeniz için bir neden yok. Olsa bile, bunun Higgs bozonu olacağını düşünmek için bir neden yok.

Ama bir kez daha tekrarlayalım ki, burada söz konusu olan bir eğretilen. Higgs mekânsal ya da zamansal olarak “evrenin sonunda” yer almıyor, *açıklayıcı* sonunda yer alıyor. Gündelik yaşamımızın dünyasını oluşturan sıradan maddenin derin düzeyde nasıl işlediği bilmecesinin son parçası. Bu hayli önemli.

Hızla şerhleri koyayım ki, fizikçi meslektaşlarımla gene asapları bozulmasın. Higgs mutlak olarak her şeyin bilmecesindeki eksik parça değil. Higgs'i bulmak ve özelliklerini ölçmek fizikte daha anlaşılacak pek çok şey bırakmıştır. Öncelikle, küt-

1 Yazar burada Douglas Adams'ın *Evrenin Sonundaki Restaurant* adlı kitabına gönderme yapıyor –y.n.

leçekim var: Doğanın, kuantum mekaniğinin talepleriyle pek de uyuşturamadığımız başlı başına bir kuvveti ve burada Higgs'in herhangi bir yardımının olmasını beklemiyoruz. Kara madde ve kara enerji de var, tüm evreni kaplayan ama burada, yerkürede doğrudan ölçüme direnen esrarlı şeyler. Başka farazi egzotik parçacıklar da var, kuramsal fizikçilerin icat etmekten hoşlandığı ama şu an için üzerlerinde kanıt bulamadığımız türden parçacıklar. Bir de, söylemeye gerek yok ki, bilimin parçacık fiziğinden can alıcı bir girdisi olmayan ama kendi zorluklarına sahip olan atom fiziğinden ve moleküler fizikten, kimya, biyoloji ve jeolojiden geçerek ta sosyolojiye, psikolojiye ve iktisada kadar tüm alanları var. İnsanın dünyayı anlama arzusu Higgs bozonunu bulduk diye muzaffer bir sona erişmiş olmayacak.

Tüm bu sınırlandırmalar yoldan çekildiğine göre, Higgs'in müstesna rolüne vurguda bulunmaya geri dönebiliriz: Bu parçacık fiziğinin Standart Modelinin nihai parçasıdır. Standart Model gündelik yaşamlarımızda deneyimlediğimiz her şeyi (kütleçekim dışında ki bunu ilıstırmek kolaydır) açıklar. Kuarklar, nötrinolar ve fotonlar; ısı, ıılık ve radyoaktivite; masalar, asansörler ve uçaklar; televizyonlar, bilgisayarlar ve cep telefonları; bakteriler, filler ve insanlar; asteroidler, gezegenler ve yıldızlar; hepsi sadece Standart Modelin farklı koşullardaki uygulamalarıdır. Dolaysız fark edilebilen gerçekliğın eksiksiz kuramıdır. Her şey çok güzel birbirine oturur, şaşırtıcı bir deneysel sınavlar çeşitliliğinden de geçer, ortada bir Higgs bozonunun olması koşuluyla. Higgs yoksa ya da onun yerini alacak daha da garip bir şey, Standart Model yerden kalkamaz.

Numarayı çözmek

Higgs bozonunun bu kadar önemli olduğı iddialarında inanılmaz bir yan var. Ne de olsa, fiilen bunu bulmadan önce, bu kadar önemli olduğunu nereden biliyorduk? Hiç kimsenin gözlemlememiş olduğı farazi bir parçacık üzerine bu kadar çok konuşmaya bizi sevk eden neydi?

Çok şaşırtıcı bir iskambil numarası yapan çok yetenekli bir sihirbazın gösterisini seyrettiğınızı düşünün. Numara, kâğıtların esrarengiz bir şekilde havada yükselmelerini içeriyor. Numara

sizi şaşırtıyor ve sihirbazın kâğıtları havalandırmak için mistik birtakım kuvvetlere başvurmadığından da kesinlikle eminsiniz. Aynı zamanda zeki ve sebatlısınız ve bir süre düşündükten sonra, sihirbazın numarayı nasıl gerçekleştirmiş olduğuna dair aklınıza, kâğıda gizlice bağlanan çok ince bir iplikle ilgili bir yol gelir. Doğrusu hava üflemek ve ısı pompalarının söz konusu olduğu başka olası yöntemler de aklınıza gelir ama iplik senaryosu hem basit hem de uygulanabilir. Hatta numarayı evde tekrarlayacak kadar işi ilerletirsiniz ve uygun özellikte bir iplikle sihirbazın yaptığı gibi numarayı gerçekleştirebileceğinize kani olursunuz.

Sonra giip sihirbazın gösterisini bir kez daha seyreder ve kâğıdın gene havalandığına tanık olursunuz. Onun yaptığı tam olarak sizin evde gerçekleştirdiğinize benzemektedir ama ne kadar uğraşırsanız uğraşın, ipliği göremezsiniz.

Standart Modelin Higgs bozonu da tam anlamıyla bu iplik gibidir. Uzun zaman onu doğrudan göremedik ama etkilerini gördük. Ya da daha iyisi dünyanın, onun orada durması durumunda çok anlamlı olacak ve o olmadan hiçbir anlamı olmayacak özelliklerini gördük. Higgs bozonu olmasa elektronlar gibi parçacıkların kütlesi sıfır olacak ve ışık hızında hareket edecekler; ama tersine, kütleleri var ve daha yavaş hareket ediyorlar. Higgs bozonu olmasa, birçok temel parçacık birbirlerinin aynısı görünecekti ama tersine bunlar bariz bir şekilde farklılar, çeşitli kütlelere ve yaşam sürelerine sahipler. Higgs'le, parçacık fiziğinin tüm bu özellikleri kusursuzca anlam kazanıyor.

Buna benzer durumlarda –ister havalanan kâğıtlar olsun ister Higgs bozonu– iki seçenek var: Kuramımız doğru ya da daha ilginç ve daha karmaşık bir kuram söz konusu. Etkiler ortada, kâğıtlar havalanıyor, parçacıkların kütleleri var. Bir açıklamasının olması lazım. Basit olan doğruysa, zekâmızdan dolayı kendi kendimizi kutlarız, daha karmaşık bir şeyse, çok ilginç bir şey öğrenmiş oluruz. Belki de LHC'de bulduğumuz parçacık Higgs'in yaptığı varsayılan şeyi gerçekleştiren şeyin hepsi değil de bir parçasıdır; ya da belki Higgs'in rolü birçok parçacık tarafından oynanıyor ve biz sadece birini bulduk. Ne olursa olsun, kazandık, yeter ki sonunda ne olup bittiğini çözebilelim.

Fermionlar ve bozonlar

Bakalım Higgs bozonunun ne kadar önemli olduğu doğrultusundaki eğritileme yollu ve ilham yüklü amigoluğumuzu neyin olduğunun varsayıldığının daha özgül bir açıklamasına dönüştürebilecek miyiz?

Parçacıklar iki tür olur: maddeyi oluşturan ve “fermion” adıyla bilinen parçacıklar ve kuvvet taşıyan ve “bozon” adıyla bilinen parçacıklar.² Aralarındaki fark, fermionların yer işgal etmesi, bozonlarınsa üst üste yığılabilmesidir. Bir yığın fermionu alıp hepsini aynı yere dolduramazsınız, kuantum mekaniğinin yasaları buna izin vermez. Bu nedenle, fermion yığınları masalar ve gezegenler gibi katı maddeleri oluştururlar: Fermionlar üst üste yığılamazlar.

Özellikle, parçacığın kütlesi ne kadar *küçükse*, kapladığı alan o kadar çok olur. Atomlar kuvvetler tarafından bir arada tutulan yalnızca üç tip fermiondan oluşur, yukarı kuarklar, aşağı kuarklar ve elektronlar. Çekirdek protonlardan ve nötronlardan oluşur, bunları da yukarı ve aşağı kuarklar oluştururlar, bu çekirdek görece ağırdır ve uzayda görece küçük bir yer işgal eder. Ama elektronlar çok daha hafiftir (bir proton ya da nötronun kütlesinin 1/2000’i) ve çok daha fazla yer kaplar. Maddeye katılığını sağlayan aslında elektronlardır.

Bozonlar hiç yer kaplamaz. İki bozon ya da iki trilyon bozon rahatlıkla aynı noktada, birbirlerinin üzerinde yer alabilirler. Bozonlar bu nedenle kuvvet taşıyan parçacıklardır; makroskopik bir alan oluşturmak üzere bir araya gelebilirler, bizi dünyayla birlikte tutan kütleçekim alanı ya da bir pusulanın iğnesini saptıran manyetik alan gibi.

Fizikçiler “kuvvet,” “etkileşim” ve “bağlaşım” gibi sözcükleri birbirlerinin yerine kullanma eğilimindedir. Bu yirminci yüzyıl fiziğinin ortaya çıkarttığı derin gerçeklerden birini yansıtır: Kuvvetler parçacıkların değişiminin bir sonucu olarak düşünülebilir. (Göreceğimiz gibi, bu “alanların titreşmesinin sonucudur” demekle eşdeğerdir.) Ay yerkürenin kütleçekimini hissettiğinde,

2 Fermion adı ünlü İtalyan fizikçi Enrico Fermi’ye (1901-1954), bozon adı da Hint fizikçi Satyendra Nath Bose’a (1894-1974) atfen, her ikisi de İngiliz fizikçi Paul Dirac tarafından verilmiştir –ç.n.

iki cisim arasında gravitonlar gidip geliyormuş gibi düşünebiliriz. Bir elektron bir atom çekirdeği tarafından yakalanınca bu olayı, gerçekleşen bozunmanın türüne bağlı olarak işlemekte olan yeğin veya zayıf nükleer kuvvete atfederiz. Parçacık fiziğinde kuvvetler olan biten çeşitli birçok şeyden sorumludur.

Higgs'in dışında, dört tür kuvvet biliyoruz, her birinin de ilişkili bozon parçacığı vardır. Kütleçekim vardır ve bununla ilişkili "graviton"³ adı verilen parçacık. Doğrusu, her ne kadar kütleçekim kuvvetini, uzaya doğru yükselmediğimizden, her an deneyimliyor olsak da şimdiye kadar bir graviton gözlemleyebilmiş değiliz, bu yüzden graviton genellikle Standart Model tartışmalarına dahil edilmez. Ama kütleçekim bir kuvvet olduğuna göre, kuantum mekaniğinin ve göreliliğin temel kuralları esasında bununla ilişkili parçacıklar olduğunu güvenceye alır, bu yüzden kendilerini henüz görmediğimiz bu parçacıklardan söz ederken "graviton" sözcüğünü kullanıyoruz. Kütleçekimin diğer parçacıklar üzerinde nasıl etki ettiği hayli basittir: Her parçacık tüm diğer parçacıkları çeker (ama çok zayıf bir şekilde).

Sonra, elektromanyetizma var, 1800'lerde, fizikçiler "elektrik" ve "manyetizma" olgularının altta yatan aynı kuvvetin iki farklı sürümü olduğunu anladılar. Elektromanyetizmayla ilişkili parçacıklara "foton"⁴ deniyor ve bunları hep doğrudan görüyoruz. Elektromanyetizma aracılığıyla etkileşen parçacıklar "yükli"dür," etkileşmeyenlerse "yüksüz." Bir de dikkatinizi çekerim, elektrik yükleri artı ya da eksi, yani pozitif ya da negatif olabilirler, benzer yükler birbirlerini iterken, zıt yükler birbirlerini çeker. Benzer yüklerin birbirlerini itmesi, evrenin işleyişi açısından yaşamsal önemdedir. Elektromanyetizma evrensel olarak çekici olsaydı, her parçacık tüm diğerlerini çekecekti ve evrendeki maddenin tamamı dev bir kara deliğe çökmek için uğraşacaktı. Neyse ki elektromanyetik çekim kadar itme de var ve bu da yaşamı ilginç hale getiriyor.

Çekirdek kuvvetleri

Sonra iki "çekirdek" kuvveti var, bunlara, (kütleçekim ve elektromanyetizmanın aksine) yalnızca çok kısa, bir atomun

3 Kütleçekimin Latince (**g**ravitas) kökenli dillerde karşılığundan türetilmiştir –ç.n.

4 Foton (photon) Yunanca ışık anlamında "phos" sözcüğünden türetilmiştir –ç.n.

çekirdeğiyle kıyaslanabilecek ya da daha küçük mesafelerde etkili oldukları için bu ad verilir. Bunlardan yeğin çekirdek kuvveti protonlarla nötronların içindeki kuarkları bir arada tutar; parçacıklarına sevimli bir şekilde “gluon” adı verilmiştir.⁵ Gluonlar, tıpkı fotonlar ve gravitonlar gibi, kütesizdir. Bir kuvvet kütesiz bir parçacık tarafından taşındığında, etkisinin çok uzaklara uzanması beklenir ama yeğin kuvvet aslında çok kısa menzillidir.

1973'te, David Gross, David Politzer ve Frank Wilczek yeğin kuvvetin şaşırtıcı bir özelliğinin bulunduğunu gösterdiler: İki kuark arasındaki çekim kuarklar birbirlerinden uzaklaştıkça artıyordu. Bunun sonucu olarak, iki kuarkı birbirlerinden uzaklaştırmak giderek daha fazla enerji gerektirir, öyle ki, sonunda başka kuarklar elde edersiniz. Uçları birer kuarkı temsil eden bir lastik parçasını çekmek gibi. İki uçtan çekebilirsiniz ama bir ucu tek başına elde edemezsiniz. Bunun yerine, lastik koptuğunda, elinizde iki yeni uç olur. Sonuç olarak, hiçbir zaman boşlukta tek başına bir kuark göremezsiniz; onlar (ve gluonlar) daha ağır parçacıkların içinde kalırlar. Kuarklar ve gluonlardan oluşan bu bileşik parçacıklar “hadron” olarak bilinir, LHC'nin adının ortası da buradan gelir. Gross, Politzer ve Wilczek bu buluşlarıyla 2004 Nobel Ödülü'nü paylaştılar.

Sonra adının hakkını veren zayıf çekirdek kuvveti gelir. Burada, yeryüzünde dolaysız pek bir rolü olmasa da zayıf kuvvet gene de yaşamın varlığı için önemlidir: Güneşin parlamasını sağlar. Güneş enerjisi protonların helyuma dönüşmesinden kaynaklanır ki bu da bu protonlardan bazılarının nötronlara dönüşmesini gerektirir ve bu da zayıf etkileşim sayesinde olur. Ama burada, yeryüzünde, parçacık ya da çekirdek fizikçisi değilseniz, zayıf kuvvetin işleyişine pek tanık olmazsınız.

Üç farklı bozon zayıf kuvvet taşırlar. Elektrik yükü sıfır olan Z bozonu ve biri pozitif diğeri negatif yük taşıyan ve kısaca W^+ ve W^- olarak adlandırılan iki farklı W bozonu vardır. W ve Z bozonları temel parçacık standartlarına göre kütlelidir (bir yarıdımı olacaksa, zirkonyum atomu kadar ağırdırlar), bu da üretmesinin zor olduğu ve hayli hızlı bozunduğu anlamına gelir, bunlar da zayıf etkileşimin neden zayıf olduğunu açıklar.

5 Gluon: İngilizce “tutkal” anlamında “glue” sözcüğünden türetilmiştir -ç.n.

Günlük konuşmalarda “kuvvet” sözcüğünü çok çeşitli şeyler için kullanırız. Bir şey kayarken oluşan sürtünme kuvveti, bir duvara çarptığınızda oluşan çarpma kuvveti, bir tüy yere düşerken görülen hava direnci kuvveti. Bu kuvvetlerin hiçbirinin doğanın dört kuvveti listemize giremediğini fark etmişsinizdir, bunlarla ilgili bozonlar da yok. Bu, temel parçacık fiziğiyle gündelik kullanım arasındaki fark. Günlük yaşamımızın parçası olarak deneyimlediğimiz tüm makroskobik “kuvvetler,” bir arabanın gaz pedalına bastığımızdaki ivmeden bir köpek bir sincabı fark edip atıldığında kayışında hissettiğimiz gerginliğe, nihayetinde temel kuvvetlerin karmaşık yan etkileri olarak tezahür ederler. Doğrusu, (hayli doğrudan, her şeyi aşağı çeken) kütleçekimin önemli istisnası dışında bu gündelik olguların hepsi sadece elektromanyetizmanın ve atomlarla etkileşiminin tezahürleridir. Bu modern fiziğin zaferidir: etrafımızdaki dünyanın muhteşem çeşitliliğini sadece birkaç basit bileşene indirgemek.

Alanlar evreni kaplar

Bu dört kuvvet içinde, biri uzun süre garipliğiyle dikkat çekmiştir: zayıf kuvvet. Kütleçekimin gravitonlarının, elektromanyetizmanın fotonlarının ve yeğin kuvvetin de gluonlarının olduğuna dikkatinizi çekerim. Zayıf kuvvet üç farklı bozonla gelir, sıfır yüklü Z ve yüklü iki W. Hem de bu bozonlar garip davranışlardan da sorumludur. Bir W bozonu yayarak bir fermion başka birine dönüşür: bir aşağı kuark bir W^- atarak bir yukarı kuarka dönüşür. İki aşağı ve bir yukarıdan oluşan nötronlar, kendi başlarına çekirdeğin dışındayken bozunurlar, aşağı kuarklarından biri bir W^- yayar ve nötron, iki yukarı ve bir aşağı olan protona dönüşür. Öbür kuvvetlerin hiçbirisi etkileşime girdikleri parçacıkların kimliğini değiştirmez.

Zayıf etkileşimler, temelde kargaşadır. Nedeni de basit: Higgs.

Higgs tüm diğer bozonlardan temelden farklıdır. Diğerleri, Sekizinci Bölümde göreceğimiz gibi, uzayın farklı noktalarında olanları birleştiren doğanın bir simetrisinden kaynaklanır. Bir kez bu simetrilere inandınız mı, bozonlar fiilen kaçınılmazdır. Ama Higgs hiç de böyle değildir. Onun var olmasını gerektiren, derinlerde yatan bir ilke yoktur ama o gene de oradadır.

LHC, 4 Temmuz'da Higgs'in keşfini bildirdikten sonra, bunun ne anlama geldiğini açıklamak yolunda birçok girişimde bulunuldu. Bu görevin o kadar zorlu olmasının nedeni, aslında asıl ilginç olanın Higgs'in kendisi olmamasıdır; önemli olan, bozonun doğduğu Higgs *alanıdır*. Fiziğin bir olgusu, tüm farklı parçacıkların aslında alanlardan doğuyor olmasıdır, bu kuantum alan kuramıdır, parçacık fizikçilerinin yaptığı her şeyin altında yatan çerçeve budur. Ama kuantum alan kuramı çocuklara lisede öğrettiğimiz bir şey değildir. Hatta bu popüler fizik kitaplarında bile sıklıkla ele aldığımız bir şey değildir; parçacıklardan, kuantum mekaniğinden ve görelilikten söz ederiz ama nadiren bunların tümünün altında yatan kuantum alan kuramının harikalarını kurcalarız. Ancak Higgs bozonuna geldiğinde, bunların tümünün alanlığının etrafında dolanmak artık yeterli olmaz.

Bir “alandan” söz ettiğimizde, “uzayın her noktasında belli bir değeri olan bir şeyden” söz etmiş oluruz. Yerkürenin atmosferinin sıcaklığı bir alandır; yerkürenin yüzeyinin (ya da yüzeyin üzerindeki herhangi bir yüksekliğin) her noktasında havanın belli bir sıcaklığı vardır. Atmosferin yoğunluğu ve nemi de benzer şekilde, alanlardır ama bunlar *temel* alanlar değildir, yalnızca havanın özellikleridir. Kütleçekim alanıyla elektromanyetik alanın, aksine, temel olduklarına inanılır. Başka bir şeyden yapılmış değildir, dünya neden yapılmışsa, odurlar. Kuantum alan kuramına göre, mutlaka her şey bir alan ya da alanlar bileşiminden oluşur. “Parçacık” dediklerimiz, bu alanlardaki minik titreşimlerdir.

Kuantum alan kuramının “kuantum” kısmı burada devreye girer. İnsanoğlu tarafından düşünülmüş belki de en esrarengiz fikir olan kuantum mekaniği üzerine söylenebilecek çok şey vardır ama tek ihtiyacımız olan basit (ama kabullenmesi zor) bir olgudur: Ona baktığımızda dünyanın nasıl görüldüğü, aslında olduğundan çok farklıdır.

Fizikçi John Wheeler bir seferinde bir meydan okumada bulunmuştu: Kuantum mekaniğini beş sözcük ya da daha azında nasıl açıklarsınız? Modern dünyada, herhangi bir kısa yanıtı soruya öneriler almak kolaydır: Sadece, yanıtları 140 karakterle sınırlayan mikro-blog hizmeti Twitter'a sormanız yeterli olur. Kuantum mekaniği üzerine soruyu sorduğumda, en iyi yanıt

Aatish Bhatia (@aatishb) tarafından verildi: “Bakma: dalgalar. Bak: parçacıklar.” Özetle kuantum mekaniği budur.

Standart Modelde sözünü ettiğimiz her parçacık, en nihayetinde, belli bir alanda titreşen bir dalgadır. Elektromanyetizmayı taşıyan fotonlar tüm uzaya yayılan bir elektromanyetik alandaki titreşimlerdir. Gravitonlar kütleçekim alanındaki titreşimler, gluonlar gluon alanındaki titreşimlerdir vs. Madde parçacıkları olan fermionlar bile altta yatan bir alandaki titreşimlerdir. Bir elektron alanı, bir yukarı kuark alanı ve diğer her türden parçacık için de bir alan vardır. Ses dalgalarının havada yayılması gibi, titreşimler kuantum alanlarında yayılır ve biz de bunları parçacık olarak gözlemleriz.

Biraz önce, düşük kütleyle sahip parçacıkların büyük kütleyle sahip olanlara oranla daha fazla yer kapladığından söz etmiştik. Çünkü parçacıklar aslında tekdüze yoğunluğu olan minik toplar değildir; onlar kuantum dalgalarıdır. Her dalganın bir dalgaboyu vardır ve bu da bize büyüklüğü hakkında kabaca bir fikir verir. Dalgaboyu aynı zamanda onun enerjisini de belirler: Kısa dalga boyuna sahip olmak, daha fazla enerji gerektirir, çünkü dalga bir noktadan diğerine daha hızlı değişmek zorundadır. Kütle, Einstein’ın bize uzun zaman önce öğrettiği gibi sadece bir enerji biçimidir. Bu durumda, düşük kütle daha az enerji, daha uzun dalga boyu, daha büyük boy demektir; yüksek kütle daha fazla enerji, kısa dalga boyu, küçük boy demektir. Bir kez çözünce, hepsi anlam kazanır.

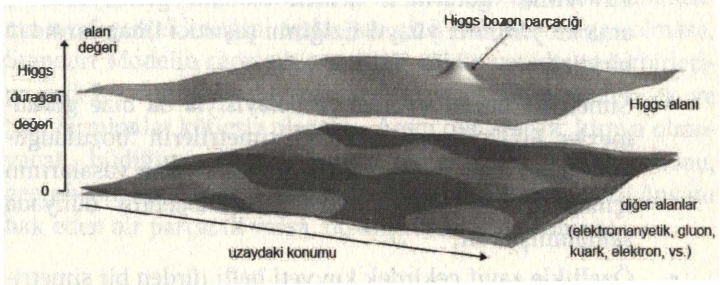
Sıfırdan sakınmak

Alanların uzayın her noktasında bir değeri vardır ve uzay tamamen boş olduğunda bu değerler normalde sıfırdır. “Boş” derken, “olabildiğince boş,” ya da daha özgül olarak, “olabilecek en az enerjiye sahip” demek istiyoruz. Bu tanıma göre, kütleçekim alanı ya da elektromanyetik alan gibi alanlar uzay gerçekten boş olduğunda sakince sıfırda kalırlar. Başka bir değerde olduklarında, enerji taşırlar ve dolayısıyla da uzay boş değildir. Kuantum mekaniğine içkin belirsizlikten dolayı bütün alanlarda minik titreşimler vardır ama bunlar belli bir ortalama değer in etrafındaki titreşimlerdir ve bu değer de genellikle sıfırdır.

Higgs farklıdır. Bütün diğerleri gibi o da bir alandır ve sıfır ya da başka bir değere sahip olabilir. Ama sıfır olmak *istememez*; evrenin her yerinde belli bir sabit değere yerleşmek ister. Higgs alanı sıfır olmadığında, sıfır olduğuna göre daha az enerjiye sahip olur.

Bunun sonucunda, boş uzay Higgs alanıyla doludur. Bir Higgs bozonları bileşimi temsil edecek kadar karmaşık bir titreşimler dizisi değil; sadece, ardalanda sakince duran sabit bir alan. Zayıf etkileşimleri oldukları duruma getiren ve temel fermionlara kütle veren işte bu, evrenin her noktasında her daim mevcut olan alandır. Higgs bozonu, LHC’de keşfedilen parçacık, bu alanda var olan, ortalama değer çevresindeki titreşimdir.

Higgs parçacığı bir bozon olduğundan, doğanın bir kuvvetini doğurur. İki kütleli parçacık birbirlerinin yanından geçerken Higgs bozonları değişimi yaparak etkileşebilirler, tıpkı iki yüklü parçacığın foton değişimi yaparak etkileşmesi gibi. Ama parçacıklara kütle veren bu Higgs kuvveti *değildir* ve tüm patırtı bu yüzden çıkmamıştır. Parçacıklara kütlelerini sağlayan ardalanda sakince duran, diğer parçacıkların hareket ettikleri bir ortam sağlayan ve bu arada da özelliklerini etkileyen bu Higgs alanıdır.



Şekil 1: Higgs alanıyla diğer alanlar arasındaki en önemli fark Higgs’in durağan değerinin sıfırdan farklı olmasıdır. Bütün alanlar kuantum mekaniğinin asli belirsizlikleri nedeniyle minik titreşimler geçirir. Daha büyük bir titreşim bize bir parçacık olarak görünür, bu durumda da Higgs bozonu.

Uzayda hareket ettiğimizde, Higgs alanı tarafından çevreleniriz ve içinde hareket ederiz. Sudaki balık misali, genellikle bunu fark etmeyiz ama Standart Modelin tüm garipliğine neden olan bu alandır.

Yürütme özetİ

Higgs bozonuyla ilişkili çok fazla derin ve zorlayıcı fizik vardır. Ama şimdilik Higgs alanının nasıl çalıştığı ve neden önemli olduğu üzerine genel bir özet vermekle yetinelim.

Fazla uzatmadan:

- Dünya *alanlardan* oluşur, bize parçacık olarak görünen, titreşimleriyle fark ettiğimiz, tüm uzaya dağılmış maddeler. Elektrik alanıyla Kütleçekim alanı aşına gelebilir ama kuantum alan kuramına göre elektron ve kuark gibi parçacıklar bile aslında belli türde alanlardaki titreşimlerdir.
- Tıpkı bir ışık fotonunun elektromanyetik alandaki bir titreşim olması gibi Higgs bozonu Higgs alanındaki bir titreşimdir.
- Doğanın dört ünlü kuvveti *simetrilerden* doğar, neler olup bittiği üzerine önemli bir şey değıştirmeden bir durumda gerçekleştirebileceğimiz değışiklikler. (Evet, “bir farklılık doğurmayan bir değışikliğin” doğrudan “doğanın bir kuvvetine” götürmesi hemen anlamlı gelmeyebilir... ama bu yirminci yüzyıl fiziğinin şaşırtıcı ilhamlarından biridir.)
- Simetriler bazen *saklıdır* ve dolayısıyla da bize görünmezler. Fizikçiler sıklıkla saklı simetrilerin “bozulduğunu” söyler ama onlar hâlâ fiziğın altta yatan yasalarının içindedir, yalnızca dolaysız gözlemlenebilir dünyada saklanmışlardır.
- Özellikle zayıf çekirdek kuvveti belli türden bir simetriye dayanır. Bu simetri bozulmamış olsaydı, temel parçacıkların *kütle* sahibi olması imkânsız olurdu. Işık hızıyla ortalıkta uçuşup dururlardı.
- Ama temel parçacıkların çoğunun kütlesi vardır ve ışık hızıyla ortalıkta uçuşup durmazlar. Dolayısıyla, zayıf etkileşimlerin simetrisi bozulmuş olmalı.
- Uzay tamamen boş olduğunda, alanların çoğunluğu kapatılmış, sıfıra gelmiş olur. Bir alan boş uzayda sıfır değİlse, bir simetriyi bozabilir. Zayıf etkileşimlerin

durumunda, bu Higgs alanının işidir. O olmadan, evren tamamen farklı bir yer olurdu.

Hepsini anladınız mı? Doğrusu kabul etmesi biraz zor. Bölümlerin geri kalanındaki yolculuğumuzu bitirdiğimizde, daha anlamlı olacak. İnanın bana.

Kitabın geri kalanı Higgs mekanizmasının ardındaki fikirle bozonu keşfetme peşindeki deneysel macera arasında ileri-geri bir yolculuk olacak. Standart Modelin parçacıklarıyla kuvvetlerinin birbirlerine nasıl uydukları üzerine hızlı bir özetle başlayacağız, sonra fizikçilerin yeni parçacıkları bulmak için teknolojiyle cesaretlerini kullandıkları şaşırtıcı yolları inceleyeceğiz. Ardından, alanlarla simetriler ve Higgs'in simetrileri nasıl da gözümüzden sakladıkları üzerine düşünürken kurama geri döneceğiz. Nihayet, Higgs'in keşfedildiğini, haberin nasıl yayıldığını, başarıyı kimin sahipleneceğini ve gelecek için bunun ne anlama geldiğini gösterebileceğiz.

Leon Lederman'ın Tanrı Parçacığının Higgs bozonu için uygun bir isim olduğunu neden düşündüğü bariz olmalı. Bu bozon, parçacıklara farklı kütleler vererek ve dolayısıyla da parçacık fiziğini ilginç kılarak evrenin bize çektiği sihir numarasının nasıl gerçekleştiğini açıklayan gizli parçadır. Higgs olmasa, Standart Modelin çapraşık çeşitliliği çöküp neredeyse birbirlerine eşdeğer özelliksiz bir parçacıklar bileşimine dönüşecek ve tüm fermionlar kütesiz olacaktı. Atom olmayacak, kimya olmayacak, bildiğimiz haliyle yaşam olmayacaktı. Higgs bozonu, gerçek anlamda, evrene yaşam veren şeydir. Bu azametli ünvanı hak eden bir parçacık varsa, bu kuşkusuz Higgs olurdu.

ATOMLAR VE PARÇACIKLAR

Burada, maddeyi parçalayıp nihai bileşenlerini, kuarklar ile leptonları ortaya çıkartacağız.

1800'lerin başlarında, Alman hekim Samuel Hahnemann homeopati uygulamasını başlattı.

Zamanın tıbbının etkisizliğinden umudu kırılan Hahnemann “benzer benzerini iyileştirir” ilkesine dayanan yeni bir yaklaşım geliştirdi, bir hastalık, tam da ona neden olan aynı madde tarafından tedavi edilebilirdi, yeter ki bu madde uygun biçimde işlensin. İşlemenin yolu “kudretlendirme” (potentization) olarak bilinen ve maddenin her seferinde güçlü bir şekilde çalkalayarak birçok kez suda seyreltilmesinden oluşan bir süreçti. Tipik seyreltme yönteminde bir kısım madde doksan dokuz kısım suyla karıştırılabiliyordu. Homeopatik bir ilacı seyreltip çalkalayıp yeniden seyreltip yeniden çalkalayarak bu işlemi iki yüz kereye kadar tekrar ederek hazırlayabilirdiniz.

Daha yakın bir tarihte, profesyonel bir yazılım danışmanı ve kuşkuculukla eğlenen bir kişi olan Crispian Jago homeopatinin tıpta geçerli bir yaklaşım olmadığına inandığını göstermek istedi. Bu yüzden seri seyreltme yöntemini kolayca temin edilebilecek bir maddeye uyguladı: kendi idrarına. Sonra da bunu içti. Biraz sabırsız olduğundan, idrarını yalnızca otuz kez seyreltti. Ama bu süreçte İngilizcede idrar için kullanılan “urine” sözcüğü yerine daha avami, Türkçeye “çiş” diye çevirebileceğimiz “piss” sözcüğünü kullandı ve “piss olmak” için bir tedavi geliştirdiğini öne sürdü. Bu sözcük (ABD’de) kızgın ya da (Britanya’da) sarhoş

anlamına gelir. Sonuç, doğaldır ki şamatacı bir YouTube video-suyla dünyaya sunuldu.

Jago'nun 1:99 konsantrasyonda otuz kez seyreltilmiş idrar içmekten rahatsız olmamak için geçerli nedenleri vardı: Son bardağa gelindiğinde, başlangıçtaki malzemeden hiçbir şey kalmamıştı. Yalnızca “çok az miktar” değil, eğer seyreltmeler yeterli kadar dikkatlice karıştırılırsa, gerçekten hiç kalmamıştı.

Çünkü gündelik yaşamımızdaki her şey, idrar, elmas, patates kızartması, gerçekten de her şey, genellikle moleküller halinde bir araya gelmiş atomlardan oluşur. Bu moleküller bu maddenin, hâlâ o maddenin parçası olarak düşünebileceğimiz en küçük birimlerini oluşturur. Ayrı ayrı, iki hidrojen atomuyla bir oksijen atomu sadece atomlardır; birleştiklerinde su olurlar.

Dünya atomlardan ve moleküllerden oluştuğu için, şeyleri ebediyen seyreltip kimliklerini sürdürmelerini bekleyemezsiniz. Bir çay kaşığı idrar yaklaşık 10^{24} molekül içerir. Bir parça idrarı doksan dokuz parça suyla karıştırarak bir kez seyrelttiğimizde, elimizde 10^{22} idrar molekülü kalır. İki kere seyreltirse, elimizde 10^{20} molekül kalır. Yirmi kez seyrelttiğimizde, ortalama olarak özgün maddeden elimizde yalnızca bir molekül kalır. Bundan sonrası sadece gösteridir, sadece suyla suyu karıştırmış oluruz. Kırk seyreltmeyle, bilinen evrendeki her molekülü yok edisiye seyretebiliriz.

Bu yüzden, Jago süreci tamamlayıp sonunda muzaffer biçimde suyu başına diktiğinde, içtiği su musluktan normal koşullarda elde edebileceği kadar saf olmuştu. Homeopati destekçileri tabii ki bunu bilirler. Suyun, özgün seyreltmede kullanılan ot ya da kimyasal maddenin bir “anısını” tuttuğuna ve nihai çözeltinin maddenin başlangıçta olduğundan daha kudretli olduğuna inanırlar. Bu fizik ve kimya üzerine tüm bildiklerimize aykırıdır ve klinik deneyler homeopatik tedavilerin hastalıklarla mücadele etmekte plasebodan daha yararlı olmadığını göstermiştir. Ama herkes istediği görüşe sahip olmakta özgürdür.

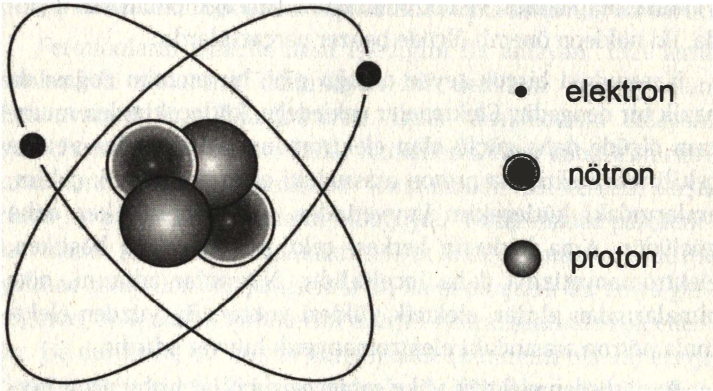
Söylendiğinin aksine, olgularımızın sahibi değiliz. Maddenin atomlardan ve moleküllerden oluştuğu çarpıcı bir olgudur. Gerçekte, iki kritik olgu söz konusu: Birincisi, maddeyi alıp bu tür şeylerin olası en küçük birimlerini temsil eden minik parça-

lara bölebiliriz; ikincisi, gözlemlenebilir dünyanın tüm çeşitliliğini oluşturmak için birkaç temel yapı taşı yeterli olur.

İlk bakışta parçacık âlemi karmaşık ve tedirgin edici görünebilir ama aslında on iki madde parçacığı vardır ve bunlar düzgün bir biçimde altılı iki gruba ayrılırlar: yağın çekirdek kuvvetine hassas olan kuarklar ve olmayan leptonlar. Bu şaşırtıcı bir öyküdür, bir yüzyıl içinde toparlanmıştır, 1897’de elektronun keşfinden, 2000’de son temel fermionun (tau nötrinosu) tespit edilmesine. Burada hızlı bir tur yapıp nicelikle ilgili ayrıntıları Ek İkiye bırakacağız. Duman dağıldığında her şeyi oluşturan görece idare edilebilir bir parçacık koleksiyonumuz olacak.

Atomların resimleri

Herkes atomların çizgi-resimlerini görmüştür. Genellikle yörüngedeki elektronların çevrelediği merkezi bir çekirdek olarak minik güneş sistemleri gibi resmedilirler. Çok tanınmış bir görüntüdür, örneğin Birleşik Devletler Atom Enerjisi Komisyonu’nun logosu gibi. Bu aynı zamanda ince bir şekilde yanıltıcıdır.



Şekil 2: bir atomun çizim resmi; bu durumda, helyum. Merkezde iki proton ve iki nötrondan oluşan bir çekirdek yer alır, iki elektron da dışarıda “yörüngededir.”

Çizgi ressamı Bohr modelini çizerler, bu model adını kuantum mekaniğinin ilk günlerinden kalan içgörülerini evvelce Yeni Zelanda doğumlu Britanyalı fizikçi Ernest Rutherford’un modeline uyarlayan Danimarkalı fizikçi Niels Bohr’dan alır. Rutherford’un atom sürümünde, elektronlar hayal edebileceğiniz herhangi bir

yörüngede, tıpkı gerçek güneş sistemindeki gibi (ama merkeze kütleçekimle değil, elektromanyetizmayla çekilirler) çekirdeğin yörüngesinde dönerler. Bohr elektronların yalnızca belli bazı yörüngelerde ilerleyebileceklerinde ısrar ederek bu fikri değiştirmişti, bu atomların yaydığı ışıınımdan elde edilen verilere uymak yolunda atılmış büyük bir adımdı. Bugün, elektronların aslında “yörüngede” olmadıklarını biliyoruz, çünkü gerçekte onların bir “konumu” ve “hızı” yok. Kuantum mekaniği der ki, elektronlar, bakarsak parçacığı nerede bulabileceğimizi söyleyen, “dalga fonksiyonu” adı verilen olasılık bulutlarında var olurlar.

Bu bir yana, bir atomun nasıl gözüktüğüne dair aklımızda temel çizim, aradığımız neler olup bittiğine dair sezgisel bir kavrayışsa o kadar da yanlış değildi. Ortada çekirdek, etrafta elektronlar. Elektronlar görece hafiftir; bir atomun kütesinin %99,9’u çekirdektedir. Çekirdek protonlarla nötronların bir bileşiminden oluşur. Nötron protondan biraz daha ağırdır, nötron elektronun 1842 katı kadar ağırken, proton 1836 katı kadar ağırdır. Protonlarla nötronlara “nükleon” denir, çünkü bunlar çekirdeği [İngilizce, “nucleus” –ç.n.] oluşturan parçacıklardır. Protonun bir elektrik yüküne sahip olması ve nötronun biraz daha ağır olmasının dışında, iki nükleon önemli ölçüde benzer parçacıklardır.

Yaşamdaki birçok şeyde olduğu gibi, bir atomun doğası da nazik bir dengedir. Elektronlar çekirdeğe, kütleçekimden muazzam ölçüde daha güçlü olan elektromanyetizmanın kuvvetiyle çekilirler. Elektronla proton arasındaki elektromanyetik çekim, aralarındaki kütleçekim kuvvetinden yaklaşık 10^{39} kez daha güçlüdür. Ama herkesin herkesi çektiği kütleçekim basitken, elektromanyetizma daha inceliklidir. Nötronlar adlarını, nötr olmalarından alırlar, elektrik yükleri yoktur. Bu yüzden elektronla nötron arasındaki elektromanyetik kuvvet sıfırdır.

Aynı türden elektrik yüke sahip parçacıklar birbirlerini iterken, karşıtlar o romantik klişeye uyar ve birbirlerini çekerler. Elektronlar çekirdeğin içindeki protonlar tarafından çekilirler çünkü elektronlar negatif, protonlarsa pozitif yük taşır. Ama, diye kendi kendinize sorabilirsiniz, bir çekirdeğin içinde o kadar sıkışık bir halde yığılmış protonlar neden birbirlerini itmezler? Yanıt, karşılıklı elektromanyetik itmelerinin onları birbirlerinden uzaklaştırmaya çalıştığı ama yeğin kuvvete yenildikleridir.

Elektronlar yeğin kuvveti hissetmezler (nötronların elektromanyetizmadan etkilenmedikleri gibi) ama protonlarla nötronlar hissederler ve bu yüzden de bir araya gelip atom çekirdeğini oluştururlar. Fakat bir noktaya kadar. Çekirdek fazla büyürse, elektrik itme dayanılmaz düzeyde artar ve çekirdek radyoaktif olur; bir süre varlığını sürdürebilir, ne var ki eninde sonunda daha küçük çekirdeklere bozunur.

Karşı-madde

Şu anda etrafınızda görmekte olduğunuz her şey, kendi gözlemlerinizle evvelce görmüş olduğunuz her şey ve kulaklarınızla duyduğunuz ya da duyularınızın herhangi biriyle deneyimlediğiniz her şey elektron, proton ve nötronlarla bunları bir arada tutan üç kuvvet, kütleçekim, elektromanyetizma ve çekirdek kuvvetlerinin bir bileşimidir. Elektron, proton ve nötronların öyküsü 1930'ların başlarında bir araya geldi. O sıralarda, bu üç fermiyonun gerçekten de evrenin temel bileşenleri, her şeyin inşa edildiği temel Lego blokları olduğunu hayal etmek karşı konulmaz olmuş olmalı. Ama doğanın şapkasında başka tavşanlar da vardı.

Fermionların temelde nasıl işlediğini ilk anlayan, 1920'lerin sonlarında elektronu tanımlayan bir denklem yazmış olan Britanyalı fizikçi Paul Dirac'tır. Dirac denkleminin dolaysız sonuçlarından biri, her ne kadar fizikçilerin bunu kabullenmeleri uzun sürdüyse de her fermiyonun "karşı-madde" adı verilen, karşıt türde bir parçacıkla bağlantılı olduğuydu. Karşı-madde parçacıkları madde karşılıklarıyla tamamen aynı kütleye ama aksi elektrik yüküne sahiptiler. Bir parçacıkla bir karşı-parçacık bir araya geldiğinde, tipik olarak birbirlerini enerjili ışınlam şeklinde yok ederler. Bu durumda, bir miktar karşı-madde (kuramsal olarak) enerji depolamak için çok iyi bir yoldu ve bu da bilimkurgu öykülerinde ileri roket motorları için birçok spekülasyonu ateşledi.

Dirac'ın kuramı 1932'de, Amerikalı fizikçi Carl Anderson elektronun karşı-parçacığı olan pozitronu keşfettiğinde gerçeklik haline geldi. Maddeyle karşı-madde arasında sıkı bir simetri mevcuttur; karşı-maddeden yapılmış bir kişi kuşkusuz kendisini oluşturan parçacıklara "madde" diyecek ve bizi karşı-maddeden yapılmış olmakla suçlayacaktır. Ama gözlemlediğimiz evren

madde doludur fakat çok az karşı-madde içerir. Bunun tam olarak neden böyle olduğu fizikçiler için bir muammadır ama elimizde birkaç olası fikir var.

Anderson kozmik ışınları inceliyordu, uzaydan gelip yerkerenin atmosferine çarpan ve sonunda yüzeyde bize ulaşan başka parçacıklar üreten yüksek enerjili parçacıklar. Bu üstünüzdeki havayı dev bir parçacık dedektörü olarak kullanmaya benzer.

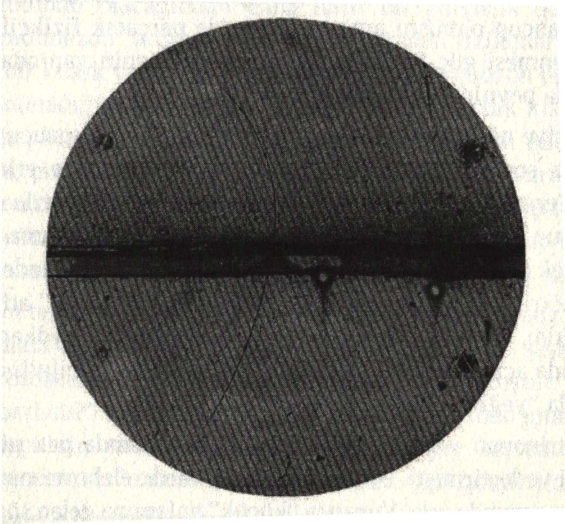
Yüklü parçacıkların yollarının görüntülerini yaratmak için, Anderson “bulut odası” adı verilen şaşırtıcı bir teknoloji kullandı. Bu uygun bir isimdir çünkü temel ilkesi gökyüzünde gördüğümüz gerçek bulutlara çok benzer. Bir odayı, su buharıyla süpersatüre durumdaki gazla doldurursunuz. “Süperatüre” su buharının gerçekten sıvı su damlaları oluşturmak istediği ama bir dış dürtme olmadan bunu yapamadığı duruma denir. Sıradan bir bulutta dürtme normalde toz ya da tuz gibi bir yabancı madde zerresi biçiminde olur. Fizikçinin bulut odasında dürtü, içinden yüklü bir parçacık geçtiğinde gerçekleşir. Parçacık odanın içindeki atomlarla çarpışır, elektronları serbest bırakır ve iyonlar oluşturur. Bu iyonlar minik su damlacıkları için çekirdeklenme mevkileri olurlar. Böylece, geçip giden bir yüklü parçacık ardında bir damlacıklar izi bırakır, tıpkı geçişinin kalıcı kanıtı olarak bir uçağın bıraktığı kuyruk izi gibi.

Anderson güçlü bir mıknatısa sarılmış olan bulut odasını aldı ve California Institute of Technology (California Teknoloji Enstitüsü) ya da Caltech’in uçak mühendisliği binasının damına çıkarttı ve kozmik ışınları gözledi. İçinde uygun biçimde süpersatüre buhar elde etmek için basınçta hızlı bir düşüş sağlamak gerekiyordu, bu da her serbest bırakıldığında yüksek bir “bam” sesi çıkartan bir piston tarafından sağlanıyordu. Muazzam elektrik tüketimi nedeniyle oda ancak geceleri çalıştırılabiliyordu. Her gece Pasadena semalarında bam sesleri yankılanıyordu, evrenin sırlarının keşfedildiğinin gürültülü kanıtları.

Anderson’ın çektiği resimler saat yönünde ve tersinde eğim gösteren eşit sayıda parçacık gösteriyordu. Bariz açıklama ışınımında eşit sayıda elektron ve proton bulunduğu yönündeydi; gerçekten de tam olarak beklenecek budur, çünkü eksi yüklü parçacıklar aynı zamanda bunu dengeleyecek artı yüklü parçacıklar da yaratılmadan, yaratılamazlar. Ama Anderson’da kulla-

nabileceği başka bir veri parçası daha vardı: bulut odasında oluşan iyon izinin kalınlığı. İzlerin eğimine bağlı olarak, bunları oluşturan protonların görece daha yavaş olduklarını biliyordu. (Bu bağlamda, bunun anlamı “ışık hızının yüzde doksan beşinden daha yavaş” olur.) Bu durumda, gözlemlendiğinden daha kalın iyon izleri bırakmaları gerekirdi. Anlaşılan, odadan geçen esrarengiz parçacıklar protonlar gibi pozitif yüklüydüler ama elektronlar gibi görece hafiftiler.

Başka bir mantıklı olasılık daha vardı: Belki de izler sadece ters yönde giden elektronlardan oluşuyordu. Bu fikri sınamak üzere Anderson odayı bölen bir kurşun levha yerleştirdi. Kurşunun bir tarafından diğerine geçen parçacık biraz yavaşlayacak ve güzergâhın yönünü açıkça belirtecekti. Parçacık fiziğinin simgesel görüntülerinden birinde, saatin tersi yönünde eğim çizen bir parçacığın odayı katettiği, kurşunu aştığı ve sonrasında yavaşladığını görüyoruz, bir pozitronun keşfini. Alanın devleri, Ernest Rutherford, Wolfgang Pauli ve Niels Bohr önce inanamadılar ama kuramsal önsezi karşısında, bu ne kadar parlak olursa olsun, güzel bir deney galebe çalar. Karşı-madde fikri parçacık fiziği dünyasına sağlamca girmişti.



Şekil 3: pozitronun Carl Anderson tarafından bulunuşunun bulut odası görüntüsü. Pozitronun güzergâhı aşağıya yakın başlayan eğik çizgidir ve yukarıya yaklaştıkça daha sert bir şekilde eğilir.

Nötrinolar

Böylece, yalnızca üç fermion (proton, nötron, elektron) yerine, elimizde ek üç taneyle (karşı-proton, karşı-nötron ve pozitron) birlikte, toplam altı tane oldu, gene de az sayıda. Ama münasebetsiz sorunlar devam ediyordu. Örneğin, nötronlar bozunduğunda, elektron yayarak protona dönüşürler. Bu süreç üzerine titiz ölçümler enerjinin sakınılmadığını gösteriyor gibiydi, protonla elektronun toplam enerjisi hep doğdukları nötronunkinden biraz fazla oluyordu.

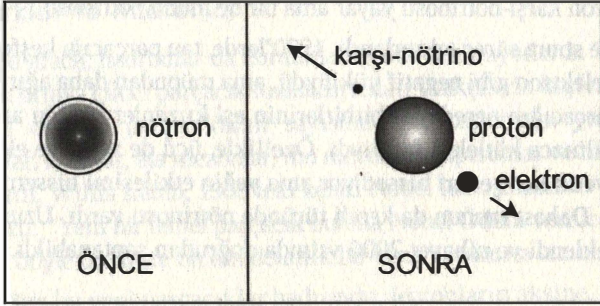
Bu bilmecenin çözümü 1930'da fazladan enerjinin saptanması zor minik bir nötr parçacık tarafından götürüldüğünü idrak eden Wolfgang Pauli tarafından önerildi. Fikrine "nötron" adını verdi ama bu çekirdekte bulduğumuz ağır ve yüksüz parçacığa aynı ad verilmeden önceydi. Bu olduktan sonra, karışıklığı önlemek için Enrico Fermi Pauli'nin parçacığına, İtalyanca "küçük nötr şey" anlamında "nötrino" adını verdi.

Aslında bir nötronun bozunumunda şimdi artık karşı-nötrino olarak bildiğimiz şey yayılır, ama ilke kesinlikle doğrudu. Pauli o sıralarda saptanamaz gibi gözüken bir parçacık önerdiği için mahcup olmuştu ama bu günlerde parçacık fizikçileri için (belirlenmesi güç farazi parçacıklar önermenin yanında) nötrinolar da peynir ekmek gibidir.

Geriye nötronların tam olarak nasıl bir süreç sonucu bozundukları sorusu kalıyordu. Parçacıklar birbirleriyle etkileşime girdiklerinde, belli ki devreye bir çeşit kuvvet giriyordu ama bir nötronun bozunması kütleçekim, elektromanyetizma ya da çekirdek kuvvetinden beklenen bir şey değildi. Bu yüzden fizikçiler nötron bozunmasını "zayıf çekirdek kuvvetine" atfetmeye başladılar, çünkü bu açıkça nükleonlarla ilgili bir şeydi ama aynı zamanda açıkça çekirdeği bir arada tutan kuvvetle ilgili değildi, buna da "yeğin çekirdek kuvveti" adı verildi.

Nötrininin varlığı temel parçacıklar arasında pek güzel bir simetri yerleştirmişti. İki hafif parçacık vardı, elektron ve nötrino, bunlara sonunda eski Yunanca "küçük" anlamına gelen sözcükten hareketle "lepton" adı verildi. İki de ağır parçacık vardı, proton ve nötron, bunlara da (daha sonraları) eski Yunanca "büyük" anlamına gelen sözcükten hareketle "hadron" adı verildi. Hadronlar

yeğin çekirdek kuvvetini hissederken, leptonlar hissetmiyordu. Her kategoride bir yüklü bir de yüksüz parçacık bulunuyordu. İş bitirdiğimizi düşündüğümüz için affedilebiliriz.



Şekil 4: nötronun bir proton, bir elektron ve bir karşı-nötrinoya bozunması

Kuşaklar

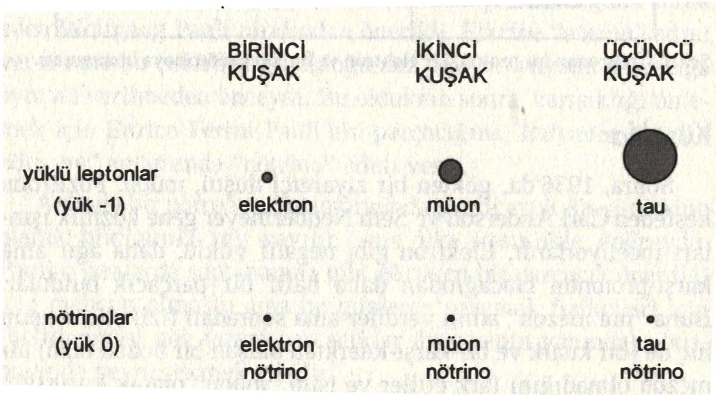
Sonra, 1936'da, gökten bir ziyaretçi düştü, müon. Pozitronu keşfeden Carl Anderson ve Seth Neddermeyer gene kozmik ışınları inceliyorlardı. Elektron gibi negatif yüklü, daha ağır ama karşı-protonun olacağından daha hafif bir parçacık buldular. Buna "mu mezon" adını verdiler ama sonradan fizikçiler bunun hiç de (bir kuark ve bir karşı-kuarktan oluşan bir bozon olan) bir mezon olmadığını fark ettiler ve isim "müon" olarak kısaltıldı. 193'larda, bir süreliğine bilinen temel parçacıkların (elektron, pozitron, proton, nötron, müon ve karşı-müon) tam yarısı Carl Anderson'ın Caltech'teki laboratuvarında keşfedilmişti. Kim bilir? Belki de bundan bir ya da iki onyıl sonra, o zaman bilinecek olan temel parçacıkların yarısı LHC'de keşfedilmiş olacak.

Müon tam bir sürpriz olmuştu. Zaten bir elektronumuz vardı; neden daha ağır bir kuzeni olsundu ki? Fizikçilerin şaşkınlığı isabetli bir şekilde I. I. Rabi'nin latifesinde yakalanmıştır: "Bunu kim ısmarladı?" İşte bu tam da LHC'deki deneylerden umut ettiğimiz tepkidir, tamamen beklenmedik bir şey keşfetmek ve bunun sonucunda kuramsal çizim masasına geri gönderilmek.

Bu sadece bir başlangıçtı. 1962'de, deneyciler Leon Lederman, Melvin Schwartz ve Jack Steinberger aslında iki farklı türde nötrino olduğunu gösterdiler. Elektron nötrinolar vardı, elektronlarla etkileşime giriyorlar ve sıklıkla onlarla birlikte yaratılıyorlardı ama aynı

zamanda müon nötrinolar da vardı ve müonlarla el ele gidiyorlardı. Nötron bozunduğunda, bir elektron, bir proton ve bir de elektron karşı-nötrinosu yayar; müon bozunduğunda, bir elektron bir de elektron karşı-nötrinosu yayar ama bir de müon nötrinosu.

Ve sonra süreç tekrarlandı. 1970’lerde, tau parçacığı keşfedildi, o da elektron gibi negatif yüklüydü, ama müondan daha ağırdı. Bu üç parçacığın neredeyse birbirlerinin eşi kuzenler olduğu anlaşıldı, yalnızca kütleleri farklıydı. Özellikle, üçü de zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri hissediyor ama yeğın etkileşimi hissetmiyorlardı. Dahası taunun da kendi türünde nötrinosu vardı. Uzun süre bu beklendi ve nihayet 2000 yılında doğrudan saptanabildi.



Şekil 5: Standart Modelin üç kuşak olarak düzenlenmiş leptonları. Daha büyük daireler daha kütleli parçacıkları gösterir ama büyüklükler oranlı değildir.

En azından altı leptona kadar ilerledik, bunlar üç “aile” ya da “kuşak” olarak görülüyorlar: elektron ve nötrinosu, müon ve nötrinosu, tau ve nötrinosu. Bir yerlerde dördüncü ya da daha ileri bir kuşak olup olmadığını düşünmek çok doğal. Şu an için yanıt kesin bir belki ama tüm olan bitenin üç kuşak olduğuna dair kanıtlar var. Çünkü bilinen nötrinolar çok küçük kütlelere sahipler, kesinlikle elektrondan çok hafifler. Şimdi yeni parçacıkları nasıl arayacağımızı biliyoruz; daha ağır olanların bozunumlarını dikkatle inceleyerek. Bu bozunumları doğrulamak için kaç nötrino benzeri parçacık olması gerektiğini sayabiliyoruz ve yanıt üç. Oralarda dolanan, belki de anormal büyük kütlelere sahip başkalarının bulunmadığından emin olmak olanak-

sız ama bulunabilecek tüm nötrinoları (ve dolayısıyla da tüm lepton kuşaklarını) bulmuş olabiliriz.

Kuarklar ve hadronlar

Bu arada, hadronlar da durdukları yerde durmuyorlardı. Yüzyıl ortası ortaya çıkan parçacık hızlandırıcıları fizikçilerin keşfettikleri temel denilen parçacıkların sayısında bir patlamaya yol açtı. Pionlar, kaonlar, eta mezonlar, rho mezonlar, hiperonlar ve başkaları vardı. Willis Lamb, 1955'teki kendi Nobel konuşmasında espriyi patlattı: "Yeni bir temel parçacık bulana Nobel Ödülü verilirdi ama artık böyle bir keşfe on bin dolarlık bir ceza yazılması lazım."

Tüm bu yeni parçacıklar hadrondu, leptonların aksine, bunlar nötronlar ve protonlarla yeğin etkileşime giriyordu. Giderek fizikçiler bu yeni gelenlerin aslında "temel" olmayıp altta yatan daha derin bir yapıyı yansıttıklarından kuşkulanmaya başladı.

Şifre sonunda 1964'te birbirlerinden bağımsız olarak hadronların "kuark" adı verilen daha küçük parçacıklardan oluştuğunu öneren Murray Gell-Mann ve George Zweig tarafından çözüldü. Tam da leptonlar gibi, altı farklı tatta sunuluyorlardı: yukarı, aşağı, tılsımlı, acayip, üst ve alt. Yukarı/tılsımlı/üst kuarkların hepsinin $+2/3$ elektrik yükü vardır, aşağı/acayip/alt kuarkların ise $-1/3$ yükü vardır; bunlar bazen sırasıyla "yukarı tipte" ve "aşağı tipte" olarak gruplandırılır.

Leptonların aksine, her tattaki kuark aslında bir tek değil, bir parçacık üçlemesini temsil eder. Her kuarkın üç çeşidi hayali bir şekilde renklerle adlandırılmıştır: kırmızı, yeşil ya da mavi. Bu adlar eğlencelidir ama gerçekçi değil; aslında kuarkları görmezsiniz, görebilseniz bile, bu renklere sahip olmazlardı.

Kuarklar "hapsedilmiştir," bu da sadece hadronların içinde bileşimler halinde bulundukları, tek başlarına yalıtılmış olarak bulunmadıkları anlamına gelir. Bir araya geldiklerinde bu hep "renksiz" bileşimler halindedir. Protonlar ve nötronların içinde üçer kuark vardır: Bir protonda iki yukarı bir aşağı, nötronun içindeyse iki aşağı bir yukarı vardır. Bu kuarklardan biri kırmızı, biri yeşil biri de mavi olacaktır; birlikte beyaz yaparlar, bu da, bu benzetme çerçevesinde, renksiz demektir. Daha sonra "sanal" kuark/karşı-kuark çiftlerinin de bulunduğunu, nükleonların içinde belirip kayboluver-

higgs: evrenin sonundaki parçacık

diklerini ama renk/karşı-renk bileşimleri halinde bulunduklarını ve toplam beyazlığı etkilemediklerini göreceğiz.



Şekil 6: Standart Modelin üç kuşak olarak düzenlenmiş kuarkları. Her kuark türü üç renktedir. Daha büyük daireler daha kütleli parçacıkları gösterir ama büyüklükler orantılı değildir.

Leptonlarla kuarkları resmeden rakamlara bakıp bir örüntü fark etmemek olanaksız. Her iki durumda da altı tipte parçacık var. Bu altısı da hassasiyetle üç çift halinde düzenlenmiş, her çiftteki iki parçacığın arasında da bir birim elektrik yükü farkı var. Bu yapının derinlerde yatan bir açıklaması olabilir mi? En azından kısmen, yanıt evet. Her çiftteki, bir elektronla nötrinosu gibi iki parçacık, boş uzayı kaplayan Higgs alanının işgüzar etkisi olmasa birbirlerinin eşi olacaktı. Bu Higgs'in simetri bozucu olarak rolünün bir yansımasıdır ve kitabın daha ilerilerinde bunu daha titizlikle inceleyeceğiz.

Yerine oturmayan kuvvet

Etrafımızdaki bütün maddeye boyunu ve şeklini veren Standart Modelin fermionlarıdır. Ama bu fermionların birbirleriyle etkileşime girmelerini sağlayan da kuvvetler ve ilişkili bozon parçacıklarıdır. Fermionlar bozonları ileri geri savurarak birbirlerini iter ya da çekerler ya da bir tür bozon püskürtürerek enerji kaybedebilir veya başka fermionlara bozunabilirler. Bozonlar olmasa, fermionlar ebediyete kadar sadece düz hatlar

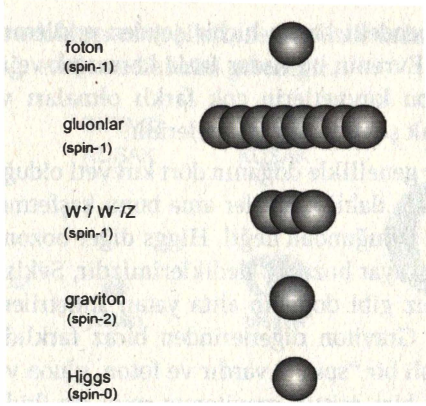
boyunca, evrendeki başka hiçbir şeyden etkilenmeden hareket edeceklerdi. Evrenin bu kadar fazla karmaşık ve ilginç olmasının nedeni bu kuvvetlerin çok farklı olmaları ve birbirlerini tamamlayacak şekilde itip çekmeleridir.

Fizikçiler genellikle doğanın dört kuvveti olduğunu söylerler, Higgs'i bunlara dahil etmezler ama bunu keşfetmenin bu kadar uzun sürmüş olduğundan değil. Higgs diğer bozonlardan farklıdır. Diğerleri “ayar bozonu” dediklerimizdir, Sekizinci Bölümde ele alacağımız gibi doğanın altta yatan simetrileriyle derinden ilişkilidirler. Graviton diğerlerinden biraz farklıdır. Her temel parçacığın asli bir “spin”i vardır ve foton, gluon ve W/Z bozonların spinleri bire eşittir, gravitonun spini ise ikidir. (Ayrıntılar için bkz. Ek Bir.) Kütleçekimi kuantum mekaniğinin gerekleriyle nasıl uzlaştıracığımızı bilmiyoruz ama gene de bunu “ayar bozonu” olarak adlandırmak yanlış olmaz.

Diğer yandan, Higgs tamamen farklıdır; “skaler” diye adlandırdığımız bir bozondur, yani sıfır spine sahiptir. Ayar bozonlarının aksine, Higgs bize bir simetri ya da doğanın derinlerdeki bir ilkesi tarafından dayatılmaz. Higgs olmayan bir dünya çok farklı görünürdü ama bir fizik kuramı olarak tamamen tutarlı olurdu. Ne kadar önemli olursa olsun, Higgs Standart Modelin çok güzel matematiksel yapısındaki bir leke gibidir. Gene de o bir bozondur ve dolayısıyla diğer parçacıklar tarafından değişime sokulabilir ve doğanın bir kuvvetini doğurur.

Higgs bozonu Higgs alanındaki bir titreşimdir ve Higgs alanı da kütleli tüm temel parçacıklara kütlelerini veren şeydir. Yani Higgs bozonu âlemimizdeki tüm kütleli parçacıklarla etkileşime girer: kuarklar, yüklü leptonlar ve W ve Z bozonları. (Nötrino kütleleri henüz tamamıyla anlaşılmış değildir, bu yüzden şimdilik Higgs’le etkileşime girmiyorlarmış gibi davranalım ama hüküm henüz verilmemiştir.) Ve bir parçacık ne kadar kütleliyse, Higgs’le o kadar güçlü bir biçimde bağlanır. Aslında, öbür türlerdendir: Bir parçacık Higgs’le ne kadar güçlü bir biçimde bağlanırsa boş uzayı kaplayan ortamsal Higgs alanında geçerken o kadar fazla kütle edinir.

-
- 1 Spin: İngilizce “dönüş” sözcüğünden. Temel parçacıkların, klasik karşılığı olmayan, iç açılal momentumu denebilen ve ancak belirli değerler alabilen temel bir kuantum özelliği, dönü -ç.n.



Şekil 7: Standart Modelin bozonları. (Bu kitapta gravitonları da bozonlara dahil ettik ama herkes etmez.) Bütün bozonlar, W'ler dışında elektrik yükü olarak nötrdür ve W'ler, Z'ler ve Higgs dışındakiler kütesizdir.

Higgs'in bu özelliği, daha kütleli parçacıklarla daha güçlü bir şekilde etkileşime girmesi LHC'deki canavarı inceleme konusunda kesinlikle yaşamsaldır. Higgs'in kendisi de ağır bir parçacıktır ve onu ürettiğimizde bile doğrudan göremeyiz; hızla başka parçacıklara bozunacaktır. (Örneğin) W bozonlarının belli bir bozunma hızına, alt kuarkların farklı bir bozunma hızına, tau mezonlarının farklı bir bozunma hızına vs sahip olmasını bekleriz. Üstelik bu rastgele değildir, Higgs'in başka parçacıklarla nasıl etkileşime girmesi gerektiğini tam olarak biliyoruz (çünkü her birinin ne kadar kütleyle sahip olduğunu biliyoruz), bu yüzden değişik türden bozunmaların beklenen sıklıklarını hayli hassasiyetle hesaplayabiliriz.

Asıl istediğimiz, haksız çıkmaktır. Higgs'i keşfetmek büyük bir zaferdir ama yeni bir şey tarafından şaşırtıldığımızda işler gerçekten heyecan verici hale gelir. Üretmesi güç ve başka parçacıklara da hızla bozunan görünmez parçacıkları aramak zorlu bir görevdir. Bu sabır, hassasiyet ve titiz istatistiksel çözümleme gerektirir. İyi haber şu ki, fizik yasaları (ya da onların herhangi bir farazi sürümü) acımasızdır; görmemiz gerekenler üzerine öngörüler tereddütsüz ve değiştirilemezdir. Higgs bozonunun beklediğimizden farklı olduğu ortaya çıkarsa, bu Standart Modelin bizi yanıltmış olduğunun ve yeni olguların kapısının sonunda açılmış olduğunun açık bir göstergesi olacaktır.

HIZLANDIRICI ÖYKÜSÜ

Burada, parçacıkları yüksek enerjilerde çarpıştırmak gibi beklenmedik bir meşgalenin renkli tarihini izliyoruz.

Ben on yaşlarındayken, Pennsylvania'nın Lower Buck kazasındaki yerel kütüphanenin bilim bölümünü keşfettim. Hemen bağlandım. En gözde kitaplar, astronomi ve fizik üzerine olanlardı, saygın Dewey Ondalık Sistemine göre, 520'ler ve 530'lar. En dikkatle karıştırdığım kitaplardan biri Hal Hellman'ın yazdığı *High Energy Physics* (Yüksek Enerji Fiziği) başlıklı mütevazı bir kitaptı. Okumamı 1970'lerin sonlarında yapıyordum ama kitap 1968'de yazılmıştı, Standart Model bir araya getirilmeden önce, kuarkların egzotik ve bir şekilde korkutucu görünüşlü kuramsal spekülasyonlar olduğu sıralar. Ama bol bol hadron bulunmuştu ve *High Energy Physics* parçacık güzergâhlarının, her biri doğanın gizemleri üzerine anlık bir göz atmayı temsil eden çarpıcı fotoğraflarıyla doluydu.

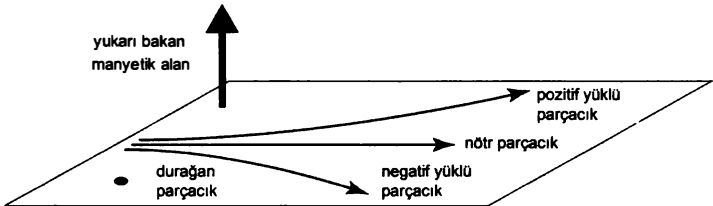
Bu fotoğrafların birçoğu, 1950'lerin ve 1960'ların önde gelen parçacık hızlandırıcısı güçlü Bevatron'da çekilmişti. Bevatron Berkeley, California'daydı ama adı buradan gelmez; hızlandırıcının ulaşabildiği enerji olan "billions of electron volts" (Milyarlarca elektron volt) sözcüğünden türetilmişti. (Aşağıda açıklayacağımız gibi, elektron volt parçacık fizikçilerinin pek sevdiği garip bir enerji birimidir.) Bir milyar "giga-" önekinde denk gelir, yani bir milyar elektron volt bir GeV'dir ama o günlerde Amerikalılar daha çok "BeV" kullanıyordu, üstelik "Gevatron" pek kulağa hoş gelen bir ad değildir.

Bevatron iki Nobel Ödülü'ne katkıda bulundu: 1959'da Emilio Segrè ve Owen Chamberlain'e, karşı-protonun keşfi için ve 1968'de

Luis Alvarez'e, sayılamayacak kadar çok parçacığı, o sinir bozucu hadronları bulduğu için. Bir süre sonra, Alvarez ve oğlu Walter o sıralarda oluşmuş jeolojik katmanlardaki anormal yüksek iridyum yoğunluğunu keşfederek, bir asteroid çarpışmasının dinazorların neslinin tükenmesinin olası nedeni olduğunu ilk gösteren kişiler oldular.

Parçacık hızlandırıcısının ardındaki ilke basittir: Bazı parçacıklar alın, bunları çok yüksek hızlara çıkartıp başka parçacıklarla çarpıştırın ve ne çıkacağını dikkatle izleyin. Prosedür iki kaliteli İsviçre saatini çarpıştırıp uçuşan parçalara bakarak neden yapıldıklarını anlamaya çalışmakla karşılaştırıldı. Ne yazık ki, bu benzetmenin mahsurları var. Parçacıkları çarpıştırdığımızda, neden yapıldıklarına bakmıyoruz; çarpıştırmayı gerçekleştirmeden önce ortalıkta olmayan yepyeni parçacıklar yaratmaya çalışıyoruz. Bu iki ucuz saati çarpıştırıp dağılan parçaların bir Rolex halinde birleşmelerini ummaya benziyor.

Bu hızlara ulaşmak için, hızlandırıcılar temel bir ilkeden yararlanır: Yüklü parçacıklar (elektronlar ve protonlar gibi) elektrik ve manyetik alanlar tarafından itilip kakılabilir. Uygulamada, parçacıkları daha yüksek hızlara çıkartmak için elektrik alanlarını, Bevatron ya da LHC'deki dairesel tüplerin çevresinde olduğu gibi doğru yönde hareket etmelerini sağlamak için de manyetik alanları kullanıyoruz. Parçacıkları doğru yolda itip kakmak için bu alanları hassasiyetle ayarlayarak, fizikçiler başka türlü yeryüzünde elde edilemeyecek koşullar oluşturabilir. (Dış uzaydan gelen Kozmik ışınlar daha enerjilidir ama aynı zamanda ender ve gözlemlemesi güç olurlar.)



Şekil 8: Manyetik alanın hareket halindeki parçacıklar üzerindeki etkisi. Manyetik alan yukarı bakıyorsa, pozitif yüklü parçacıkları saatin tersi yönde, negatif parçacıkları saat yönünde iter, nötr parçacıkları etkilemez. Aynı şekilde, durağan parçacıklar sabit kalırlar.

Teknolojik sınav açıktır: Parçacıkları olabildiğince yüksek enerjilere hızlandırılalım, birbirleriyle çarpıştıralım ve hangi yeni parçacıkların yaratıldığını izleyelim. Bu adımların hiçbirisi kolay değildir. LHC onyıllardır süren ve daha büyük ve daha iyi hızlandırıcılar inşa etmeyi öğrenmeyi amaçlayan çalışmaların sonucunu temsil eder.

$$E=mc^2$$

Bevatron karşı-protonlar yarattığında, bunun nedeni çalıştıkları atom çekirdeklerinde protonların arasında gizlenmiş karşı-protonların bulunması değildi. Doğrusu, çarpışmalar yeni parçacıklar var etmişti. Kuantum alan kuramının diliyle, özgün parçacıkları temsil eden dalgalar karşı-proton alanında yeni titreşimler doğurmuştu ve bunları parçacık olarak saptamıştık.

Bunun olabilmesi için, yaşamsal bileşen yeterli enerjiye sahip olmamızdır. Parçacık fiziğini olası kılan sezgi, Einstein'ın bize kütlenin aslında bir enerji biçimi olduğunu söyleyen ünlü denklemidir: $E=mc^2$. Özellikle, bir nesnenin kütlesi bu nesnenin sahip olabileceği en düşük enerjidir; bir şey tamamen hareketsiz durup kendi işine bakarken, sahip olduğu enerji kütlesiyle ışık hızının karesinin çarpımına eşittir. Işık hızı büyük bir sayıdır, saniyede yaklaşık 300.000 kilometredir ama buradaki rolü yalnızca ölçüm birimlerini kütleden enerjiye dönüştürmektir. Parçacık fizikçileri hızın yılda ışık yılı olarak ölçüldüğü birimler kullanmayı severler; bu durumda c bire eşittir ve kütleyle enerji gerçekten birbirlerini yerine geçebilir hale gelir, $E=m$.

Bir nesne hareket halindeyken ne olur? Bazen görelilik tartışmalarında bir parçacık ışık hızına yaklaşırken kütlesi artıyormuş gibi konuşmaktan hoşlanılır ama bu biraz yanıltıcıdır. Bir nesnenin kütlesinin ebediyen sabitlenmiş olduğunu ama hızlandıkça enerjisinin arttığını düşünmek daha doğrudur. Kütle, hareket etmemesi durumunda sahip olacağı enerjidir ve tanım gereği, hareket ediyor olsa bile, bu değişmez. Doğrusu, hız ışık hızına yaklaştıkça, enerji sınırsız yükselir. Bu nesnelerin ne kadar hızlı gidebileceğinin mutlak sınırının ışık hızı olduğunu anlamanın bir yoludur, kütleli bir cismin o kadar hızlı gitmesi için sonsuz miktarda enerji gerekir. (Aksine, kütesiz parçacıklar hep kesinlikle ışık hızında hareket ederler.) Bir parçacık hızlandırıcı pro-

tonları daha da yüksek enerjilere srklediğinde ışık hızına daha da yaklaşırlar ama kesinlikle oraya varamazlar.

Bu basit denklemin sihri sayesinde, parçacık fizikçileri hafif parçacıklardan ağır parçacıklar üretebilir. Bir çarpışmada, toplam enerji sakınılır ama toplam kütle değil. Kütle yalnızca bir enerji biçimidir ve toplam miktarı sabit kalmak koşuluyla enerji bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. İki proton büyük bir hızla bir araya geldiklerinde, toplam enerjileri yeterince büyükse, daha ağır parçacıklara dönüşebilirler. Hatta kesinlikle kütlesiz parçacıkları çarpıştırıp kütleli olanları bile yaratabiliriz; iki foton çarpışıp bir elektron-pozitron çifti oluşturabilir ya da iki kütlesiz gluon bir araya gelip toplam enerjileri Higgs kütlesinin üzerindeyse, bir Higgs bozonu oluşturabilirler. Higgs bozonu bir protonun yüz katından fazla bir kütleye sahiptir, yaratılmasının bu kadar zor olmasının nedenlerinden biri de budur.

Parçacık fizikçileri dış dünyada hiçbir anlamı olmayan ölçü birimleri kullanmaktan hoşlanırlar, bu da girişimin kendine özgü bir hareye sahip olmasını sağlar. Bunun yanında, kütle için bir birim, diğer enerji biçimleri için başka bir birim kullanmak da zahmetlidir, çünkü bunlar sürekli birbirlerine dönüştürülmektedir. Bunun yerine, nerede bir kütleyle karşılaşsak, bunu sadece ışık hızının karesiyle çarpıp enerjiye dönüştürürüz. Böylece her şeyi enerji olarak ölçebiliriz ki bu çok daha kullanışlı olur.

Parçacık fizikçilerinin tercih ettiği enerji birimi elektron voltur ya da kısaca “eV”. Bir eV bir elektronu bir voltluk elektrik potansiyelinde hareket ettirecek enerji miktarıdır. Diğer bir deyişle, bir elektronu dokuz voltluk bir pilin artı ucundan eksi ucuna götürmek için dokuz elektron voltluk enerji gerekir. Fizikçiler zamanlarını pillerin içinde elektronları srklemekle geçiriyor değil ama bu alanda standart haline gelmiş kullanışlı bir birimdir.

Bir elektron volt çok küçük bir enerjidir. Tek bir görünür ışık fotonu birkaç elektron volttur, uçan bir sivrisineğin kinetik enerjisi de bir trilyon eV. (Bir sivrisinek için çok atom lazımdır, dolayısıyla bu parçacık başına çok az enerji yapar.) Bir galon (yak. 4 litre) benzinin yanmasıyla serbest kalacak enerji 10^{27} eV’u aşar, bir BigMac içindeki besleyici enerjiyse (700 kalori) yaklaşık 10^{25} eV’dir. Yani, tek bir eV gerçekten küçük miktarda enerjidir.



Şekil 9: Enerji ölçeği. Parçacık fizikçileri sıcaklık, kütle ve enerjiyi aynı ölçekle, temel birim olarak elektron volt alarak ölçerler. Sıradan ifadeler arasında mili-eV (1/1000 eV), GeV (1 milyar eV) ve TeV (1 trilyon eV) bulunur. Kimi değerler yaklaşıktır.

Kütle bir enerji biçimi olduğundan, temel parçacıkların kütlelerini de elektron volt cinsinden ölçeriz. Bir proton ya da nötronun kütlesi neredeyse bir milyar elektron voltur, bir elektronun kütlesi de yarım milyon eV'dir. LHC'nin keşfettiği Higgs bozonu 125

milyar eV'dir. Bir eV çok küçük olduğundan, daha kullanışlı olan GeV birimini kullanırız, yani giga- (1 milyar) elektron volt. Bunun yanında kilo- (1000) elektron volt için keV, mega- (1 milyon) elektron volt için MeV ve tera- (1 trilyon) elektron volt için de TeV göreceksiniz. 2012'de, LHC protonları toplam 8 TeV'lik bir enerjiyle çarpıştırdı ve hedef de 14 TeV. Bu Higgs bozonu ve başka egzotik parçacıklar yapmak için fazlasıyla yeterli bir enerjidir; marifet üretildiklerinde, bunları tespit etmektir.

Aynı birimi kullanarak sıcaklık da ölçebiliriz çünkü sıcaklık da bir maddenin içindeki moleküllerin ortalama enerjisidir. Bu perspektiften, oda sıcaklığı yalnızca bir elektron voltun iki yüzde biridir, güneşin merkezindeki sıcaklıksa yaklaşık 1keV. Sıcaklık belli bir parçacığın kütlesinin üzerine çıktığında bu, çarpışmaların o parçacığı yaratmak için yeterli enerjiye sahip oldukları anlamına gelir. Güneşin bir hayli sıcak olan merkezinde bile, bırakın proton ya da nötronları (her biri yaklaşık 1 GeV), elektron üretecek kadar enerji (0,5 MeV) bile yoktur. Ama Büyük Patlama dolaylarında, sıcaklık o kadar yüksekti ki bir sorun yoktu.

Doğa için bir parçacığı bizden gizlemenin en kolay yolu, onu bizim laboratuvarında üretemeyeceğimiz kadar ağır yapmaktır. Bu yüzden parçacık hızlandırıcıların tarihi giderek daha yüksek enerjilere ulaşmanın tarihi olmuş ve hızlandırıcılar da Bevatron ve Tevatron gibi isimler almıştır. Görülmedik enerjilere ulaşmak fiilen kimsenin görmediği bir yeri ziyaret etmek demektir.

Avrupa'yı enerjilemek

LHC'nin yer aldığı Cenevre'deki laboratuvar olan CERN'in resmî adı Avrupa Nükleer Araştırmalar Örgütü'dür, İngilizce European Organization for Nuclear Research ya da Fransızca Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire. Kısaltmanın hiçbir dilde oturmadığını fark etmişsinizdir çünkü şimdiki "Örgüt" Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi, European Council for Nuclear Research, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire adlı örgütün doğrudan ardıdır ve herkes, adı resmen değiştikten sonra bile eski kısaltmanın korunmasında hemfikir olmuştur. Kimse "OERN" konusunda ısrarcı olmadı.

Konsey 1954'te savaş sonrası Avrupası'nda fiziği yeniden ateşlemek amacıyla on iki ülkeden oluşan bir grup tarafından kurulmuştu. O zamandan beri, CERN parçacık ve çekirdek fiziğinde ön saflarda yer aldı ve hem Avrupa bilimi için entelektüel bir merkez hem de Cenevre'nin kimliğinin önemli bir bileşeni olarak işlev gördü. İsviçre'nin en büyük ikinci kenti, dünyanın finans, diplomasi ve saat imalatı merkezlerinden birinde, Cenevre havaalanından geçen on altı yolcudan biri bir şekilde CERN'le ilişkilidir. Oraya indiğinizde, muhtemelen uçağınızda bir ya da iki fizikçi bulunacaktır.

Önde gelen birçok parçacık fiziği laboratuvarı gibi, CERN'in öyküsü de giderek daha yüksek enerjilere ulaşan daha büyük ve daha iyi makinelerin öyküsüdür. 1957'de, protonları 0,6 GeV'lik enerjyle hızlandıran Synchrocyclotron vardı ve 1959 da 28 GeV'lik enerjilere ulaşan Proton Synchrotron'un devreye girişi-ne tanıklık etti. Bu halen devrededir ve aralarında LHC'nin de bulunduğu başka makineler tarafından daha da hızlandırılan ışınlar üretir.

1971'de toplam 62 GeV'lik enerjiye ulaşan Kesişen Depolama Halkalarıyla (Intersecting Storage Rings, ISR) ileri doğru önemli bir adım atıldı. ISR, hızlandırıcı olmasının yanında bir çarpıştırıcıydı da. Önceki makineler protonları hızlandırıp isabet ettirmesi görece kolay olan sabit madde bloklarına yönlendiriyordu; ISR bir yönde giden ışınları ters yönde giden ışınlarla çarpıştırıyordu. Bu teknik çok daha büyük bir teknolojik zorluk oluşturur ama aynı zamanda da çok daha yüksek enerjilere erişilmesini sağlar; her ışının enerji taşımamasının yanında, her enerji zerresi de yeni parçacık üretilmesinde kullanılabilirdi. (Sabit hedefli deneylerde, enerjinin çoğu, hedefe bir itme sağlamakta kullanılıyordu.) Bir parçacık çarpıştırıcı inşa etme olasılığı 1950'lerde sonraları dış uzayda insanların ikametini önerip desteklemesiyle daha iyi tanınacak olan Amerikalı fizikçi Gerard K. O'Neill tarafından araştırıldı ve küçük elektron-pozitron çarpıştırıcılar 1960'larda Avusturyalı fizikçi Bruno Touschek tarafından İtalya'nın Frascati kentinde inşa edildi.

ISR'in çevresi yaklaşık 3 kilometreydi. Büyüktü ama daha büyüğü de gelecekti. Super Proton Synchrotron (SPS), 6 kilometrenin üzerinde çevresiyle 1976'da açıldı ve 300 GeV enerjilere

erişti. Bundan yalnızca birkaç yıl sonra, cesur bir hamleyle SPS'i özgün proton hızlandırma görevinden protonları *karşı-proton*larla çarpıştıracak yeni bir kurulumla getirecek şekilde değiştirdi. Tahmin edebileceğiniz gibi, karşı-protonlar toplanması ve üzerinde çalışılması güç şeylerdir. Protonlar gibi ortalıkta bulunmazlar; başlangıçta düşük enerjili çarpışmalarla bunları yapmanız gerekir, sonra da ortamdaki bir protonla çarpışıp bir ışık kıvılcımıyla yok olmadan toplayabilmek için çok çaba sarfetmeniz. Ama bu numarayı becerebilerseniz, aynı manyetik alanda karşıt yönlerde döndürebilmek için protonlarla karşı-protonların birbirlerinin aksi yüklere sahip olmasından yararlanabilirsiniz. (LHC protonları protonlarla çarpıştırır, dolayısıyla da iki farklı yön için iki ayrı ışın borusu kullanması gerekir.) İtalyan fizikçi Carlo Rubbia yükseltilmiş SPS'i 1983'te W ve Z bozonlarıyla zayıf çekirdek kuvvetini keşfetmekte kullandı ve 1984'te Nobel Ödülü'nü kazandı.

SPS halen devrededir ve sıkı çalışır. Yükseltmeler sayesinde, artık protonları 450 GeV'a kadar hızlandırabiliyor. Bunlar LHC'ye devrediliyor ve orada daha yüksek enerjilere sürükleniyorlar. Parçacık fizikçileri geri dönüşüme inanırlar.

CERN bir sonraki büyük makinesini 1989'da devreye aldı: Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı (Large Electron-Positron collider, LEP). Bu yeni bir tünel daha gerektirdi, bu kez çevresi 27 kilometreydi, 100 metre derinlikte kazılmıştı ve İsviçre-Fransa sınırında yer alıyordu. Bu sayılar size aşına geliyorsa, doğrudur, başlangıçta LEP için inşa edilen tünel şimdi LHC'nin kurulu olduğu tüneldir. Başarılı bir çalışmanın ardından, LEP 2000 yılında kapatıldı ve makineler LHC'ye yer açmak üzere söküldü.

Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı

Protonlar hadrondur, yeğin etkileşime giren parçacıklar. İkisini çarpıştırdığınızda (ya da bir protonla bir karşı-protonu), sonuçlar biraz öngörülemezdir. Olan şudur: Hadronun içindeki kuarklardan ya da gluonlardan biri diğerinin kuarklarından ya da gluonlarından biriyle çarpışır ama her iki parçacığın da başlangıçta sahip olduğu enerjiyi kesin olarak bilemezsiniz.

Elektronlarla pozitronları çarpıştıran bir makine çok farklı bir canavardır: Kaba kuvvet değil, hassaslık için inşa edilmiştir. Bir elektronla bir pozitron, LEP’de olduğu gibi çarpıştıklarında neler olduğunu kesinlikle bilirsiniz; sonuçlar öncelikle yeni parçacık keşfetmek için değil, hassas ölçümler için uygundur. Bir hadron çarpıştırıcısında parçacık fiziğinde “Waldo nerede?”¹ oynamak, çizgili, şen bir şapka aramak için tüm resme birden bakmak gibidir; bir elektron-pozitron çarpıştırıcısında aramaksa, resmin üzerine ince bir ızgara yerleştirip titizlikle tüm çehreleri incelemek gibidir.

LEP o kadar hassastı ki, ayı bile keşfetmişti ya da en azından neden olduğu gelgiti. Her gün, ayın kütleçekim alanı altında dönen yerküreyi çeker. CERN’de, bu minik gerilim LEP tünelinin her gün bir milimetre açılıp daralmasına neden oluyordu. Yirmi yedi kilometrelik bir tünel için ciddi bir şey değil ama elektronlarla pozitronların enerjilerinde minik bir dalgalanmaya neden olmak için yeterli ve yüksek hassasiyete sahip cihazlar tarafından da kolaylıkla fark edilebilecek gibi. Günlük enerji farklılıklarının neden olduğu, baştaki şaşkınlığın ardından, CERN fizikçileri ne olup bittiğini anladılar. (Özünde, ayı böyle fark etmenin, astrofizikçilerin kütleçekim etkisi aracılığıyla evrendeki kara maddeyi fark etmelerinden çok farkı yoktur.) LEP aynı zamanda Cenevre’ye giren yüksek hızlı trenleri de hassas bir şekilde ayarlanmış cihazları ölçülebilir bir şekilde etkileyen kaçak elektrik akımları sayesinde fark edebiliyordu.

Ama LEP fizikçileri ayı ya da trenleri fark etmek için orada değillerdi; Higgs bozonunu bulmak istiyorlardı ve bir süreliğine bulduklarını da zannettiler.

Standart Modelin özelliklerinin hassas ölçümlemleri yapan (ama hiçbir yeni parçacığın bulunmadığı) bir çalışmanın ardından, LEP’in 2000 yılı Eylülü’nde kapatılması ve LHC’ye yer açmak üzere sökülmesi programlanmıştı. Makinelerinin çalışacak yalnızca birkaç ayının kaldığını bilen teknisyenler, başarı için her

- 1 Waldo nerede: İlk kez İngiltere’de “Where is Wally?” (Wally nerede?) adıyla yayımlanan, illüstratör Martin Handford’un yarattığı çocuklar için bilmece kitapları. Oyunun esası, kitabın içindeki kalabalık resimlerdeki Waldo (ya da Wally) adlı, kırmızı-beyaz çizgili kıyafeti ve şapkası olan karakteri bulmaya dayanır –ç.n.

yola başvurdular ve onu 209 GeV'a yükseltmek için her şeyi denediler, bu tasarımı koşullarında düşünülenin üzerinde bir enerji dzeyiydi. Bozulsa bile, zaten sökülecek bir hızlandırıcıydı.

Işınlar bu yeni enerjilere çıkarken, ALEPH adı verilen bir deneydeki Wisconsin-Madison niversitesi'nden Sau Lan Wu önderliğindeki bir ekip, diğerlerinin nne çıkan az sayıda olay fark etti. Birkaç kışkırtıcı ipucu ama tam da LEP'in görüş sınırında, 115 GeV kütlede dolaşan bir Higgs bozonu olması durumunda görmeyi beklediğimiz şey. Wu'nun önceden de bazı başarıları vardı ve gluonların mevcudiyetinin belirlenmesini sağlayan 1979 tarihli bir deney için aldığı Avrupa Fizik Cemiyeti dl de bunlara dahildi. şiddetle Higgs'in peşindeydi ve bu olanağın öylesine elinden kaıvermesine izin verecek değildi.

Normal koşullarda, bir parçacık dedektrndeki birkaç umut vaat eden olay heyecanlanmaya neden olmamalıydı, siz ve meslektaşlarınızın yıllardır peşinde koştuğunuz Kutsal Köse'ye tıpatıp benziyor olsa dahi. Parçacık fiziği istatistiğe dayanır: Çünkü bir dedektörde gördüğünüz hemen hemen her şeyin gerçekleşmesinin birden fazla yolu vardır ve bütün marifet yeni bir parçacık konusunda beklediğiniz oranla elde ettiğiniz oranı karşılaştırmaktır. Bu durumda, birkaç olay sizi heyecanlandırıyorsa, daha fazla veri toplarsınız. Sinyal ya güçlenecek ya da dağılacaktır.

Sorun şu ki, laboratuvar hızlandırıcınızı kapatacaksa daha fazla veri toplayamazsınız. Wu ve diğer fizikçiler CERN'in o sıralardaki genel direktörü İtalyan fizikçi Luciano Maiani'ye başvurup daha fazla veri toplamaları için LEP'in çalışmasını uzatmasını istediler. Herkes olası keşfin öneminin ve tam Higgs keşfedilmeden önce makinenin kapatılmasından duyacakları muazzam pişmanlığın idrakindeydi. Temel bir parçacığı ilk kez görmek o kadar sık olacak bir şey değildir, hele fizik anlayışımız açısından bu kadar merkezi olanını. O sıralarda fizikçi Patrick Janot'nun dediği gibi, "İnsanlık tarihinde bir satır yazıyoruz." Ve ortada bir rekabet olduğunun da farkındaydılar: Chicago dışındaki Fermilab'da bulunan Tevatron da Higgs bozonunu hedefliyordu ve LHC devreye girmeden 115 GeV'de onu bulabilirdi. Parçacık fiziği uluslararası dayanışmaya dayanır ama her bilim insanının içinde de rekabet ateşi yanar.

Neyin söz konusu olduğunun farkında olan Maiani bir ara yol buldu: LEP kapatılacaktı ama 2000 Ekimi boyunca bir aylık bir ek çalışmanın ardından. Higgs avcıları biraz homurdandılar ama Higgs'in üretmesi beklenen olaylara uyan veriler peşinde çalışmaya koyuldular. Aradıklarını buldular da ama birkaç tane ve sadece Wu'nun ekibinin çalıştığı ALEPH dedektöründe değil, LEP'de işleyen dört farklı deneyde. Ama bunun yanında hiç de Higgs'e benzemeyen daha fazla "ardalan" olayı da gözlediler.

Olay sona erdiğinde, olası Higgs olayının toplam istatistiksel önemi de azalmıştı; sinyal ardalan tarafından bastırılmıştı. LEP çalışmaya devam edebilirdi ama bu LHC'nin inşası programında ciddi bir gecikme demekti, bu da hem maliyetlerde bir artış hem de büyük makinenin devreye girmesinden önce daha fazla zaman geçmesi anlamına geliyordu. Büyük ikramiye için son bir hamle ne kadar çekici olursa olsun, LEP'nin emekliye ayrılıp başka hızlandırıcıların yarışı sürdürmelerinin zamanı gelmişti.

SLAC, Brookhaven, Fermilab

CERN başarıyla birçok Avrupa ülkesinin (Ve yakınlarda, tüm dünyanın) çabalarını önde gelen bir fizik laboratuvarı yaratmak amacıyla birleştirirken, başka tesisler de parçacıklar ve kuvvetler konusundaki anlayışımızda önemli ilerlemeler kaydetmekte sorumluluk aldılar. Özellikle Birleşik Devletler'deki üç laboratuvar, Standart Modelin oluşturulmasında katkıda bulundu: California'daki Stanford Üniversitesi'ndeki SLAC, Long Island'daki Brookhaven ve Chicago dışındaki Fermilab.

SLAC başlangıçta "Stanford Linear Accelerator Center (Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi)" teriminin kısaltmasıydı ama 2008'de, Enerji Bakanlığı bunu resmen "SLAC Linear Accelerator Center" olarak değiştirdi, belki de iktidar sahiplerinden biri sonsuz tekrarları seviyordur. (Daha olası olan, Stanford Üniversitesi'nin, Enerji bakanlığının içinde adlarının geçtiği bir kısaltmayı resmîleştirmesini istememesidir.) 1962'de kurulan SLAC parçacık fiziğinde eşsiz bir yer işgal eder çünkü yüksek enerjili bir *doğrusal* hızlandırıcıya sahiptir, dairesel bir çember yerine, *doğrusal* bir hat oluşturur. Hızlandırıcıyı barındıran bina Birleşik Devletler'deki en uzun, dünyadaki en uzun üçüncü yapı-

dır. (İlk ikisi Çin Seddi ve Pakistan'da on dokuzuncu yüzyıldan kalma bir müstahkem mevki olan Ranikot kalesidir.) Başlangıçta hızlandırıcı elektronları sabit hedeflere çarpıtırıyordu. 1980'lerden itibaren, elektronları pozitronlarla çarpıştıracak şekilde yükseltildi ve sonrasında da doğrusal hızlandırıcıyı birinci kademeye olarak kullanan bir halka eklendi.

SLAC aralarında tılsımlı kuark ve tau lepton da bulunan birçok parçacığın keşfinde kilit bir rol oynadı ama kuşkusuz en büyük katkısı kuark fikrinin doğruluğunu göstermesidir. 1990'da, Nobel Ödülü 1970'lerde protonların iç yapılarını yakından incelemek amacıyla SLAC'in elektron ışınını kullanan MIT'den Jerome Friedman ve Henry Kendall'la SLAC'ten Richard Taylor'a verildi. SLAC-MIT ekibi düşük enerjili elektronların fazla sapma göstermeden protonların içinden geçerlerken, yüksek enerjili elektronların (ki bunların daha kolaylıkla geçmeleri beklenir) garip açılarda sapmalar göstermeye eğilimli olduklarını gösterdi. Yüksek enerjili parçacıklar kısa dalga boyuna sahip titreşimlere karşılık gelirler ve dolayısıyla da çok kısa mesafelerde olanlardan etkilenmeye daha hassas olurlar. Fizikçilerin gördüğü, protonların içinde yaşayan çok küçük parçacıklardı, şimdi kuark olarak bildiğimiz şeyler.

Brookhaven Ulusal Laboratuvarı (Brookhaven National Laboratory) 1947'de kuruldu ve yedi farklı Nobel Ödülü'ne katkıda bulundu: beşi fizik, ikisi de kimya dalında. Lederman, Schwartz ve Steinberger'in Ortaklaşa Nobel Ödülü'nü kazanmalarını sağlayan müon nötrino Brookhaven'de keşfedildi. Şimdilerde, parçacık fiziğine esas katkısı, Büyük Patlamadan kısa süre sonra var olan türden kuark-gluon plazması yaratmak üzere ağır çekirdeklerin çarpıştırıldığı yaklaşık dört kilometre uzunluğundaki bir halka olan Görelilikçi Ağır İon Çarpıştırıcısından (Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC) gelir. Guinness Dünya Rekorları Kitabı yetkilileri RHIC'in tüm zamanların yapay şekilde üretilen en yüksek sıcaklığından sorumlu olduğunu belgelemiştir: 7 milyon Fahrenheit ya da Güneş'in merkezindeki sıcaklığın 250.000 katı. RHIC'teki fiziğin hedefi yeni parçacıklar aramaktan ziyade bu aşırı koşullarda kuarklarla gluonların nasıl davrandığını öğrenmektir.

Diğer önemli yüksek enerji fiziği kompleksi Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı (Fermi National Accelerator Laboratory) ya da kısaca Fermilab'dir. Protonlarla karşı-protonları yüksek enerjilere hızlandıran dev halkalarda uzmanlaşan Fermilab yaşamının büyük bölümünde CERN'in doğrudan rakibiydi. 1967'de çok yönlü bir bilim insanı ve yenilikçi bir yönetici olan, fizikçiler arasında yaratıcılığıyla ve olanaksız gerçekleştirmek konusundaki bariz becerisiyle tanınan Robert Wilson'ın rehberliğinde kurulmuştu. Yeni laboratuvarı zamanında ve bütçeyi aşmadan tamamlamakla kalmadı, ana binayı da tasarladı ve yerleşkeye hayat veren heykellerden birçoğunu da şahsen yarattı. Roma'daki Accademia Belle Arti'de kısa süre heykel eğitimi görmüş olan Wilson laboratuvar için on metre boyunda metal bir dikilitaş inşasını önerdiğinde, sendika yasalarının kaynak işçiliğinin sendika üyeleri tarafından gerçekleştirilmesinin şart olduğu söylendi. Yanıtı (onun için) doğaldı: Kaynakçılar sendikasına katıldı, Fermilab tamir atölyesindeki usta kaynakçı James Forester'in yanında çıraklık yaptı ve eğitim programını titizlikle sürdürdü. Wilson tarafından yemek molalarında ve hafta sonları inşa edilen dikilitaş 1978'de ana binanın dışındaki bir havuzun ortasına dikildi.

Fermilab'in gururu Tevatron'du, protonlar ile karşı-protonları birbirlerine 2000 GeV'luk bir enerjiyle çarpıştıran muazzam bir makine. (TeV'nin "Tera Elektron Volt" anlamına geldiğini ve bunun da 1 trilyon elektron volt ya da 1.000 GeV olduğunu anımsayın.) 1983'te tamamlanan Tevatron LHC 2009'da tacı devralana kadar dünyanın en yüksek enerjili hızlandırıcısıydı. Taçlandırıcı başarısı sıradışı yüksek kütleyle sahip üst kuarkın keşfiydi, bu 1995'te gerçekleşmişti. O sıralarda Fermilab'de çalışan bir lisansüstü öğrencisi olan Washington Üniversitesi'nden Gordon Watts, sinyalin yeni bir parçacığın kanıtı olarak o önemli "üç sigma" eşliğini (Dokuzuncu Bölümde açıklanacak) aştığı anı anımsar:

Konferanslardan birinde kullanılacak tüm çözümlemelerin gözden geçirildiği o büyük üst düzey toplantılardan birindeydik. Bütün çözümlemeciler küçük bir fazlalık görüyordu ama bu o kadar küçüktü ki aslında pek anlamlı değildi. Doğrusu, bunu bir süredir yapıyorlardı ve hepimiz alışmıştık, bu neden-

le temelde bunu görmezden geldik. Normal maraton toplantılardan birinin sonuydu, oda doluydu, ben de zeminde, arkalar da oturuyordum. Hava sıcaktı ve oda da... mm... havasızdı (kibarca söylersek). Sanırım son konuşmayı dinlemek üzereydik ki bir sandalye kapacak kadar erken gelmiş olanlardan biri elini kaldırdı... “Ah... bir dakika durun... en basit şeyi yap-sam ve tüm ardalanları toplasam, sinyaller üç sigmanın üzerine çıkıyor.” Odaya bir sesizlik çöktü, herkes konuşmaları toparlayıp bunun gerçekten doğru olup olmadığını çözmeye çalışıyordu. Ardından ya sözcü ya da toplantı başkanı konuştu... o dört harfli sözcüktü. Sanırım herkes omuriliğinden aşağıya bir üşüme hissetmiştir.

Uzun süredir peşinde olduğumuz Higgs Tevatron’un ulaşamayacağı yerde kaldı. LHC’den daha düşük enerji ve parlaklıkla, Amerikan makine hep yarışı kazanmak için düşük olasılıktı. Ama LEP kapandıktan sonra ve LHC devreye girmeden önce, Fermilab esrarlı parçacığın ilk somut kanıtını bulma iddiasında bulunabilecekleri bir pencere açıyordu. Sonunda, Tevatron’daki fizikçiler Higgs için bazı kütle değerlerini saf dışı bırakabildiler ama varlığı için somut kanıt iddiasında bulunamadılar.

Kasvetli bütçe koşullarının baskısının yanında bir de artık devreye girmiş olan LHC’nin çok daha yüksek enerjilerinin karşısında, Tevatron 30 Eylül 2011’de kapatıldı ve Birleşik Devletler topraklarındaki son önemli yüksek enerjili parçacık çarpıştırıcısının kariyeri de sona ermiş oldu. (Brookhaven’daki Görelî Ağır İyon Çarpıştırıcısı çekirdek fiziği alanında önemli çalışmalar yapıyor ama nükleon başına 10 GeV’un altında enerjilere ulaşabildiğinden, yeni parçacık araştırmasında rekabet şansı yok.) Bir ardılın olup olamayacağı şimdilik bilinmiyor.

Süper Çarpıştırıcı

Tevatron’un sözüm ona bir ardılı olacaktı tabii ki: 1987’de Başkan Ronald Reagan tarafından desteklenen ve başlangıçta 1996’da devreye girmesi planlanan Süperiletken Süper Çarpıştırıcı (Superconducting Super Collider, SSC). SSC muazzam ihtiraslı bir projeydi, çevresi 87 kilometre olacak yepyeni bir halkası olacaktı ve protonları Tevatron’un yirmi katı 40 TeV’luk bir enerjiyle çarpıştıracaktı. İlk günlerde, laboratuvar

için yer seçimi yapılmadan önce projeye destek çok yüksekti: Neredeyse her eyaletin Kongre delegeleri seçmenlerine bu muazzam projeyi götürme umudunu taşıyordu ve elli eyaletin kırk üçü jeolojik ve iktisadi araştırmalar başlatacak kadar rekabeti ciddiye alıyordu. Sonunda kazanan Texas'ta, Dallas'ın elli kilometre kadar güneyinde uyuyup giden Waxahachie kasabası oldu.

SSC'nin yeri seçildikten sonra projeye duyulan heves Kongrenin elli eyaletinin delegelerinden kırk dokuzunun nezdinde derhal söndü. Federal bütçe açığının azaltılması yolunda büyük baskıların yaşandığı bir dönemdi ve SSC'nin başlangıçta da zaten yüksek olan maliyeti neredeyse üçe katlanıp 12 milyar dolara çıkmıştı. Bir başka etmen de bilim insanlarının olmasa da hükümet yetkililerinin gözünde, Uluslararası Uzay İstasyonunun (International Space Station, ISS) rekabetiydi. ISS bütçesi NASA'dan 50 milyar doların üzerindeydi, uzay mekiğinin uçuşlarını da eklerseniz, 100 milyar dolar. Bu dev projenin parasının önemli bir bölümünün de Texas'a, görev denetim biriminin bulunduğu Johnson Uzay Merkezi'ne akacağı gözlerden kaçmadı.

Şu anda SLAC'te bir kuramcı olarak görev yapan JoAnne Hewett'e şimdiki işine nasıl girdiğini sormuştum. Tam gününü hatırlıyor: 21 Ekim 1993, Kongrenin SSC'nin tabutuna son çiviye çaktığı gün. Hewett hem SSC'den hem de SLAC'ten teklif almıştı ve inşa halindeki yeni makinenin heyecan verici atmosferinde yer almaya hevesliydi. O sonbahar sabahını C-SPAN'de Kongreyi izleyerek ve çaresiz bir durumda oylamanın yanlış tarafa yönelmesini gözlemleyerek geçirmişti. O öğleden sonrasını yas tutarak geçirdi ve sonra da SLAC'in direktörünü arayarak tekliflerini kabul etti. Oradaki meslek yaşamı çok başarılı oldu, parçacık fiziği için yeni modeller inşa etti ve bunları verilerle karşılaştırmak için akıllıca yollar geliştirdi ama, böylesi verileri daha önceden ve daha yüksek enerjili çarpışmalar soncunda fiilen elde etme düşüncesi karşısında insan hüzünlenmeden edemiyor.

O sıralarda ben de taze bir doktora sonrası araştırmacıydım ve MIT'deki parçacık kuram grubunun bir üyesiydim. Tüm Boston bölgesi fizik camiasını bir araya gelip ne yapılabileceğini konuşmak üzere davet ettiğimiz kasvetli bir toplantıyı hatırlıyorum. Bazı sorular bilimseldi: SSC'nin çözmek üzere tasarlandığı sorunlara başka şekillerde yaklaşamaz mıydık? Kimileri daha pratikti:

Birleşik Devletlerin LHC'ye sağlayacağı ciddi bir yatırımı desteklemeli miydik ya da zaten kaybedilmiş olan savaşı sürdürecekti miydik? Bazıları bunlardan daha pratikti: SSC laboratuvarının kapatılmasıyla kapıya konan bilim insanlarına iş ya da geçici görevler sağlamak için yapabileceğimiz bir şeyler var mıydı?

SSC iptal edildiğinde, tünelin bir bölümünün kazılması ve bazı gerekli fiziksel altyapısının inşası için 2 milyar dolar harcanmıştı bile. Kongre'nin projeyi iptal gerekçesini tek bir nedene indirgemek zordur ama sık tekrarlanan bir şikâyet SSC yönetiminin gerekli bürokratik prosedürleri yerleştirmekteki isteksizliğiydi. Kongrenin bir komitesinin 1994'teki iptal sonrası "Denetim dışı: Süperiletken Süper Çarpıştırıcıdan alınan Dersler" başlıklı bir raporu, çeşitli kötü yönetim suçlamaları sıralanır, bunlara Kongre ve Enerji Bakanlığıyla iletişim zorlukları da dahildir. Bazen eleştiriler aptallaşır, örneğin laboratuvarın bitkilere 20.000 dolar harcadığına dair basında haberler çıktığında olduğu gibi (sonradan anlaşıldı ki, buna çevre düzenlemesi de dahilmiş). Bu arada, fizikçiler de gereksiz bürokrasi olarak gördükleri şeylerden yakınıyordu. SS laboratuvarının direktörü olarak görev yapan Roy Schwitters bir gazeteciye şöyle söylenmişti: "Zamanımız ve enerjimiz bürokratlar ve politikacılar tarafından baltalanıyor. SSC vasat öğrencilerin intikamının kurbanı oluyor." Dönüp de düşününce, bu en siyaseten akılcı niteleme olmayabilir.

Bu arada, fizikçiler kendi aralarında kavga ediyorlardı. Parçacık fizikçileri araştırma ödenekleriyle kamu dikkatinin önemli bir kısmını elde ediyordu ama fizik alanının genelinde bu büyük ölçüde azınlıkta kalan bir çalışmaydı. Amerikan Fizikçiler Birliği'nin (APS) üyelerinin yalnızca yüzde yedisi Parçacık ve Alan altgrubuna dahildi; diğerleri yoğun madde ve malzemeler, atomik ve moleküler fizik, optik, astrofizik, plazma fiziği, akışkanlar dinamiği, biyofizik ya da başka alanlarda çalışıyorlardı. 1980'lerin sonuyla 1990'ların başlarında, bu alanların birçoğu parçacık fiziğine doğru akan fonlardan ve ilgiden hayli tedirgindi ve onlar için SSC ciddi bir şekilde rayından çıkmış önceliklerin simgesiydi.

APS'nin o sıralardaki halkla ilişkiler ofisinin icra direktörü Bob Park, 1987'de SSC'nin "fizik camiasının karşılaştığı belki de en bölücü sorun" olduğunu söylemişti. 1977'de Nobel Ödülü'nü

kazanan saygın bir yoğun madde fizikçisi olan Princeton'dan Philip Anderson, "parçacık fiziğinin yalnızca gerçek yaşamla değil, bilimin geri kalanıyla da olan neredeyse eksiksiz ilgisizliğini" vurgulamış ve her ne kadar SSC iyi bilim olsa da paranın belki de başka yerlerde daha yararlı bir şekilde harcanabileceğini öne sürmüştü. Cornell'den bir malzeme bilimcisi olan ve APS'nin başkanı olmak için sırasını bekleyen James Krumhansl projenin daha verimli maliyetli araştırma alanlarının parasını boşalttığına ve yeni bir parçacık hızlandırıcısının süperiletkenlerle manyetik teknolojilerinin gelişmesini beklemesi gerektiğine inanıyordu. Parçacık fizikçileri de manyetik rezonans görüntüleme gibi başka alanlardaki gelişmelerin hızlandırıcı geliştirmelerinin yan ürünü olduğunu iddia ederek meslektaşları nezdinde kendi davalarını zedeliyorlardı. Nobel ödüllü başka bir fizikçi ve APS başkanı olan Nicolaas Bloembergen 1991'de, "Manyetik rezonans alanındaki öncülerden biri olarak, size temin edebilirim ki bunlar düşük ölçekli bilimin yan ürünleridir," diye ifade vermişti.

Bürokratik denetim, bütçe sıkıntıları ve disiplin öncelikleri üzerine didişmelerin arasında, temel araştırmanın anlamı ve kendi başına keşfin önemi gibi daha büyük sorular kaynayıp gitmişti. 1993'te yeni bir başkan ve birçok yeni temsilci seçilmiş ve devlet harcamalarını denetim altına alma sözü vermişlerdi. Berlin Duvarı yıkılmış, Sovyetler Birliği çökmüş ve Soğuk Savaşın yanında buna eşlik eden teknolojik üstünlük yarışını da sona erdirmişti. İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesiyle doruğuna çıkmış olan yüksek enerji fiziğinin ulusal siyaset üzerindeki etkisi yarım yüzyıldır kademeli bir gerileme içindeydi. Düşünen insanların çoğunluğu evreni daha iyi anlama çabasının önemli olduğunda hemfikirdi ama bir ülke yurttaşlarının hepsi için yeterli sağlık hizmeti ve gelir sağlamak da öyledir. Bunlar dengelemesi zor önceliklerdir.

SSC kesinlikle iptal edildikten sonra, toprak ve tesisler Texas eyaletine devredildi, onlar da uzun süre bunları özel bir yatırımcıya satmaya çalıştılar. Sonunda 2006'da başarılı oldular ve Johnnie Bryan Hunt adlı Arkansalı bir milyoner, tesisi 6,5 milyon dolara satın aldı. Hunt'ın fikri SSC tesisini görülmedik düzeyde güvenli bir veri depolama tesisine dönüştürmektir. Laboratuvarın güç ve iletişim hatları mevcuttu ve yer de depremlerle su baskınlarının

higgs: evrenin sonundaki parçacık

dan uzak kalacak şekilde dikkatle seçilmişti. Ama yıl sonundan önce yetmiş dokuz yaşındaki Hunt bir buz tabakası üzerinde kaydı, kafatasını zedeledi ve öldü. Veri deposu fikrinden vazgeçildi ve SSC alanı yeniden sessizliğe gömüldü. 2012 itibarıyla, tesis komşuların şiddetli itirazlarına karşın yeni bir fabrika kurmayı tasarlayan bir kimya imalatçısı tarafından satın alındı. SSC laboratuvarının nihai kaderi ne olursa olsun, Waxahachie Higgs bozonu araştırmalarında önemli bir rol oynamıyor.

Birçoklarının öngördüğü gibi, SSC'nin iptali bilimin başka alanlarındaki fonların artmasına neden olmadı; doğrusu, aynı hevesli Kongre bütçe kısıtlayıcıları araştırma bütçesinin geri kalanı üzerinde de aynı keyifle çalışmaya koyuldular. Bu talihsiz olayın bir tek kabul edilebilir kazananı oldu: Büyük Hadron Çarpıştırıcısı. Amiral gemisi olacak bir makine hayalinden yoksun bırakılan Birleşik Devletler fizikçileri başarılı bir şekilde LHC'deki rollerinin artışı yönünde lobi yaptılar. Amerika'dan akan para LHC'nin kapsam olarak ilerlemesine yardımcı oldu ve Higgs'in ebediyen gizli kalmayacağı umudunu canlı tuttu.

İNŞA EDİLMİŞ EN BÜYÜK MAKİNE

Burada, Büyük Hadron Çarpıştırıcısını ziyaret ediyoruz, Higgs bozonunu arayan bilim ve teknolojinin zaferini.

10 Eylül 2008’de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı hayata atıldı. Dünya çapında binlerce fizikçinin tezahüratları eşliğinde ilk protonlar başarıyla halkanın çevresini dolaştı. Şampanya mantarları patladı, sırtlar sıvazlandı, nutuklar atıldı, nihayet insanın keşiflerinde yeni bir çağ başlamıştı.

Dokuz gün sonra, patladı.

Tüm hızlandırıcı değil, tabii ki. LHC yerin yüz metre altındaki 27 kilometre çevresi olan dairesel bir tünelde yaşar ve Cenevre yakınlarında İsviçre ve Fransa arasındaki sınırı kateder. Tüm tesisin havaya uçması için tasavvur edilemez bir felaketin gerçekleşmesi gerekir ama tek tek parçalar bozulabilir.

LHC’nin işleyebilmesi için, içerisinde aşırı soğuk tutulması gerekir. Makine protonları iki farklı ışın borusunda dolaştırır: biri saat yönünde, diğeri de saatin aksi yönde, ki ışınlar deneylerin gerçekleştiği bazı yerlerde çarpıştırılabilirsin. Her iki ışın borusu da süpergüçlü mıknatısların içinde dolaşır, bunların görevi protonların kesinlikle kendilerine ayrılan güzergâhlarda ilerlemeleri için yönlerini saptırmaktır.

Manyetik alanları oluşturmak kolaydır. Sadece bir tel halkasının içinden elektrik akımı geçirmek gerekir. Güçlü alanlar oluşturmak için çok akım gerekir. Ama malzemelerin çoğunluğu, yüksek niteelikli teller bile, akımın geçişine belli bir direnç gösterir. O zaman da sorun, telin ısınmaya başlaması ve sonunda da erimesi olur. Bu sorunla başa çıkabilmek için, teller inanılmaz düşük sıcaklıklara

kadar soğutulur ki, süperiletken olsunlar. Bir süperiletkenin hiç direnci yoktur, bu yüzden içlerinden akım geçerken teller ısınmaz. LHC dünyadaki (açık arayla) en büyük soğutucudur ve soğutma da olası en düşük sıcaklık olan mutlak sıfırın 1,9 derece üzerinde, eksi 271,25 derecede tutulan sıvı helyum aracılığıyla sağlanır.

Sıkıntı şuradadır: helyumun sıcaklığı çok az yükselse bile, mıkna-tıslardaki teller süperiletken olmaktan çıkarlar. Bu olduğunda, içlerinden geçen muazzam miktarlardaki akım dirençle karşılaşır ve telleri daha da ısıtacak şekilde tepki verir. Bu helyumu daha da ısıtır ve süreç denetimden çıkar, helyum kaynayıp gaza dönüşür ve içinde bulunduğu kabı patlatarak dışarı çıkar. İşletme durumunda, LHC'nin mıkna-tısları felaketin saç kılı kadar uzağında çalışır.

Meslek dilinde böylesi bir gemi azıya alma olayına “sönüm” denir. 19 Eylül 2008’de görünüşte tali bir elektriksel sorun mıkna-tıslardan birinde bir sönüme yol açtı, sıkıntı hızla yakındaki diğer mıkna-tıslara da yayıldı. O sıralarda LHC’nin başında bulunan Lyn Evans odasında oturmuş hayli sıradan işlerle uğraşırken cep telefonundan derhal gelmesini isteyen bir çağrı aldığını anımsar, ciddi bir şeyler oluyor gibiydi. “Oraya gittiğimde, bir bilgisayar ekranında bile böyle katliam görmemiştim. Her yer kıpkırmızıydı.”

Sorun sonunda hatalı bir süperiletken bağlantısında bulundu, bu bir elektrik kıvılcımına yol açmış ve bir helyum borusu delinmişti. Sonunda, LHC’nin halkasında protonları bükmeye yarayan 1232 mıkna-tısın ellisi değiştirilmek zorunda kaldı. CERN’den açıklanan ilk raporlar kazayı bir “sızıntı” olarak nitelendiriyordu ama “patlama” daha doğru bir betimleme olurdu. Birkaç dakikada altı tonun üzerinde sıvı helyum tünele boşaldı ve oluşan stres de mıkna-tısların cıvatarlarla bağlı oldukları zeminden ayrılmalarına yol açtı. Güvenlik kuralları, protonlar dolanırken LHC tünellerinde kimsenin bulunmamasını gerektiriyordu ama kaza esnasında ışın devrede değildi; neyse ki etkilenen alan o sırada boştu ve kimse zarar görmedi.

Katlanmış çabalar

En azından, kimse fiziksel bir zarar görmedi. Zihinsel zarar ciddiydi. O sıralarda CERN’in genel direktörü olan Fransız fizikçi

Robert Aymar şöyle bir basın açıklaması yaptı: “LHC’nin 10 Eylül’deki çok başarılı başlangıcından sonra, bu kuşkusuz psikolojik bir darbedir.” Yıllar süren sıkı çalışmanın ardından, sonunda LHC’nin devreye alınmasının o kadar yakın olduğunu gördükten sonra böyle sarsıcı bir aksaklıkla karşılaşmak moral bozucuydu.

Ama bu mutlu sonla biten bir öyküdür. Ne kadar hayal kırıklığı yaratıcı olursa olsun, 19 Eylül patlaması CERN camiasını LHC’yi hayata geri döndürme görevinin etrafında kenetledi. Mühendisler ve fizikçiler makinenin her parçasını, gemlemesi beklenen görülmedik enerjilere dayanmasını sağlama almak üzere kontrol edip iyileştirme görevine kendilerini adadılar. Bu iş sadece birkaç civatayı sıkmaktan ibaret değildi: Hasarlı cihazlar onarılmakla kalınmadı, makinenin bütün diğer parçaları da daha yüksek kalite standartlarına yükseltildiler. Bu zor ve meşakkatli bir işti. Ancak bir yıl geçtikten sonra, hızlandırıcı bir kez daha tam güçle çalışacak hale gelmiş gibiydi.

Mike Lamont’un resmî unvanı LHC Makine Koordinatörü’ydü ama bir Uzay Yolu hayranı bir keresinde onu “LHC’nin Bay Scott’ı” olarak tarif etmişti. CERN’de yirmi üç yılın üzerinde zaman geçirdiğinden, protonların görüldüğü kadarıyla baş edilemez engeller karşısında gelmeye devam etmelerini sağlamak onun sorumluluğundaydı. Tabii ki minik sorunlar hep oluyordu ama LHC’nin nihayet yeniden çalışacağı gün yaklaştıkça, yoldaki her tümsek muazzam felaketler boyutuna büyütülüyordu. 3 Kasım 2009 testlerinde, yüzeydeki istasyonlardan birindeki elektrik arızası nedeniyle bazı mıknatıslardaki sıcaklık yükselmeye başladı. Lamont meraklı muhabirlere sorunun baralardan birinin üzerindeki bir ekmek kırıntısına bağlandığını açıkladı. Anlaşılan, havadan geçen bir kuş yukarıdan bir ekmek parçası düşürmüştü. Lamont ve diğer mühendisler hızla sorunu giderdiler ve normal işlemler devam etti ama öncesinde muhabirlerin gözleri bu olay nedeniyle fal taşı gibi açılmıştı. *Telegraph* gazetesi CMS dedektörünün fotoğrafının yanına bir güvercin fotoğrafı bastı ve şu alt başlığı koydu: “Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (solda) ve baş düşmanı (sağda).”

20 Kasım 2009 günü, protonlar kazadan sonra ilk kez LHC’yi dolanmaya başladı. Üç gün sonra, ışınlar makinedeki ilk çarpışmayı gerçekleştirmek üzere bir araya getirildiler. Bundan yalnız-

ca yedi gün sonra, enerjiler LHC'nin o zamana kadar inşa edilmiş en yüksek enerjili hızlandırıcı olacağı düzeye çıktı.

Normal işletme programına göre, LHC Cenevre'de elektriğin en pahalı olduğu aylarda tasarrufta bulunmak amacıyla kara kışta kapatılacaktı. Ama 2009-2010'da herkes sabırsızdı ve ekip-ler hızlandırıcının gücünü yükseltmek için çabalarını ikiye katladılar. İlk fizik verileri (makineyi denemek amacıyla kullanılan "devreye alma" verilerinin aksine) 2010 başlarında elde edildi. 2010 Martı'nda, LHC geçici enerji hedefine (nihai hedefin yarısı) ulaştı. Bu arada yüksek enerji parçacık çarpıştırması rekorunu kırdı. Şampanyalar bir kez daha patlatıldı.

Geriye dönüp bakıldığında, Eylül 2008 kazası LHC'deki fizikçilerle teknisyenlerin makinelerini daha iyi anlamalarını sağladı ve bunun sonucunda 2010'da başlayan fizik deneyleri esas olarak kesintisiz ilerleme öyküleri oldu. İşlemlerin ciddi anlamda o yıla kadar başlamadığı düşünülürse, deneylerin 2012 Temmuzu'na kadar Higgs'i keşfetmek için yeterli veriyi toplayıp çözümleyebilmiş olması herkes için bir sürpriz oldu. Sanki satın aldığınız pahalı otomobil hemen bozulmuş, uzun bir süreyi de sinir bozucu bakım sorunlarıyla geçirmişsiniz gibiydi. Ama sonunda yola çıkartıp gaza bastığınızda, performans nefesinizi kesmişti.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı en büyüğünden Büyük Bilimdir. Hareketli parçaların sayısı, mekanik olduğu kadar insanî olanlarınki de bazen rahatsız edici hatta moral bozucu olabilir. Nobel ödüllü Jack Steinberger'in sözleriyle, "LHC günümüzde herhangi bir ilerleme sağlamanın ne kadar zor bir hale geldiğinin simgesidir. Altmış beş yıl önceki, benim tezimi yazdığım zamanlarla arasında ne büyük bir fark var. O zaman ben tek başıma, yarım yılda ileriye doğru ilginç bir adım oluşturacak bir deney gerçekleştirebilirdim." LHC insanların şimdiye kadar inşa ettiği en büyük ve en karmaşık makinedir ve bazen, işliyor olması bile şaşırtıcı gelir.

Ama işliyor, hem de parlak bir başarıyla. Bu kitabı yazarken konuştuğum fizikçiler, ardı ardına operasyonun dehşet verici boyutlarından söz ettiler ama bunun yanında, CERN'in geniş çaplı uluslararası işbirliği için nasıl da bir model oluşturduğundan bahsettiler. Deneyci Joe Incandela der ki, "Bana şaşırtıcı gelen, dünyanın yetmiş ülkesinden insanın burada çalışıyor olması, hem de birlikte. Filistinlilerle İsraililer yan yana çalışı-

yor, İranlı ve Iraklı bilim insanları birlikte çalışıyor; Büyük Bilim peşinde böylesi bir işbirliği gözden kaçırılmamalı.” Fermilab’den Amerikalı bir kuramsal fizikçi olan Joe Lykken özlemle yakındı, “Birleşmiş Milletler de CERN gibi çalışabiliyor olsa, dünya çok daha güzel bir yer olurdu.”

Higgs bozonu gibi yaratılması muazzam enerjiler gerektiren parçacıkların peşinde koşmanın değerli bir uğraşı olduğunu düşünüyorsanız, bunun tek yolu Büyük Bilimdir. Görece ucuz masaüstü deneyleriyle halledilebilecek birçok muhteşem araştırma var ama yeni kütleli parçacıklar keşfetmek bu sınıfa girmiyor. Şimdilerde, LHC kentteki tek oyuncu ve performansı da insan yaratıcılığı ve sebatının bir kanıtı.

Yıllar süren planlama

LHC bir planlama ve tasarım harikasıdır. CERN’deki fizikçiler bir süredir dev bir proton çarpıştırıcısı üzerine düşünüyorlardı ama sonunda LHC olarak ortaya çıkacak şey üzerine ilk “resmî” tartışmalar 1984 Martı’nda, İsviçre’nin Lausanne kentindeki bir atölyede gerçekleşti. Planlamacılar Birleşik Devletler’in sonunda Süperiletken Süper Çarpıştırıcı haline gelecek olan bir şeyi düşündüklerini biliyorlardı, bu nedenle, Avrupalı bir rakibin kıt kaynakların akılcı kullanımı olup olmayacağına karar vermek durumundaydılar. (Kuşkusuz, SSC’nin eninde sonunda iptal edileceğini bilmiyorlardı.) Sıfırdan yeni bir tesisin inşasına başlanan SSC’nin aksine, LHC kapsam olarak zaten inşa edilmiş olan LEP tüneline sığma gerekliliğince kısıtlanmıştı. Bunun sonucunda, hedef enerji 14 TeV olarak belirlendi, yani SSC’nin 40 TeV’lik hedefinin ancak üçte biri. Ama LHC saniyede daha fazla sayıda çarpışma gerçekleştirecekti ve daha az pahalıydı, üstelik, belki de tüm iyi fizik 14 TeV’yle erişilebilir durumdaydı ki bu da SSC’nin daha yüksek enerjisini gereksiz kılabilirdi.

LHC’yi ilerletmenin dürtüsü ağırlıklı olarak İtalyan fizikçi Carlo Rubbia’dan geldi, kendisi 1984 yılında W ve Z bozonlarını keşfinden dolayı Nobel Ödülü’nü kazanmış olan girişken ve etkili bir deneyciydi. Rubbia güçlü kişiliğinin yanında bilim insanı olarak başarılarıyla (ki bunlar hayli önemlidir) da tanınan efsanevi bir kişiliktir. 1981’de CERN’i ilk proton/karşı-proton

çarpıştırıcısını inşa etmeye ikna eden de oydu, bu kavram daha sonra Fermilab'ın Tevatron'unda da uygulanmıştı. (LHC'yle protonları protonlarla çarpıştırmaya geri dönmüş bulunuyoruz, zira istenen sayıda çarpışma gerçekleştirmek için yeterli karşı-proton üretmek çok zordur.)

Önce CERN'in Uzun Vadeli Planlama Komitesi başkanı, sonra da 1989-1993 arası laboratuvar genel direktörü olan Rubbia, LEP'in henüz tamamlanmadığı ve Birleşik Devletler'in de SSC'ye devam ettiği sanılan bir dönemde güçlü bir şekilde LHC'yi destekledi. Avrupa'nın da kendi bütçe sıkıntılarını yaşadığı bir dönemdi. Özellikle de birleşme maliyetlerinin çok yüksek olduğu Almanya'nın. Rubbia sonunda Avrupa hükümetlerini, diğer ülkeler ne yaparsa yapsın, bir hadron çarpıştırıcısının laboratuvarın bir sonraki adımı olduğuna ikna etti. CERN 1991'e kadar LHC önerisini resmen inceleme kararını almadı ve projenin nihayet onaylanması da (SSC'nin iptali sonrası) Aralık 1994'ü buldu. Lyn Evans LHC'nin direktörü olarak atandı ve fikirden gerçeğe doğru yol almaktan oluşan muazzam görev de nihayet başladı.

Mimar

O kadar uzun yıllara yayılan, o kadar çok insan ve ülkenin işine girdiği ve o kadar dehşet verici sayıda önemli altprojelerin söz konusu olduğu bir projede, bir tek kişiyi öne çıkartıp birçok başka kişinin rolünü azımsamak doğru olmaz. Gene de LHC'yi inşa eden bir kişiden söz edilecekse, bu Lyn Evans olmalı.

Evans mütevazı birisi gibi görünür, kırsal ve seçkin kılıklı ama samimi. Gallerde bir madenci ailesinin çocuğuydu, ilk aşkı kimyaydı; patlayıcılar yapmaktan özel bir zevk alıyordu, belki de bu, günün birinde insanların o zamana kadar başardığı en yüksek enerjili parçacık çarpıştırıcısını inşa edecek birisi için uygun bir başlangıçtı. Üniversitede fiziğe geçti, çünkü "fizik daha ilginç ve daha kolaydı." LHC projesi onaylanınca, CERN işi kotaracak kadar deneyim sahibi ama tamamlanmasını sağlayacak kadar da genç ve enerjik birine ihtiyaç duyuyordu. Evans'a belli boyutlara, kısıtlı bütçeye ve deneysel bilim tarihinde eşsiz teknolojik zorluklara sahip bir makineden azami fiziksel getiriyi

sağlamak gibi ürkütücü bir görev verilmişti. LHC'nin özgün şemalarını alıp bunları finansal gerçekliklerle uyumlu bir tasarıma dönüştürmenin yolunu bulan Evans'tı.

Bu büyüklükte bir mühendislik projesinin ilerleyişi esnasında, beklenmedik engeller çıkacaktır. Her ne kadar LEP sayesinde LHC'yi bekleyen hazır bir tünel varsa da çarpışmaların sonuçlarını ölçmekte kullanılacak dört büyük deney için yeni mağaralar kazılmalıydı. CMS deney alanı ana CERN alanına göre halkanın aksi tarafında, sınırın Fransa yanındaki Cessy kasabasının yakınlarındaydı. İşçiler yeni deney için toprağı kazmaya başladıklarında beklenmedik bir keşifte bulundular: dördüncü yüzyıldan kalma bir Roma villasının kalıntıları. Şimdi İngiltere, Fransa ve İtalya olan yerlerden gelme mücevherler ve sikkeler bulundu. Arkeologlar için heyecan verici ama fizikçiler için kritik bir gecikme; yıkıntılar incelenirken inşaat altı aylığına durdu.

Burada da bitmedi. CMS mağarasının bir yeraltı nehrinin altında olduğu ortaya çıktı. Su akışı deneyi aksatacak düzeyde değildi ama kazı süreci için sorun yaratıyordu. İnşaat ekibi fizikçilere uygun bir çözüm buldu: Zemine borular saplayıp sıvı azotla doldurdular ve suyu dondurup kazıcıların çalışabilecekleri katı ortam yarattılar. "Hayli heyecan vericiydi," dedi Evans.

Evans ve CERN kadrosundaki birçok fizikçi sebat etti. Teknik sorunların dışında, havai hükümetler de sürekli CERN'e olan katkılarını kesme tehdidinde bulunuyordu. En üst düzeyde, parçacık fiziği bilimsel bilgi ve teknik know-how kadar diplomasi ve siyasal idrak de gerektiriyordu. 1997'de, Birleşik Devletler projeye 2 Milyar dolar katkıda bulunmayı kabul ettiğinde büyük bir adım atılmış oldu. CERN'in tüm resmî üye ülkeleri Avrupalıydı: Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İtalya, Hollanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovakya, İspanya, İsveç, İsviçre ve Birleşik Krallık. Birleşik Devletler (Hindistan, Japonya Rusya ve Türkiye'yle birlikte) "gözlemci" devletti, fizik operasyonlarına katılabiliyor ve CERN konseyinin toplantılarına katılabiliyor ama politika belirlemeye resmen katılamıyordu. Birçok başka ülkenin bilim insanlarının CERN'de çalışmasını sağlayan anlaşmaları vardı. Ama Birleşik Devletler odadaki gorildi ve LHC'nin başarısına

önemli bir katkı sağlaması gelişmesinde önemli bir rol oynamıştı, tıpkı daha öncesinde Japonya ve Rusya'nın katkıları gibi. Kısa süre sonra, binin üzerinde Amerikalı fizikçi LHC'de çalışıyordu.

Evans'ta doğal bir kalenderlik vardı ve astlarından ilerlemeler üzerine titiz kayıtlar tutmalarını istemeyi değil, alet edevatla elini kirletmeyi daha rahatlatıcı buluyordu. LHC'nin inşaatı planlandığı gibi ilerliyorsa bile, küçük fiyat sapmaları zamanla birikti. Hızlandırıcının bütçenin yaklaşık %20 üzerine çıktığı anlaşıldığında, işler doruğuna vardı. Evans'ın karşı görüşüne rağmen, Genel Direktör Luciano Maiani açık bir CERN konsey toplantısında bu sorunu açıkladı ve doğrudan, üye ülkelere ek maliyeti karşılamak üzere ellerini ceplerine atmalarını talep etti.

Mutlu olmadılar. 2004'te genel direktör olarak Maiani'nin ardılı olacak olan Robert Aymar'a CERN konseyi tarafından amiral gemisi makinelerinin yönetimine yakından bakması talimatı verildi. Bazıları Evans'ın bu iş için doğru kişi olup olmadığını ve daha katı bir elin gerekip gerekmediğini sorguluyordu. Ama Aymar Evans'ın LHC üzerine eşsiz anlayışının herhangi bir gevşeklikten daha değerli olduğunu anlamıştı ve kendisi proje direktörlüğünü sürdürdü. Evans daha sonraları bu anı LHC üzerine çalışmalarındaki en dip nokta olarak nitelendirdi. "Gerçekten sıkışmıştım," dedi. "En kötü yıl buydu."

Makinenin çalışması sonrasında gelen 19 Eylül kazası üzerine, Evans "Bu son sektördeki son devreydi, yani baş belasıydı. Neyse ki, geçmişte de zor anlarım olmuştu."

Parçacıkları hızlandırmak

Teterbol adı verilen oyunda, bir ipin bir ucu bir voleybol topuna, diğer ucu da bir direğin tepesine bağlanır. İki rakip direğin karşı yönlerinde dururlar ve ipi direğe dolamak için topa vururlar. Şimdi sadece bir tek oyuncu olduğunu ve ipin de direğe dolamadan etrafında serbestçe döndüğünü düşünün her dönüşte, oyuncu topu aynı yönde iter ve giderek daha yüksek hızlara çıkartır.

LHC gibi bir parçacık hızlandırıcısının ardındaki temel fikir kısaca budur. Voleybol topunun rolü bir avuç proton tarafından oynanır. Topun bir daire çevresinde dönmesini sağlayan ipin rolü de halka boyunca protonları saptıran güçlü bir manyetik alan tara-

findan oynanır. Topa vuran oyuncunun rolü de her dönüşte hızlarını arttırmak üzere protonları iten bir elektrik alan tarafından.

Gündelik kıstaslara göre protonlar aşırı küçüktür, bir santimin yaklaşık yirmi trilyonda biri kadar. Birini kapıp fırlatmanız ya da geçerken tokatlayıp hızlandırmanız mümkün olmaz. LHC içinde protonları hızlandırabilmek için bir voltaj jeneratörü proton geçerken, yaklaşık saniyede 400 milyon kez yönünü tersine çeviren, hızla değişen bir elektrik alan yaratır. Çevirme çok hassas bir şekilde zamanlanır ki herhangi bir proton çukurdan geçerken hep aynı yöne bakan bir elektrik alanla karşılaşır ve süratle daha yüksek hızlara çıkar. Bu itme halkanın yalnızca bir tek yerinde gerçekleşir; yirmi yedi kilometre boyunca çabanın büyük bölümü protonları doğru yönde döndürmek için harcanır, onları hızlandırmak için değil.

LHC tam güç çalıştığında, biri saat yönünde diğeri de tersindeki iki ışında hareket eden toplam yaklaşık 500 trilyon proton bulunur. (Sayılar yaklaşıktır, çünkü makinenin başarımı zaman içinde artmaktadır.) Bu çok sayıda proton yapar ama herhangi bir gündelik eşyayla karşılaştırıldığında çok küçük bir sayıdır. LHC'deki tüm protonlar, sıradan bir yangın söndürücü tüpüne benzeyen tek bir iddiasız hidrojen tüpünden gelir. Bir hidrojen molekülünde iki atom bulunur, her birinde de bir elektron bir de proton vardır. Biraz moleküler hidrojen tüpten çıkartılır, elektronları ayırmak için elektrikle çarpılır ve protonlar yola çıkartılır. Eğitimi parçacık fiziğinde değil de füzyon biliminde almış olan Lyn Evans CERN'deki çalışmasına böylesi bir süreçle başlamıştır. Tüpte yaklaşık 10^{27} hidrojen atomu bulunur ki bu da LHC'nin yaklaşık bir milyar yıllık ihtiyacıdır. Protonlar pek öyle ender bulunan şeyler değildir.

Protonlar LHC'ye sürekli katılmazlar; tek bir seferde verilen ve yaklaşık on saat (ya da ışın bir nedenle çözünene kadar) tutulmak üzere “dozlar” halinde verilir. Protonlar büyük bir dikkatle bir dizi ön hızlandırıcıda harekete geçirilir ve sonunda ana halkaya sokulur. Dikkatsizliğe yer yoktur. Dolanan iki ışındaki protonlar tekdüze bir şekilde dağılmazlar, her ışında her birinde 100 milyar kadar proton bulunan binlerce “küme” bölünmüşlerdir. Kümeler yaklaşık 2,5 santim boyundadır, araları yaklaşık 800 santimdir ve çok ince bir iğne şeklinde odaklanmışlardır.

Halkanın içinde dönerken ışının çapı yaklaşık bir milimetre kadardır, bir kurşun kalemin içindeki karbonun çapı kadar ve çarpıştırılmak üzere bir dedektöre girdiklerinde daha da inceltirilip bir milimin kırkta biri kalınlığa indirilir. Protonların hepsinin eşit pozitif elektrik yükleri vardır, bu yüzden doğal eğilimleri birbirlerinden uzaklaşmaktır ve ışını denetim altında tutmak önemli bir iştir.

Çarpışan parçacıklarının enerjisinin yanında, hızlandırıcıdaki diğer önemli nicelik, kaç parçacığın söz konusu olduğunu gösteren parlaklıktır. Ortalıkta dolanan parçacıkları sayabileceğimizi düşünebilirsiniz ama esas önemli olan çarpışma sayısıdır ve birçok parçacığın birçok çarpışmayla sonuçlanması ancak ışının çok ince odaklanmasıyla mümkün olur. 2010 yılı boyunca, öncelik makineyi silkeleyip her şeyin çalışır durumda olup olmadığını görmektir, bu yüzden parlaklık çok yüksek değildi. 2011’de sorunlar büyük ölçüde çözülmüştü ve bir yıl öncesine göre yüz katı fazla çarpışma sağlanmıştı. 2012’de başarı devam etti ve yılın ilk yarısında tüm 2011’den fazla çarpışma sağlandı. Higgs’in beklenenden daha önce keşfini sağlayan, verideki bu alevlenmedir.

Hız ve enerji

LHC’nin protonlarında çok enerji vardır çünkü hızlı hareket ederler, ışık hızının çok yakınında. Her kütleli nesnenin, bir insan olsun ya da araba veya proton, sabit durduğunda, Einstein’ın formülü olan $E=mc^2$ ’ye göre, bir enerjisi vardır, buna ek olarak ne kadar hızlı hareket ettiğine bağlı olarak bir de “kinetik” enerjisi. Gündelik dünyada, hareketin enerjisi nesnenin sabit halinde sahip olduğundan çok çok azdır çünkü gündelik hızlar ışık hızından çok çok azdır. Dünyadaki en hızlı uçak NASA’nın X-43 adı verilen deneysel uçağıdır, saatte 11.000 kilometrelik hızlara çıkar; bu hızda uçağın hareket enerjisi sabit konumdaki enerjisine ancak on milyarda bir kadar ekte bulunur.

LHC’deki protonlar X-43’ten hayli daha hızlı hareket ederler. İlk 2009-2011 denemelerinde ışık hızının %99.999996’sı kadar hızla ilerlerler, bu da saatte 1.077.050.908 kilometre yapar. Bu hızlarda hareket enerjisi sabit durumdaki hızından çok daha

büyüktür. Sabit bir protonun enerjisi bir GeV'un biraz altındadır. LHC'nin ilk deneyleri her biri 3.500 GeV'luk ya da kısaca 3,5 TeV'luk enerjili protonlar içeriyordu, böylece ikisi çarpıştığında toplam 7 TeV'luk enerji söz konusu olmuştu. 2012 deneylerinde toplam 8 TeV enerjile protonları çarpıştırdı, halihazırdaki hedef de 14 TeV'a erişmektir. Buna karşın Fermilab'in Tevatron'u yaklaşık azami 2 TeV'luk enerji üretmiştir.

Işık hızının bu kadar yakınında, görelilik kuramı yaşamsal öneme sahip olur. Görelilik bize uzay ve zamanın yüksek hızlarda değiştiğini öğretir: Zaman sabit durumdaki saatlere göre yavaşlar ve uzunluklar hareket yönünde büzülür. Bunun sonucu olarak, halkanın çevresindeki yirmi yedi kilometrelik seyahat yüksek hızlı protonlara daha kısa bir yolculuk gibi gelecektir, protonlar böyle şeyleri fark ediyorsa tabii. 4 TeV'da, bir proton halkanın çevresindeki bir turu yalnızca 6,4 metre olarak algılayacaktır. 7 TeV'a çıktıklarında, bu 3,65 metreye düşecektir.

Bir TeV ne kadar enerjidir? Çok da değil, yaklaşık uçuş esnasındaki bir sivrisineğin enerjisi kadar, yani size çarptığında hissedeceğiniz bir şey değil. Şaşırtıcı olan 4 TeV'un (ya da her neyse) çok enerji olması değil, tüm bu enerjinin bir tek protona yüklenmiş olmasıdır. Anımsayın ki, LHC'nin içinde hızlanan 500 trilyon proton vardır. Bu ışını bir bütün olarak alırsak, o zaman ciddi enerjilerden söz ediyor oluruz, yaklaşık tam hızdaki bir lokomotif motoru kadar. Yoluna çıkmak istemezsiniz.

Ya da ister misiniz? LHC'deki protonlar önemli bir miktar tutsa da çok ince bir ışına sıkıştırılmışlardır. Belki de çoğu içinizden geçip gidecektir?

Evet ve hayır. Şimdiye kadar hiç kimse LHC'nin ışınına bedeninin herhangi bir parçasını uzatmadı, bu mümkün de değildir; sıkıca bir vakum tüpünün içindedir ve ortalıkta dolaşan insanlar ulaşamaz. Ama 1978'de, Anatoli Bugorski adlı talihsiz bir Sovyet bilim insanı suratına yüksek enerjili bir parçacık ışını almayı başarmıştı. (Rusya'da, Protvino'daki U-70 Senkrotronunda güvenlik standartları CERN'de olduğundan biraz daha gevşekti.) Bugorski'ye çarpan ışın 76 GeV protonlardan oluşuyordu, yani LHC'dekilerden hayli düşüktü ama gene de bu önemli bir düzeydir. Bugorski sonradan "bin yıldızdan daha parlak" yıldırım gibi bir ışık gördüğünü söylemişti ama bildirildiğine göre bir acı

hissetmedi. Ciddi radyasyon yaraları aldı, sol kulağında duyma kaybı yaşadı ve yüzünün sol tarafı felç oldu; hâlâ ara sıra krizler geçiriyor. Ama ciddi bir zihinsel hasar görmeden olayı atlattı, doktorasını tamamladı ve sonrasında hızlandırıcı tesisinde yıllarca çalıştı. Gene de uzmanlar yüksek enerjili proton ışınlarından kaçınılmasını öneriyorlar.

Bugoski'nin kafasının tuzla buz olmamasının nedeni, protonların çoğunluğunun gerçekten de içinden geçmiş olmasıdır. Ama LHC'de bazen bir dozun "atılması" gerekir, bu da tüm ışının enerjisinin bir yerlere konmasını gerektirir. (Protonları yavaşlatabilirseniz, zararsızca dağılıp giderler ama bu pratik değildir.) Bu toplam enerjiyi düşünmenin bir yolu da bunun 80 kilo TNT ettiğidir. Yaklaşık on saatte bir, yani bir dozun sonunda tümünün de bir yerlere gitmesi gerekir.

LHC ışınının tüm yükünün bir ton bakırı eritmeye yeteceği deneylerle görülmüştür. Bunların hassas ayarlı deney cihazlarınıza rastgele dağılmasını gerçekten istemezsiniz. Bu yüzden atılan bir ışın özel mıknatıslarla normal ışın yolundan saptırılır, sonrasında sekiz yüz metre kadar yol aldıktan sonra özel bir grafit "atık bloğuna" çarptırılır. Grafit malzeme enerjiyi yaymada ve bu süreç sırasında 800 dereceye erişmesine karşın erimekte özellikle iyidir. Toplamda yaklaşık on ton grafit vardır ve hepsi de bin tonluk çelik ve beton bir kılıfla korunur. Birkaç saat soğumaya terk edilince, bir sonraki ışının atılmasına hazır olur.

Kudretli mıknatıslar

LHC'yi çevresi yirmi yedi kilometre olan dev bir dairesel halka gibi düşünüyoruz ama aslında halkanın sekizde bir parçalara bölündüğü eğimli bir sekizgendir. Her biri iki buçuk kilometrenin civarında sekiz yay vardır ve yaylar kendi aralarında beş yüz metre civarında doğrusal kesimlerle birleştirilmiştir. LHC tünelindeki yaylardan birini ziyaret ederseniz, her iki tarafa doğru uzanan bir dizi büyük mavi tüp görürsünüz, ışın borusundan geçerken protonları yönlendiren "dipol mıknatıslar." Her yay boyunca bu tüplerden 154 adedi uzanır, her biri on beş metre boyunda ve otuz ton ağırlığındadır. Her tüpün için büyük ölçüde aşırı soğuk süperiletken mıknatısla doludur ve tem merkezinde de içinde protonların

hareket ettiği iki dar ışın borusu vardır, biri parçacıkları saat yönünde, diğeri de saatin aksi yönünde döndürür.

Proton gibi bir yüklü parçacık bir manyetik alanda hareketsiz durursa, üzerinde bir kuvvet hissetmez; orada mutlu mesut hareketsiz durur. Ama hareketli bir yüklü parçacık bir manyetik alandan geçerse, doğru güzergâhtan sapar (nötr parçacıklar hiç etkilenmeden dosdoğru geçerler). LHC ışınının hareket halindeki bir trenin enerjisine sahip olduğunu anımsayın; o kadar inanılmaz kuvvette mıknatıslara gerek duyarız, çünkü protonları dar bir eğri boyunca saptırmak kolay değildir.

LHC mıknatısları olabildiğince güçlüdür, sabit boyutlarda bir tünelde olası en yüksek proton enerjilerini sağlamaya çalışırlar. Yerkürenin bir manyetik alanı vardır bu da pusulanızın kuzeyle güneyi ayırt etmesini sağlar; LHC dipollerinden birinin içindeki alan yerküreninkinin 100.000 katıdır. Doğrusu, o kadar güçlüdür ki sıradan malzemeler bu işi başaramaz ve süperiletkenlere gerek duyulur. Mıknatıslar 120 ton sıvı helyum tarafından aşırı düşük sıcaklıklara kadar soğutulmuş süperiletken niyobyum-titanyum alaşımından yapılmış yaklaşık sekiz bin kilometre sargı kablosu içerir. LHC'nin içi aslında dış uzaydan daha soğuktur: Mıknatıs sıcaklıkları Büyük Patlamadan arta kalan kozmik ardaalan ışını-mından daha düşüktür.

LHC'nin dış uzayla elverişli koşullarda karşılaştırıldığı tek kıstas sıcaklık değildir. Işın borularının içi, protonların fiilen yolculuk ettikleri tüpler mutlak şekilde mümkün olduğunca boş tutulmalıdır; havayla dolu olsalardı, protonlar sürekli hava moleküllerine denk gelecek ve ışın bozulacaktı. Bu yüzden ışın borularında çok kesin bir vakum uygulanmaktadır, öyle ki, boruların içindeki basınç yaklaşık ay yüzeyindeki atmosfer basıncına eşittir.

Makine ilk kez işletmeye alınmadan önce, LHC ekibi ışın borularını gerektiği kadar boş yapıp yapmadıkları konusunda endişeliydi. Tevatron 1983'te Fermilab'de işe başlamadan önce, protonları dolandırma yolundaki ilk girişimler hızla başarısızlığa uğramıştı; sonunda suçlunun boruyu tıkayan minik bir kumaş parçası olduğu anlaşıldı. Peki, yirmi yedi kilometre hızlandırıcıyı nasıl kontrol edersiniz? Işın borularının çapı iki buçuk santimetre kadardı, bu da akıllıca bir çözüm akla getirdi: Teknisyenler çarpmaya dayanıklı polikarbondan bir tür "pinpon topu" imal

ettiler, içine bir radyo vericisi yerleştirdiler ve borudan içeri yuvarladılar. Top sıkışırsa, teknisyenler vericinin yerini ve dolaşısıyla da tıkanıklığı tespit edebileceklerdi. Bu çok temiz bir çözümdü ve muhtemelen topar engellenmeden boruları katedip onay verdiğinde, birileri hayal kırıklığına uğramıştır.

LHC mıknaatıları makinenin en büyük ve hacimli parçalarıdır ve teknolojik yeniliklerin yanında uluslararası işbirliğinin de olağanüstü bir zaferidir. Bu düzeyde hassaslık ucuza gelmez. LHC'nin kesin maliyetini belirlemek zordur, çünkü masrafların bir bölümü de laboratuvarın genel giderlerine ayrılır ama 9 milyar dolar civarında bir rakam toplam bütçe hakkında doğru bir fikir verir. Fizikçi Gian Giudice'nin sözleriyle, “kilo başına Euro olarak ifade edildiğinde, hızlandırıcının en pahalı parçaları olan LHC dipollerinin fiyatı İsviçre çikolatalarıyla aynıdır. LHC çikolatadan yapılmış olsaydı, yaklaşık aynı paraya mal olacaktı.”

Çikolata çok pahalı gelmeyebilir; ne de olsa, onu yiyoruz. Ama genellikle en iyisinden yirmi yedi kilometresini değil. Hepsini üst üste biniyor.

Meşaleyi devretmek

Lyn Evans 2010'da makine başarıyla kurulup çalışmaya başladıktan sonra resmen CERN'den emekli oldu. Laboratuvara 1969'da katılmıştı, bu da on farklı genel direktörün yönetiminde kırk yıllık deneyim vermiştir. Daha 1981'de, yalnızca o, Carlo Rubbia ve laboratuvar not defterlerini Leonardo de Vinci tarzı eskizlerle süsleme eğilimde İtalyan bir fizikçi olan Sergio Citterlin, saatin 4:15'inde yükseltilmiş Süper Proton Sinkrotronunu devreye alıp bir parçacık hızlandırıcısının içinde ilk proton/karşı-proton çarpışmasına tanıklık etmişlerdi.

10 Eylül 2008'de, LHC'nin başlatılmasının yüzlerce insanın canlı, binlercesinin de internet aracılığıyla dünya çapında izlediği uluslararası bir olay olmasından çok farklı. O gün, Evans basın, ünlü bilim insanları ve ziyaretçi önemli insanlarla dolu kontrol odası tıklım tıklım dolu bir LHC'de tören başkanı görevi görüyordu. Gerilimi artıracak şekilde, protonları öylesine halkaya salmadılar, sekiz kesimi birer birer devreye aldılar. İlk yedi kesim başarıyla aşıldıktan sonra, Evans halkada tam bir dönüş

yapmaları için protonları hazırlarlarken geriye doğru saydı. Tam belirlenen zamanda, gri bir bilgisayar ekranında iki nokta parladı, bu ışının başarıyla yola çıkıp aynı noktaya döndüğünün işaretiydi. Odayı alkışlar doldurdu, parçacık fiziğinde yeni bir çağ başlıyordu.

Fizikçiler nadiren geleneksel şekilde emekli olurlar ve Evans için yaşamının yeni safhası LHC'deki CMS deneylerine katılmayı ve bir sonraki hızlandırıcılar kuşağının planlanmasına katkıda bulunmayı içeriyordu. Higgs'in keşfinin açıklandığı seminerlerin ardından, bunun nasıl bir duygu olduğunu ifade etmek için zaman ayırdı. "Önceki gün, CMS'teki yaz partisine katıldım, orada yaklaşık beş yüz kişi vardı. Tüm o genç insanları gördüğümde, aniden omuzlarımda nasıl bir yük olduğunu idrak ettim. Demek istiyorum ki ne kadar da çok insan iş yapmak için bu makineye güvenmiş?"

Artık makine ileri doğru gittiğine göre, CERN daha onyıllar boyunca devam edeceğini umuyor. 2008 Eylül aksaklığından çıkmak bir yıl sürdü ama hayata döndüğünden beri makine muhteşem işledi. 2010-2011 arası 7 TeV, sonra 2012'de 8 TeV toplam enerjiyle çalışarak, Higgs bozonunun ya da ona çok benzeyen bir şeyin keşfini sağladı. Gene de nihai hedef 14 TeV'a erişmek ve bunu sağlamak amacıyla da teçhizatın geliştirilip test edilmesi için iki yıllığına kapatılması gerekiyor. Kapanmanın 2012 sonlarında başlaması planlanıyordu ama keşiften sonra CERN konseyi birkaç ay daha 8 TeV'da çalışmasına karar verdi. Bu doğal bir tepki; yeni bir oyuncağınız olduğunda, hemen onunla oynamak istersiniz.

TOKUŞTURMAYLA GELEN BİLGİ

*Burada, başka parçacıkları muazzam hızlarda çarpıştırıp
neler olup bittiğini izleyerek nasıl yeni parçacıklar
keşfedeceğimizi öğreniyoruz.*

Çocukken, her türden bilim beni büyülerdi ama yalnızca iki konu dikkatimi tamamıyla çekti: kuramsal fizik ve dinazorlar. (On iki yaşındayken, paleontoloji sözcüğünü bilmiyordum.) Başka bilimlerle de oynadım ama ilişki hiçbir zaman ileri gitmedi. Bir şeyleri büyük ölçüde ateşe verebildiğim için çocuk kimya setim eğlenceliydi. , Yoksa hiçbir zaman titizlikle denetlenmiş koşullarda yeni bileşikler yaratmak beni heyecanlandırmadı.

Ama dinazorlar! Bu gerçek bir romanstı. Büyükbabam kardeşimle beni Trenton'daki New Jersey Eyalet Müzesi'ne götürürdü. Burada sıkıcı kalıntılar ve tarih sergilerini doğrudan atlayıp meşum görünüşlü iskeletlere bakakalıyorduk. Bir kariyer olarak paleontolojiyi hiçbir zaman ciddi bir biçimde düşünmedim ama tanıdığım her bilim insanı gizlice dinazorların havalılıkta zirvede olduğunu düşünür.

Bu yüzden, büyüdüğümde Chicago Üniversitesi'nin bir mensubuyken bir dinazor seferine katılma fırsatı elde ettiğimde sevinmiştim. Paleontolojik gösterilerin çoğunluğu fizikçileri devreye sokmadan da iyi idare ederler ama bu sefer, bilimi çocuklara ve temsiliyeti düşük olan azınlıklara taşımaya adanmış kâr amacı gütmeyen bir örgütlenme olan Project Exploration (Keşif Projesi) tarafından düzenleniyordu. Örgütün dostları için özel bir olaydı ve ben de farklı bir

bilim yaklaşımı sağlamak amacıyla çağrılmıştım. Benim için o kadar da önemli değildi, bulaşıkları yıkamak amacıyla götürüldüğümü de söyleyebilirlerdi, tek düşündüğüm toprağı kazıp dinazor kemikleri çıkartmaktı.

Kazdık da. Wyoming'ın Shell ilçesi (nüfus yak. 50) yakınlarındaki Morrison jeolojik oluşumunun bir bölgesinde. Morrison tepeleme Jurassic dönemden fosillerle doludur ve biz de o günü keyifle *Camarasaurus*, *Triceratops* ve *Stegosaurus* örnekleri çıkartmakla geçirdik. “Çıkartmak” bizim büyük ölçüde amatör ekibimizin yaptıkları hakkında abartılı bir anlam verebilir; biz genellikle örtölüp başka bir gezi için bırakılacak yerlerde biraz ilerleme kaydettik.

Bu deneyim bana çok şey öğretti, birincil olarak da kuramsal fiziğin paleontolojiden daha kolay bir iş olduğunu. Aynı zamanda yıllardır aklımı meşgul eden bir soruya da yanıt bulmamı sağladı: Fosilleşmiş bir kemik parçasını onu çevreleyen kaya şebekesinden nasıl ayırt edersiniz? Milyonlarca yıl boyunca, özgün iskelet yakındaki kayadan mineraller emer ve sonunda, kemikten çok kaya olur. Birini diğerinden nasıl ayırt edersiniz?

Yanıt: büyük dikkatle. Kuşkusuz, uzman bir paleontoloğun meslek yaşamı süresince edindiğı bazı numaralar vardır; deneyim sahibi olmayanların dikkatinden kaçan ince renk ve doku değişimleri. Bir grup amatörü bir dinazor fosil alanına getirin, açık ara en sık duyacağınız soru, “Bu bir kemik mi?” olacaktır. Ama bir doğru yanıt vardır ve uzmanlar (neredeyse) her zaman bunu size sağlar.

Her ne kadar dinzorları topraktan çıkartmak bir kuramsal fizikçinin gündelik yaşamından dünyalarca uzaktaysa da *deney-sel* fizikle benzerlikleri açıktır. Teklifsizce Büyük Hadron Çarpıştırıcıda “bir Higgs bozonu görmekten” söz ediyoruz ama gerçek o kadar basit değil. Hiç Higgs bozonu görmeyiz, görmeyi de hiç beklemiyoruz, tıpkı sokaktan dinzorların geçtiğini görmeyi beklemediğimiz gibi. Higgs'in yaşamı çok kısadır, saniyenin trilyonda birinin on milyarda biri kadar ki bu da LHC deneylerinin olduğu gibi teknolojik harikalar tarafından bile doğrudan yakalanamayacak kadar kısadır. (Saniyenin trilyonda biri kadar kısa ömrü olan bir alt kuark fark edilebilmenin sınırındadır; Higgs'in ömrü onun on milyarda biri kadardır.)

Bulmayı beklediğimiz, Higgs bozonunun, bozulduğunda yaratılan başka parçacıklar biçimindeki *kanıtlarıdır*. Fosilleri diyelim.

Geçen bölüm, Cenevre'nin dış mahallelerinin altındaki bir tünelde dairesel hareketteki yüz milyarlarca protonun hızlandırıldığı LHC hızlandırıcısından söz ediyordu. Bu bölümde deneylerden söz edeceğiz, halkanın çevresindeki belli yerlerde kurulu, protonların hızlı bir etkileşimler dizisi içinde çarpıştırıldığı muazzam dedektörlerden. Tek bir deneyden elde edilen verilerde güçlü bir şekilde etkileşime giren iki parçacık serpintisinin yanında, yüksek enerjili bir müon/karşı-müon çifti görebiliriz. Peki bunlar bir Higgs'in bozunumundan mı kaynaklandı yoksa başka bir şeyden mi? Bu fosilleri doğru tanımlama işi, Higgs avının bağrında yatan, bir bilim, teknoloji ve kara büyü bileşimidir.

Parçacıkları tanımlamak

Parçacık fiziği bir dedektif öyküsüdür. Bir suç mahalline gelince, dedektiflerin çoğunluğu failin suçu işlediğinin berrak video kaydıyla; tartışılmaz tanık ifadeleriyle ya da imzalı itiraf- larla karşılaşacak kadar şanslı olmazlar. Daha olası olan, birtakım rastgele kanıtlarla karşılaşmalarıdır, bir tarafta kısmi parmak izleri, diğer tarafta minik DNA örnekleri. İşin incelikli kısmı bu kanıtları bir araya getirerek suçun eşsiz bir öyküsünü toparlamaktır.

Benzer şekilde, deneysel parçacık fizikçileri bir çarpıştırıcının sonuçlarını çözümlerken, bir parçacığın üzerine yapıştırılmış "Ben Higgs bozonuyum!" yazılı bir etiketle karşılaşmayı beklemeyiz. Higgs hızla başka parçacıklara bozunur, bu yüzden bu parçacıkların ne olacağına dair iyi bir fikre sahip olmamız gerekir, bu da kuramcılarının işidir. Sonra protonları çarpıştırır ve ne çıktığına bakarız. Bir parçacık dedektörünün içindeki hacmin büyük bölümü parçacıkların geçerken açıklayıcı izler bıraktıkları malzemeye doludur, bu izler birisinin suç mahallinde bıraktığı çamurlu ayak izlerinin parçacık fiziği benzerleridir. Kuşkusuz, ayak izlerinin hepsi çamurlu değildir: Nötrinolar gibi parçacıklar, elektromanyetizma ya da yeğin kuvvetle etkileşime girmediklerinden, pek bir iz bırakmazlar bu nedenle bizim daha akıllı olmamız gerekir.

Ne yazık ki gördüğümüz izler de “Ben bir müonum ve 0,958 ışık hızıyla hareket ediyorum” diyen etiketlerle oluşmuyor. Çarpışmadan hangi parçacıkların oluştuğunu ve bunun da onları oluşturan süreç açısından ne anlama geldiğini çıkarsamak zorundayız. Bu müonun Higgs’in bozunumu mu, bir Z bozonunun bozunumu mu ya da şüphelilerden başka biri tarafından mı üretildiğini bilmemiz lazım. Parçacıklar da itirafta bulunmayacaklar.

İyi haber şu ki, Standart Modeldeki toplam parçacık sayısı görece başa çıkılabilir bir düzeyde, bu yüzden elememiz gereken çok fazla şüpheli yok. Manhttan’daki bir detektif değil de Mayberry kasabasının şerifi gibiyiz. Altı kuarkımız, altı leptonumuz ve bir avuç da bozonumuz var: fotonlar, gluonlar, W’ler, Z’ler ve Higgs. (Gravitonlar esas olarak hiç üretilmez, çünkü kütleçekim çok zayıftır.) Kütlesini, yükünü ve yeğin kuvvetten etkilenip etkilenmediğini belirleyebilirsek, temelde tam olarak onu tanımlayabiliriz. Bu deneycinin görevidir: bir çarpışmadan oluşan parçacıkların hesabını tutup kütlelerini, yüklerini ve etkileşimlerini belirlemek. Bu da tüm o heyecanı doğuran, alta yatan süreci canlandırmamızı sağlar.

Bir parçacığın yeğin etkileşimden etkilenip etkilenmediğini anlamak hayli kolaydır, bunun nedeni, mutlu bir şekilde, bu etkileşimlerin gerçekten güçlü olmasıdır. Kuarklarla gluonlar bir dedektörde leptonlarla fotonların bıraktığından tamamen farklı imzalar¹ bırakırlar. Hızla farklı türden hadronlara dönüşürler, ya “baryon” adı verilen üç kuark bileşimine ya da “meson” olarak bilinen ve bir kuarkla bir karşı-kuarktan oluşan çiftlere. Bu hadronlar kolaylıkla atom çekirdeklerine toslarlar bu da seçilmelerini kolaylaştırır. Aslında, tek bir yüksek enerjili kuark ya da gluon ürettiğinizde, yeğin etkileşimler genellikle bunların “fıskiye” adı verilen tüm bir hadronlar serpintisine dağılmalarına yol açar. Bu da bir kuark ya da gluon yaptığınızı görmeyi kolaylaştırır ama kesin özelliklerini ölçmek de biraz zorlaşır.

Benzer şekilde, manyetik alanların sihri sayesinde bir parçacığın elektrik yükünü belirlemek de hayli kolaydır. LHC tüneli dairesel ışın borusu içinde protonları yönlendiren güçlü mıknatıslarla dolu olduğu gibi, LHC dedektörleri de farklı parçacıkları

1 İng. “signature”, dedektörde bırakılan izler anlamında kullanılır –y.n.

farklı yönleri iten ve ne olduklarını belirlememize yardımcı olan manyetik alanlarla doludur. Hareket halindeki bir parçacık bir yöne doğru saparsa, pozitif yüklüdür; diğer yöne saparsa, negatif yüklüdür. Dosdoğru ilerlemesi, yüksüz olduğunu gösterir.

Halka çevresindeki deneyler

Carl Anderson 1930'larda pozitronu keşfettiğinde, bulut odası bir buçuk metre boyundaydı ve iki ton ağırlığındaydı. LHC'deki deneyler biraz daha büyüktür. En büyük iki deney, Higgs'i arayan genel maksatlı iki deve ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) ve CMS (Compact Muon Solenoid) adı verilmiştir. Halkanın karşılıklı iki tarafında yer alırlar, ATLAS ana CERN merkezinin yakınında, CMS de Fransa sınırının diğer yanında yer alır. "Compact" görece bir sözcüktür tabii ki; CMS yaklaşık 20 metre boyundadır ve ağırlığı 13.800 tondur. ATLAS daha büyük ama daha hafiftir, boyu 40 metre civarındadır, ağırlığı da 7.700 tondur. Higgs'in saklandığını umduğumuz yerlere inebilmemizi sağlayacak çukurlar, bu boyda olmalıdır.

LHC'de başka beş deney daha vardır: orta boy iki tane, ALICE ve LHCb, üç tane de küçük, TOTEM, LHCf ve MoEDAL. LHCb alt kuarkların bozunmasını inceleme üzerine uzmanlaşmıştır ve bu da hassas ölçümler için yararlıdır. ALICE (A Large Ion Collider Experiment) protonlardan ziyade ağır çekirdeklerin çarpışmasını incelemek için inşa edilmiştir, Büyük Patlamanın hemen ardından evreni dolduran kuark-gluon plazmasını yeniden yaratır. Bu yüzden ad Büyük "Proton" Çarpıştırıcısı değil, Büyük "Hadron" Çarpıştırıcısıdır, yılda bir ay, LHC protonların yerine kurşun iyonlarını hızlandırıp çarpıştırır. CMS'in yakınında yer alan TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross-section Measurement), protonların iç yapısını inceler ve birbirleriyle etkileşime geçmelerinin olasılığı üzerine hassas ölçümler gerçekleştirir. LHCf ("f" ileri anlamında "forward" karşılığındadır) çarpışmaların serpintilerini, kozmik ışınların atmosferde hangi koşullarda yayıldığını incelemekte kullanır. ATLAS yakınındadır ve diğer dedektörlerden çok daha küçüktür: her biri bir metreden küçük iki dedektör. MoEdal (Monopole and Exotics

Detector At the LHC) çok sıradışı parçacıklar için uzmanlaşmış deneyler gerçekleştirir.

Higgs bozonu avına önderlik edenler iki büyük deney olan ATLAS ve CMS olmuştur. Hayli özgül amaçlarla tasarlanmış olan küçük deneylerin aksine, bu iki dedektör sadece protonların birbirleriyle çarpışmalarını izlemek ve çarpışmalarda nelerin oluştuğunu saptamakta olabilecek en iyi işi çıkartmak için yapılmıştır. Tasarım zorluklarına bir şekilde farklı yaklaşmışlardır ama sonunda becerileri karşılaştırılabilir olmuştur. Söylemeye gerek yok ki, iki deneye sahip olmak, bir deneye sahip olmaya göre karşılaştırılamayacak kadar daha elverişlidir, bir dedektör tarafından sağlanan dramatik ve şaşırtıcı keşif, diğeri bulguları doğrulmadan ciddiye alınmaz.

Bu makinelerin büyüklüğü konusunda görmeden bir fikir sahibi olmak olanaksızdır, ben onları inşaat sırasında görmüştüm. Bir insan CMS ya da ATLAS’la karşılaştırıldığında o kadar küçüktür ki fotoğraflarda onu göstermezseniz fark edilmez. Dedektörlerden birinin yanında durduğunuzda, yalnızca büyüklüğünden değil, karmaşıklığından da etkilenirsiniz. Her parçanın bir işlevi vardır ve işbirliklerinin uluslararası doğasına baktığınızda, muhtemeldir ki yan yana iki parça yerkürenin iki ayrı ucunda imal edilmiştir.

Her ne kadar CMS “küçük” anlamında “kompakt” olmasa da sıkı sıkıya tıktırılmış olması anlamında kuşkusuz kompakttır. En istenmeyen yere kurulmuştur, CERN binalarından ancak otomobille ulaşılacak bir yerde, çünkü jeolojik çözümleme daha yakındaki noktanın ATLAS’ın daha büyük boyunun sığabileceği tek yer olduğunu ortaya çıkartmıştır. CMS aşırı yoğun bir metal, kristal ve tel bileşimidir. İmal edilmiş en büyük örnekler olan ana mıknatıslar yedi metreden büyük olmamak üzere tasarlanmıştır ve bunun çok sıradan bir nedeni vardır: Daha büyük bir şey, deneyin yer aldığı minik Fransız kasabası olan Cessy’nin sokaklarında yol alacak bir kamyonu sığmazdı. (Cessy’nin belli ki CMS’te çalışan fizikçiler tarafından yazılmış olan Wikipedia sayfası belli bir yerel pizzacıda yemek yemenizi öneriyor, ama “servis hayli rahat olabilir, bu yüzden, aceleniz varsa, oraya gitmeyin,” diye de uyarıyor.) Lojistik olanlar kadar mali kısıtlamalar da tasarım ve inşaatla yaşamsal rol oynadılar;

silindirik uç kapaklarındaki pirinç Rus top kovanlarından geri dönüştürülmüş. Dedektörün yaşamsal önemdeki bir parçası 78.000 kurşun-tungsten kristalinden oluşan set, Rusya ve Çin’de on yıllık bir dönemde yetiştirildi, her kristalin yapay olarak yetiştirilmesi yaklaşık iki gün sürdü.

Ama LHC’nin popüler fotoğraflarında muhtemelen ATLAS yer alır. Nedeni basittir: dünya dışı bir uzay gemisine benzer. Dedektörün ayırt edici özelliği deneye adını veren sekiz dev toroid biçimindeki mıknatıstır. ATLAS mıknatıslarından birini bir “torus” yani şişman bir simit olarak göremeyebilirsiniz, çünkü burada mıknatıslar köşeleri yuvarlak ama kabaca dikdörtgen şekilli tüplerdir. Fizikçiler topoloji uzmanlarından, yani özgül şekillerle değil de genel özelliklerle ilgilenen matematikçilerden dersleri almışlardır, yani onlar için “torus” kendi üzerine dönen herhangi bir silindirdir. ATLAS toroidleri devasa bir yüksek manyetik alan bölgesi yaratırlar, bu dedektörün iç bölgelerinde yaratılan yüksek enerjili müonları izlemekte yararlıdır. Mıknatıslar devreye alındığında, bunlarda biriken toplam enerji 1 milyar Joule’un üzerindedir, yani 250 kilo TNT’nin eşdeğeri. Neyse ki, bu enerjinin bir patlamayla serbest kalması mümkün değildir. (Serbest bırakmanın bir yolu yoksa enerji tehlikeli olmaz. Durağan haldeki bir elmada bir milyon ton TNT’ye eşdeğer enerji vardır ama bunu bir karşı-elmayla temas ettirmezseniz gerçekte tehlikeli değildir.)

ATLAS ve CMS’in muazzam fiziksel boyutları, onları inşa edip işleten işbirliğinin boyutlarıyla yarışır. İki insan grubu kabaca aynıdır: Her birinde üç binin üzerinde bilim insanı, bunlar otuz sekiz farklı ülkeden 170 kurumu temsil ederler. Bütün grup hiçbir zaman aynı anda aynı yerde bulunmaz ama sonsuz bir e-posta ve video konferans akışı farklı alt grupları sürekli temas halinde tutar.

Büyük ölçüde aynı olguyu incelemek üzere benzer deneyler gerçekleştiren iki büyük işbirliğinin olması birbirleriyle rekabet içinde oldukları anlamına mı gelir? Sormaya gerek var mı? Çok büyük şeyler söz konusudur ve iki deney arasında, çok saygılı olsa da çok ciddi bir rekabet söz konusudur, her ikisi de yeni keşifler peşindedir. Ekipler bu kadar büyük olunca, her deneyin kendi içinde de çok fazla rekabet vardır, farklı fizikçiler güçlü

konumlara gelmek için olduğu kadar verileri farklı şekillerde çözümlemenin karşılıklı erdemleri üzerine de yarışırılar.

Ama sistem işler. Bazı bilim insanlarının sinirlerinin gerilmesine ve uyku yoksunluğu çekilmesine yol açabilir ama deney grupları içinde ve arasındaki dostça rekabet en üst düzey bilimle sonuçlanır. Herkes birinci olmak ister ama hiç kimse haksız çıkmak istemez ve özensizseniz, birisi hızla bunu fark edecektir. CMS ve ATLAS ekiplerinin dengeli kapasiteleri her ikisinin de uzlaştığı, Higgs bozonunun keşfinin de içinde bulunduğu sonuçlara güvenmemizin en güçlü nedenidir.

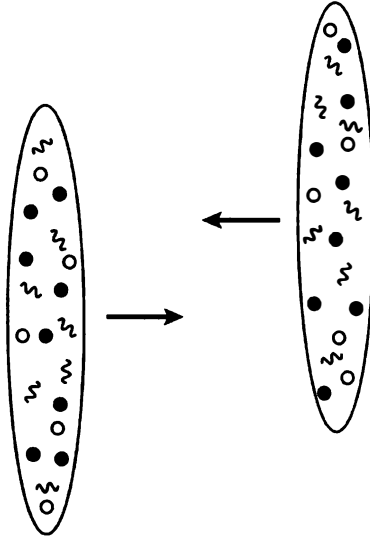
Protonları çarpıştırmak

Bu dev gibi deneylerin görevi, iki proton muazzam yüksek enerjilerle çarpıştığında ne olduğunu anlamaktır. Bir proton sonsuz küçüklükte bir parçacık ya da farklılığı olmayan proton malzemeleri yığını değildir; çok sayıda yeğin etkileşimde bileşenlerden oluşur. Sıklıkla, “Bir proton üç kuarktan oluşur” deriz ama bu biraz özensiz olur. Bir protonu proton yapan iki yukarı kuarkla bir aşağı kuark “değerlik kuarkları” olarak adlandırılır. Bu değerlik kuarklarına ek olarak, kuantum mekaniği sürekli oluşup yok olan çok sayıda “sanal parçacığın” varlığını da öngörür: gluonların yanında, kuark/karşı-kuark çiftleri. Protonların onlara kimliklerini sağlayan değerlik kuarklarından neden daha ağır olduklarının açıklaması, bu sanal parçacıkların içerdiği enerjidedir. Sayı ne kadar yakından baktığımıza bağlı olduğundan, tam bir sayı vermek zordur. (İşte size kuantum mekaniği.) Ama değerlik kuarklarının sayısı sabit kalır. Bir protonun içinde herhangi bir anda bulunan yukarı kuarkların sayısına bakarsanız, bunlar hep karşı-yukarı kuarklardan kesinlikle iki fazla olurlar; benzer şekilde, aşağı kuarkların sayısı da her zaman karşı-aşağı kuarklardan bir fazladır.

Temelde bir proton, LHC ışın borusu içinde ışık hızına yakın hızda seyreden gevşek bir kuarklar, karşı-kuarklar ve gluonlar kümesidir. Richard Feynman tüm bu bileşen parçacıkları “parton” olarak adlandırmıştı. Göreliliğe göre, ışık hızına yakın seyreden nesneler hareket yönünde büzülürler. Bu yüzden dedektörün içinde çarpışan iki proton birbirlerine doğru yüz yüze

ilerleyen krep şeklinde parton bileşimlerine benzerler. Bir proton bir diğeriyle etkileşime girdiğinde, fiiliyatta yalnızca protonların içindeki bir parton diğer protonun içindeki başka bir partonla etkileşime girer. Sonuçta, bir çarpışmada tam olarak ne kadar enerjinin söz konusu olduğunu bilmek zordur çünkü etkileşimi gerçekleştirenin hangi parton olduğunu bilmeyiz.

LHC'nin içindeki koşullar hayli hararetli olabilir. Her ışıında 1400 proton kümesi bulunur ve dedektörün içerisinde bir yönde hareket eden küme diğer yönde hareket edenin içinden saniyede yaklaşık yirmi milyon kez geçer. Her kümede 100 milyarın üzerinde proton vardır, yani etkileşime girmeye hazır çok sayıda parçacık bulunur. Ama her ne kadar kümeler hayli küçük olsalar da (yaklaşık santimetrenin dört yüzde biri), bir protonun boyuyla karşılaştırıldığında, muazzamdır; bir kümenin hacminin büyük bölümü boşluktur. Kümeler her karşılaştığında, milyarlarca proton içinde belki yirmi etkileşim olur.



Şekil 10: Bir LHC deneyinde birbirlerine yaklaşan iki protonun çizimi. Normalde küresel olan protonlar göreliliğin etkisiyle, ışık hızına yakın hareket ettiklerinden sıkışıp krep şekli alırlar. Protonların içinde kuarklar (dolu daireler), karşı-kuarklar (boş daireler) ve gluonlardan (kıvrımlar) oluşan partonlar bulunur. Karşı-kuarktan üç fazla kuark vardır; bunlar “değerlik kuarklarıdır,” tüm diğer partonlar sanal parçacıklardır.

Yirmi etkileşim de çoktur. İki proton arasındaki tek bir çarpışma, tek bir olayda yüz kadar hadronun söz konusu olabileceği karmakarışık bir parçacık serpintisine yol açar. Dolayısıyla bir “yığılma” tehlikesiyle karşı karşıya kalırız, yani dedektörün içinde birçok olayın aynı anda gerçekleşmesi ki bu da neyin olup bittiğinin ayırt edilmesini zorlaştırır. CMS ve ATLAS’ın teknoloji ve hesaplama kapasitesini mümkün olanın sınırlarına kadar zorlamasının nedeni de budur. Daha fazla çarpışma iyidir çünkü bu daha fazla veri anlamına gelir; ama aynı anda çok fazla çarpışma da ne olup bittiğini anlamayabileceğiniz anlamına gelir.

Odadaki parçacıklar

Bir parçacık dedektörü inşa etmenin bir mantığı vardır ve bunu oluşturan da bizzatihi parçacıklardır. Bir çarpışmadan ne çıkabilir? Yalnızca bildiğimiz ve sevdiğimiz çeşitli Standart Model parçacıkları, altı kuark, altı lepton ve çeşitli kuvvet taşıyan bozonlar. (Tamamen yeni bir tür üretmeyi de umarız ama bunlar normalde Standart Model parçacıklarına bozunur.) Bu yüzden tek yapmamız gereken bu olasılıkları düşünmek ve kendi kendimize, bunları en iyi nasıl saptayıp doğru bir şekilde tanımlayabileceğimizi sormaktır. Listeyi gözden geçirelim.

Kuarklar

Tüm kuarkları bir araya toplayabiliriz çünkü onları tek başlarına hiç görmeyiz, hadronların içinde kısılmışlardır. Ama bir çarpışmada bir kuark/karşı-kuark çifti yaratabilirsiniz, iki parçacık hızla aksi yönlerde harekete geçerler. Bu durumda olan, kuarkları çevreleyen yeğin kuvvetin kendisini kabul ettirmesidir ve özgün parçacığın çevresinde bir hadronlar serpintisi oluşur. Bu, dedektörde kendisini yukarıda sözünü ettiğimiz “fıskiye” şeklinde gösterir. O zaman işimiz oluşan hadronları saptamak, ki bu görece kolay iştir ve tek tek fıskiyeleri yeniden canlandırmaktır, ki bu zor olabilir. Ne türden kuark üretilmiş olduğunu ayırt etmek zor olabilir ama uygulayabileceğimiz numaralar vardır. Örneğin, alt kuarklar bozunmadan önce kısa bir mesafe

ilerleyecek kadar uzun yaşayabilir. Dolayısıyla, bozunmadan çıkan parçacıklar ana çarpışmanın biraz uzağında ortaya çıkarlar, bu da kendi izleri doğrudan fark edilmese bile, altları belirlemede kullanılabilir.

Gluonlar

Her ne kadar onlar fermion değil bozon olsalar da gluonlar gene de yeğin etkileşime girerler, bu yüzden dedektörünüzde benzer şekilde kendilerini gösterirler: bir hadron fıskiyesi gibi. Aradaki fark, tek bir gluon yapmanın mümkün olmasıdır, örneğın bir kuark bunlardan birini püskürtebilir ama yeni üretilen kuarklar hep bir karşı-kuarkla çift halinde gelirler. Bu yüzden, bir olayda üç fıskiye görüyorsanız, bu bir kuark/karşı-kuark çiftiyle bir gluon yapmışsınız demektir. Buna benzer olaylar Sau Lan Wu ve meslektaşlarının gluonların gerçek olduğunu ilk kez belirlemelerine yardımcı olmuştu.

W bozonları, Z bozonları, tau leptonlar, Higgs bozonları

Bu hayli farklı parçacıkların bir araya getirilmesinin basit bir nedeni vardır: Çok ağırdırlar ve dolayısıyla da kısa ömürlüdürler, hızla başka parçacıklara bozunurlar, o kadar hızlı ki, hiçbir zaman dedektörünüzde doğrudan görülmezler. Neye bozunduklarına bakarak varlıklarına karar verirsiniz. Bu listedekilerden, tau leptonlar en uzun ömre sahip olanlardır ve uygun koşullarda tanımlanabilecek kadar uzun yaşarlar.

Elektronlar ve fotonlar

Bunlar saptanması ve hassasiyetle ölçülmesi en kolay parçacıklardır. Kuarklar ve gluonlar gibi kargaşa dolu fıskiyeler halinde parçalanmazlar, bir maddedeki yüklü parçacıklarla kolayca etkileşime girerler ve tanımlanması kolay elektrik akımları yaratırlar. İkisini ayırt etmek de basittir çünkü elektronlar (ve karşı-parçacıkları olan pozitronlar) elektrik yüklüdür ve dolayısıyla da manyetik alanlar tarafından saptırılırlar, halbuki fotonlar yüksüzdür ve etkilenmeden düz bir çizgide ilerlerler.

Nötrinolar ve gravitonlar

Bunlar ne yeğin kuvvet ne de elektromanyetik kuvvetten etkilenmeyen parçacıklardır. Bunun sonucunda, bunları bir dedektörde yakalamanın bir yolu yoktur ve fark edilmeden kurtulur giderler. Gravitonlar yalnızca kütleçekim etkileşimleri sonucu üretilirler, bu o kadar zayıftır ki bir çarpıştırıcıda esas olarak hiçbir graviton üretilmez ve bunlarla aklımızı yormamıza gerek yoktur. (Bazı egzotik kuramlarda, kütleçekim yüksek enerjilerde fiilen kuvvetlenir ve gravitonlar üretilir; fizikçiler kuşkusuz bu olasılığı da hesaba katarlar.) Ama nötrinolar zayıf etkileşimler tarafından üretilir ve bu nedenle de hep ortaya çıkarlar. Neyse ki Standart Model parçacıkları içinde yalnızca bunlar üretilip saptanamayanlardır. Yani basit bir kural vardır: *saptanamayan* her şey muhtemelen bir nötrinodur.

İki proton çarpıştığında, her ikisi de ışın borusu boyunca hareket ediyordur, bu yüzden ışına dik yönlerdeki toplam momentum sıfıra toplanır. (Bir parçacığın momentumu, hareket yönünde taşıdığı canlılık miktarına eşittir. Birçok parçacık için, ayrı ayrı momentumları toplarız ama parçacıklar birbirlerinin aksi yönde hareket ediyorsa, toplamı sıfır olabilir.) Momentum sakınılır bu yüzden çarpışma sonrası da sıfır olmalıdır. Dolayısıyla, saptadığımız parçacıkların fiili momentumunu ölçebiliriz ve yanıt sıfır değilse, bunu telafi etmek amacıyla diğer yönde giden nötrinolar olmalıdır. Bu “eksik çapraz momentum” ya da sadece “eksik enerji” yöntemi olarak bilinir. Eksik momentumu kaç nötrinin taşıdığını bilemeyiz ama bu başka hangi parçacıkların üretildiği bilinince çıkarsanabilir. (Bir müon üreten zayıf etkileşim bir müon nötrino üretir, gibi.)

Müonlar

Geriye müon kalır, bu bir LHC deneyi perspektifinden en ilginç parçacıklardan biridir. Elektronlar gibi bunlar da kolaylıkla saptanabilen elektrik izleri bırakır ve bir manyetik alan tarafından saptanırlar. Ama bir elektrondan iki yüz kez daha ağırdırlar. Bu daha hafif parçacıklara bozunabilecekleri fakat gene de yaşam sürelerinin hayli uzun olduğu anlamına gelir; daha ağır tau leptonların aksine, müonlar genellikle dedektörünüzün ucuna gidecek kadar hayatta kalırlar.

Bunu başarırlar da, çünkü müonlar durdurulmayıp malzemelerin içinden geçmeye eğilimlidir. Elektronlardan çok daha ağır olup yeğin etkileşime girmemenin avantajı budur. Bir müon, tıpkı bir buğday tarlasında ilerleyen bir cip gibi deneyin bütün katmanlarını aşar ve ardında kolaylıkla tanımlanabilecek bir iz bırakır.

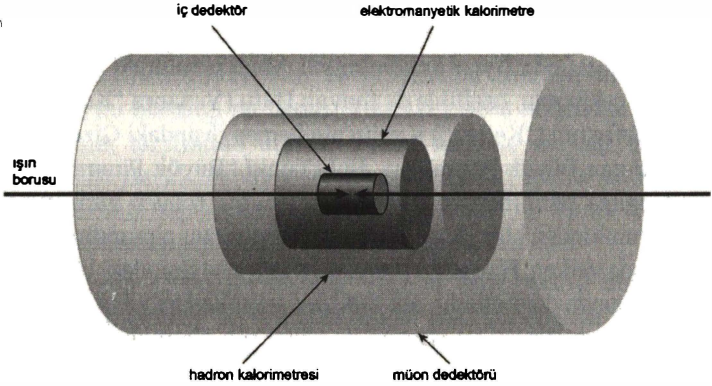
Müonlar süper X-ışınları gibi davranırlar, sıradan maddenin derinliklerine kadar nüfuz ederler. Bu özellik yıllar önce, Bevatron’da tüm bu parçacıkları bulduğu için Nobel Ödülü’nü almış olan Luis Alvarez tarafından iyiye kullanılmıştır. Mısır piramitleri Alvarez’in ilgisini çekiyordu, özellikle de firavun Hufu (Yunanca “Keops”) ve oğlu Hafre’nin (“Kefren”) Kahire’nin hemen dışındaki Gize’de yan yana duran Büyük Piramitleri. Hufu’nunki “Büyük Piramittir” ve başlangıçta biraz daha büyüktü ama aşınma sonucu günümüzde Hafre’ninkinden biraz küçük kalmıştır. Hufu’nun piramidinin içinde üç oda varken, Hafre’nin piramidi yüzey seviyesindeki bir mezar odası dışında dolu gibidir. Bu farklılık arkeologları yıllar boyunca merakla sevk etmişti ve birçoğu da Hafre’nin piramidinde bulunamamış odalar içerdiğini düşünüyordu.

Bilmecelere meraklı parlak bir fizikçi olan Alvarez’in aklına bir fikir geldi: Hafre’nin piramidinin taşlarının içini gözlemek için kozmik ışın şeklinde göklerden gelen müonları kullanmak. Kaba bir deney olacaktı ama katı kayayla boş odayı ayırt edebilirdi. Alvares’in Mısırlı ve Amerikalı fizikçilerinden oluşan ekibi piramidin alt düzeylerindeki bilinen tek odada bir müon dedektörü oluşturdular, amaçları her yönden gelen müonların sayısını bulmaktı. 1967 yılında daydılar ve ilk verileri almayı planladıkları günün öncesinde Arap-İsrail savaşı patlak verince, deney bir süre ertelendi. Ama sonunda çalışabildiler ve keşfettikleri... bir hiç oldu. Piramidin her yönü müonları durdurmakta aynı düzeydeydi, halbuki bazı yönlerde, bir boş oda olması umuduyla daha fazla olması bekleniyordu. Oğlun piramidinin babasınıninkine oranla daha az karmaşık olmasının nedeni bir bilmece olmayı sürdürüyor.

Dedektör katmanları

ATLAS ve CMS deneyleri gözlemledikleri parçacık çarpışmalarından olabildiğince fazla veri elde etmeyi hedefleyen bir strateji benimsemişlerdi. Her iki dedektör de katmanlar halinde

inşa edilmiştir, her birinin özgül amaçları olan dört farklı cihaz: bir iç dedektör, etrafında bir elektromanyetik kalorimetre, daha sonra bir hadron kalorimetresi ve nihayet en dışta bir müon dedektörü. Bir çarpışmada üretilen herhangi bir parçacık çarpışma noktasından dışarı doğru ışıyacak, farklı katmanlardan geçerek sonunda yakalanacak ya da dış dünyaya kaçacaktır.



Şekil 11: ATLAS ya da CMS gibi çok amaçlı bir parçacık deneyinin çizimi. Merkezi bölge yüklü parçacıkların güzergâhlarını ölçen bir iç dedektör içerir. Sonra fotonlarla elektronları yakalayan elektromanyetik kalorimetre, arkasından hadronları yakalayan hadron kalorimetresi gelir. Son olarak, müonları izleyen müon dedektörü bulunur.

Soğanın en iç tabakası olan iç dedektörün işlevi çarpışma noktasından çıkan yüklü parçacıkların güzergâhları üzerine kesin bilgi sağlayan bir izci görevi görmektir. Bu kolay iş değildir; cihazın her santimetre karesi saniyede on milyonlarca parçacığın bombardımanına hedef olmaktadır. Buraya koyduğunuz her şey görülmemiş düzeyde radyasyona hedef olup hayatta kalırken işlevini sürdürebilmelidir. Doğrusu, CMS'in ilk tasarım çizimleri dedektörün bu kısmını öylesine boş bırakmıştı, çünkü fizikçiler bu darbeyi kaldıracak hassas cihazlar inşa edemeyeceklerini düşünüyorlardı. Neyse ki ordunun bu türden sert ortamlarda etkili bir şekilde işlev görebilecek elektronik kayıt cihazları imal etme sorununu çözdüğüne dair söylentiler, denemeye devam etmelerini sağladı. Sonunda aslında böylesi koşul-

lara dayanmak üzere tasarlanmamış çok hassas ticari elektronik cihazları nasıl “sağlamlaştıracaklarını” bulmayı başardılar.

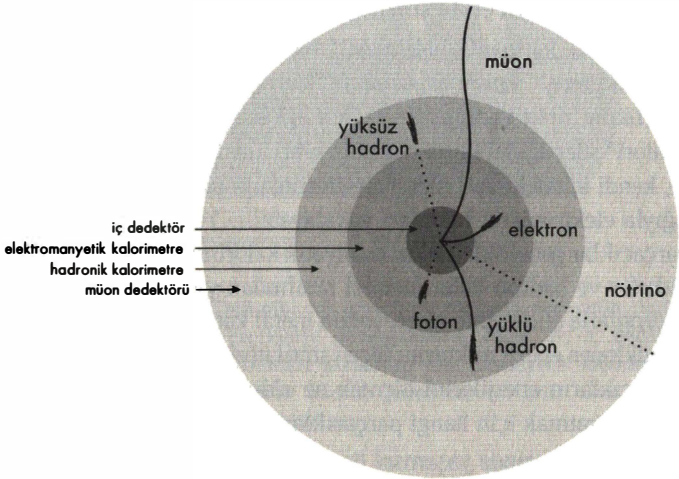
İç dedektörler, iki deney arasında küçük farklılıklar gösteren karmaşık, çok bileşenli makinelerdir. Örneğin ATLAS iç dedektörü üç farklı cihazdan oluşur: inanılmaz çözünürlüğü olan bir piksel dedektörü, silikon şeritlerden oluşan bir yarıiletken izleyici ve “kamış” adı verilen ince tüplerin içindeki altın kaplama tungsten tellerden yapılmış bir geçiş ışıyım izleyicisi. İç dedektörün görevi doğan parçacıkların güzergâhlarını olabildiğince hassas bir şekilde kaydetmektir, böylece fizikçilerin bunların kaynaklandıkları etkileşim noktalarını canlandırmaları sağlanır.

Sonraki katmanlar elektronik ve hadronik kalorimetrelerdir. “Kalorimetre,” “enerji ölçen cihaz” karşılığında kullanılan süslü bir sözcüktür, tıpkı yediğimiz gıdalardaki enerjiyi nicelendirmek için “kalori” sözcüğünü kullandığımız gibi. Elektromanyetik kalorimetre, kendi içindeki çekirdek ve elektronlarla olan etkileşimler aracılığıyla elektronlarla fotonları yakalayabilir. Yeğin etkileşime giren parçacıklar genellikle elektromanyetik kalorimetrenin içinden geçer giderler ve hadron kalorimetresi tarafından yakalanırlar. Bu parça hadronlarla etkileşime giren yoğun metal katmanları ve aralarındaki yüklenen enerji miktarını ölçen sintilatörlerden (ışıldayıcı) oluşur. Parçacıkların enerjilerini ölçmek ne olduklarının ve genellikle de onları yaratmak için hangi parçacıklar bozunduysa onların kütlelerini belirlenmesinde yaşamsal öneme sahip bir adımdır.

Deneylerin son katmanı müon dedektörleridir. Müonlar kalorimetreleri aşacak kadar momentuma sahiptir ama bunları çevreleyen dev manyetik odalar tarafından hassasiyetle ölçülebilirler. Bu önemlidir, çünkü müonlar yeğin etkileşimler tarafından yaratılmaz (çünkü onlar kuark değil, leptondur) ve ancak nadiren elektromanyetik etkileşimler tarafından yaratılırlar (çünkü çok kadar ağırdırlar ve sadece elektron yapmak daha kolaydır). Dolayısıyla, müonlar genellikle zayıf etkileşimlerden ya da yepyeni bir şeyden oluşurlar. Her iki olasılık da ilginçtir ve müonlar Higgs araştırmasında önemli bir rol oynarlar.

Şimdi artık ATLAS ve CMS deneylerinin tasarımının neden halihazırdaki şekle sahip olduğunu anlıyoruz. İç dedektörler çarpışmalardan çıkan tüm yüklü parçacıkların güzergâhları üze-

rine hassas bilgi sağlıyor. Elektronlar ve fotonlar elektromanyetik kalorimetre tarafından yakalanıp enerjileri ölçülürken, yağın etkileşimli parçacıklar da hadron kalorimetresinde aynı kaderi yaşıyor. Müonlar kalorimetrelerden kurtuluyor ne var ki müon dedektöründe titizlikle inceleniyorlar. Bilinen parçacıklar arasında, yalnızca nötrinolar saptanmadan kaçabiliyor ve biz de eksik momentumdan varlıklarını çıkarsayabiliyoruz. Toplamda, LHC'nin ürettiği çarpışan protonlardan elde edebileceğimiz tüm bilgiyi elde edebilmek için akıllıca bir düzen.



Şekil 12: bir deneyin, farklı parçacıkların davranışlarını gösteren kesiti. Fotonlar ve nötr hadronlar gibi nötr parçacıklar iç dedektör tarafından görülmez ama yüklü parçacıklar eğimli izler bırakır. Fotonlar ile elektronlar elektromanyetik kalorimetre tarafından yakalanırken hadronlar da hadron dedektörü tarafından yakalanır. Müonlar dış dedektöre kadar ilerlerlerken, nötrinolar saptanmadan tamamen kurtulur. CMS deneyinde müonlar dış dedektörde aksi yönde eğim çizerler çünkü manyetik alan aksi yöndedir.

Aşırı bilgi yüklenmesi

LHC'de, proton kümeleri saniyede 20 milyon kez karşılaşır. Her karşılaşma düzinelerce çarpışmaya yol açıyor, böylece saniyede yüz milyonlarca çarpışma oluyor. Her çarpışma dedektörün içinde havai fişekler patlamış gibi oluyor, çoklu, yüz ya da

daha fazlasına ulaşan parçacıklar yaratılıyor. Deneylerin içindeki hassas bir şekilde ayarlanmış cihazlar da bu parçacıkların her birinin ne yaptığına dair kesin bilgiler topluyor.

Bu çok fazla bilgi. LHC'deki tek bir çarpışma olayı yaklaşık bir megabayt veriyle sonuçlanır. (Ham veri yirmi megabaytın üzerindedir ama akıllıca sıkıştırma bunu tek bir megabayta yaklaştırır.) Bu büyük bir kitabın metninin ya da uzay mekiğinin işletim sisteminin RAM'inin boyudur. Düzgün ev bilgisayarları bugünlerde bir terabayt ya da bir milyon megabayt veri saklayabiliyorlar, bu muazzam bir miktardır, Kongre Kütüphanesindeki tüm kitapların metinleri yalnızca yirmi terabayt tutar. Bu sıradan sabit sürücülere bir milyon LHC olayı yükleyebilirsiniz, bu da iyi görünür ama saniyede yüz milyonlarca olay olduğunu düşünürseniz, öyle değildir. Bu durumda, saniyede bin sabit sürücü doldurabilirsiniz. Her ne kadar CERN dizüstü bilgisayarınızda- kinden çok daha iyi sabit sürücüler edinebilecek durumda olsa da bu yapılabilir bir şey değildir.

LHC dışında, dünyadaki en büyük veritabanı Almanya'daki Dünya İklim Veri Merkezi'dir. Yaklaşık altı petabayt iklim bilgisi içerir ya da altı bin terabayt. LHC'de yaratılan tüm veriyi kaydetmiş olsak, bu veritabanını birkaç saniyede taşırmış oluruz. Büyük Veriler dünyasına hoş geldiniz.

Açıkça, LHC'de veri saklama (ve iletimiyle çözümlemesi) büyük bir sorundur ve başa çıkılması için birçok tekniğin birlikte kullanılması gerekir. En önemlisi, en basit olanıdır: en baştan, veriyi kaydetmemek. Bunu vurgulamakta yarar var: *LHC tarafından toplanan verinin ağırlıklı bölümü, anında silinir.* Başka çaremiz yok; hepsini birden kaydetmenin uygulanabilir bir yolu yok.

Daha düşük maliyetli bir stratejinin sadece baştan o kadar veri üretmemek olduğunu düşünebilirsiniz, örneğin makinenin lüminozitesini düşürmek gibi. Ne var ki parçacık fiziği öyle işlemez, verisini sürücüye kaydetmesek bile her çarpışma önemlidir. Çünkü nihayetinde bu parçacıkları yaratan etkileşimlerden sorumlu olan kuantum mekaniği yalnızca bazı sonuçların olasılığını öngörür. İki protonu çarpıştırdığımızda, neyin çıkacağını seçemeyiz; doğa ne verirse onunla yetinmek zorundayız. Büyük çoğunlukla doğanın bize verdiği hayli sıkıcıdır, en azından zaten anladığımız şeyler veriyor olması açısından. Az sayıda ilginç

olay yaratmak için, muazzam sayıda sıradan olay üretmek ve hızla ilginç örnekleri seçmemiz gerekir.

Bu tabii ki karşımıza farklı bir sorun çıkartır: Bir olayın “ilginç” olup olmadığını anlamak ve bunu hızla yapmak ki, verinin saklanmaya değer olup olmadığına karar verelim. Bu tetiğin görevidir, bir LHC deneyinin en yaşamsal önemdeki veçhelerinden biri.

Tetik bir donanım-yazılım bileşimidir. Birinci düzey tetik deneydeki tüm cihazların çıktılarını elektronik bir tampona getirir ve ultrahızlı bir taramayla (yaklaşık bir mikrosaniyede) ilginç olma olasılığı taşıyan bir şey olup olmadığına bakar. Bir milyar olayın içinde yaklaşık on bini onay alır ve devam eder. İkinci düzey tetik karmaşık bir yazılımdır ve olayların daha hassas bir nitelendirmesini yaparak (Acil servisteki bir doktorun hızlı bir ön teşhiste bulunması sonra da daha ince testlere geçmesi gibi) sizi daha sonra çözümlemeye hedef olacak olaylara getirir. Sonunda, saniyede üretilen milyonlarca olaydan yalnızca yüzlercesini tutarız ama bunlar en ilginç olanlarıdır.

Tahmin edebileceğiniz gibi, hangi olayların saklanıp hangilerinin atılacağına karar verme konusunda bol miktarda sıkı düşünce ve ateşli anlaşmazlıklar yaşanıyor. Tüm bu bir kenara atılan verinin içinde kimi gerçek mücevherlerin de atıldığı konusunda endişe duymak doğal, bu yüzden CMS ve ATLAS’taki fizikçiler ilerleyen deneysel know-how ve kuramcılardan gelen yenilikçi fikirler ışığında sürekli tetiklerini geliştirmeye çalışıyorlar.

Verileri paylaşmak

Tetiklerden geçtikten sonra bile, elimizde saniyede her biri bir megabayt veri içeren yüz kadar olay kalır. Artık bunu çözümlememiz gerekir. “Biz” derken, “ATLAS ve CMS deneylerinin, bütün dünyadaki kurumlarda çalışan binlerce katılımcısı” demek istiyorum (ki ben de buna dahil değilim). Fizikçilerin veriyi çözümlemeleri için, buna erişmeleri gerekir ki bu da ciddi bir iletişim zorluğu doğurur. Neyse ki, bu sorun yıllar önce öngörülmüş ve fizikçilerle bilgisayar bilimcileri kamusal İnternetle özel optik kabloların karışımını kullanarak otuz beş farklı ülkedeki

bilgisayar merkezlerini birleştiren bir Worldwide LHC Computing Grid (Dünya çapında LHC hesaplama Ağı) kurmak için sıkı bir çalışmaya girmişlerdi. 2003'te, bir terabayt veri CERN'den Caltech'e (California Teknik Üniversitesi) otuz dakikanın altında aktarılarak yeni bir yer üstü hız rekoru kırılmıştır. Bu, tam boy bir filmi yedi saniyede aktarmakla eşdeğerdır.

Bu türden çılgınca bir hız gereklidir; 2010'da, LHC'deki dört ana deney on üç petabaytın üzerinde veri üretti. Sevgiyle adlandırıldığı gibi Grid bu veriyi alıp dünyanın çevresindeki tabaka diziler şeklinde düzenlenmiş farklı bilgisayar merkezlerine bölüştürür. 0 Tabakası CERN'dir. On bir adet Tabaka 1 merkez vardır, bunlar verinin taranıp sınıflandırılmasında önemli bir rol oynarlar, bunun ardından 140 adet Tabaka 2 merkez gelir, burada özgül çözümleme görevleri yerine getirilir. Böylece LHC verilerini çözümlemek isteyen dünyadaki her fizikçi doğrudan CERN'e bağlanmak zorunda kalmaz ve interneti çökertme riski ortadan kalkar.

İhtiyaç icadın anasıdır. Parçacık fiziğinin doğurduğu eşsiz veri zorluklarının eşsiz çözümlere yol açması şaşırtıcı değildir. Bu çözümlerden, üzerinden uzun yıllar geçmiş olan biri, hepimizin yaşamını değıştirmiştir: Dünya Çapında Ağ anlamındaki World Wide Web (WWW). Ağ 1989'da, o sıralarda CERN'de çalışmakta olan ve halihazırda da World Wide Web Consortium'un direktörlüğünde bulunan Tim Berners-Lee'nin bir önerisinden kaynaklanmıştır. Berners-Lee dağınık bilgisayarlarda yüklü farklı türden bilgilere Web (Ağ) belgelerine ve aralarındaki bağlantılara dayanan bir hipertekst sistemi aracılığıyla erişmenin laboratuvarındaki fizikçiler için yararlı olacağını düşünmüştü. WWW işte bu internet adını verdiğimiz veri paylaşma şebekesinin (bu konuda CERN'e bir şey borçlu değiliz) üzerine inşa edilmiş birbirleriyle bağlantılı dosyalar sistemidir. Şimdi bildiğimiz haliyle Web ve yaşamlarımız üzerindeki tüm etkileri parçacık fiziğindeki temel araştırmanın yan ürünüdür.

ATLAS'ın halihazırdaki önderi olan İtalyan fizikçi Fabiola Gianotti bana, LHC ilk çalışmaya başladığındaki en güzel sürprizin her ne kadar çok etkileyici olsa da deneyin başarımı değil, veri aktarımı sisteminin baştan itibaren kusursuzca işlemeş olduğunu söylemişti. Süreç zorluklardan azade olmuş da değildi.

2008 Eylülü'nde, ilk parçacıkların LHC'de dolaşmaya başlamasının hemen ardından, CMS'teki bilgisayar sistemi kendisine "Yunan Güvenlik Ekibi" adını veren bir grup tarafından hack'lenmişti. Gerçek bir zarar vermediler, aslında bir kamu hizmeti yaptıkları iddiasındaydılar, bir Web sayfasının yerine Yunanca bir uyarı koymuşlardı: "Pantolonlarınızı ařaēıya çekiyoruz, çünkü panik bařtıēında, saklanmak için ortalıkta çıplak vaziyette kořuřturduēunuzu görmek istemiyoruz." Düzen kısa sürede yeniden tesis edildi ve bu rahatsızlık deneyleri herhangi bir şekilde geciktirmedi ama CERN çapında internet gvenliēine daha yakından bakılmasına neden olmuş olabilir.

LHC mırıldandıēına, CMS ve ATLAS yeteneklerinin doruēında iřlediēine ve veriler de hızla paylaşılıp dünya çapında zmlendiēine göre, tüm parçalar yerine oturmuş ve parçacık fiziēinin önemli sorununa tam tekmil bir hcumun zamanı gelmiş demektir. antada yeni bir parçacık var ve dahasını da arıyoruz.

DALGALARDAKİ PARÇACIKLAR

*Burada, evrendeki her şeyin alanlardan oluştuğunu
öneriyoruz: itip çeken kuvvet alanları ve titreşimleri
parçacıklar olan madde alanları.*

Kışkırtıcı şarkı sözleri ve korkutucu palyaço makyajlarıyla tanınan bir hip-hop ikilisi olan Insane Clown Posse 2010 yılında “Miracles” (Mucizeler) single’larıyla ortalığı sarsmışlardı. Meslek yaşamlarının bu aşamasında, Violent J ve Shaggy 2 Dope (esas adları bu değil) çekişmelere yabancı değiller. Eminem’le bir kan davasına girişmişlerdi, profesyonel güreşçi olarak başarısız bir girişimleri olmuştu ve bir keresinde şaşkın bir seyirci topluluğu karşısında kısa bir konser vermişler, ardından da yanlış binaya girdiklerini fark etmişlerdi. Şarkıları ölü seviciliği ve yamyamlık öyküleri anlatır ve bir keresinde ve Noel Baba hakkında kötü sözler söylemişlerdi. Aynı zamanda, Violent J bir şov sonrasında seyircilerden birine mikrofonuyla otuz kez vurduğu için tutuklanmıştı.

Ama “Miracles” çekişmesi farklı bir şeydi. Adamlar şok yaratmaya değil, çevrelerindeki dünyadan duydukları şaşkınlığı ifade etmeyi amaçlıyorlardı. Sözler şöyleydi:

Dur da etrafına bak, ne kadar şaşırtıcı

Su, ateş, hava ve toprak

*S***iğimin mıknatısları,*

Nasıl çalışırlar?

İnternetin sihri sayesinde, bu küçük alıntı ünlendi, özellikle de mıknatısların nasıl çalıştığına dair hayli sağlam bilgiye sahip olduğunu belirten bilimsel eğilimli kişiler nezdinde.

Insane Clown Posse'yi biraz savunacağım. Evet, uzun süredir manyetizmayı anladık ve bilimsel araştırmalar her şeyin sihrini yok edeceğine, genellikle doğal olguları takdirimizi güçlendirir. Onlar da parmaklarını göz ardı etmekte çok aceleci davrandığımız önemli bir noktaya basmışlardır: Mıknatıslar doğrusu hayli şaşırtıcıdır.

Mıknatıslarda şaşırtıcı olan, metallere yapışması değildir. Bir sürü şey, bir sürü başka şeye yapışır, koca ayaklı kertenkelelerden cikletlere kadar. Şaşırtıcı olan, bir mıknatısı bir metal parçasına yaklaştırdığınızda, fiilen dokunmadan önce de çekildiğini hissetmenizdir. Mıknatıslar, yapışmadan önce bir şeylerle teması geçmesi gereken tutkal ya da yapışkan bantlar gibi değildir. Mıknatıslar görünüşte boş uzaydan uzanıp nesneleri kendilerine doğru çekerler. Düşündüğünüzde, neredeyse korkutucu.

Fizikçiler bu tür şeylere “uzaktan etki” derler ve bir zamanlar, Violent J ve Shaggy 2 Dope kadar dünyanın en zeki insanların da aklını meşgul etmişlerdi. Bugünlerde biraz daha az sıkıntı yaşıyoruz, çünkü mıknatısın görünüşte ötesine uzandığı uzayın aslında hiç de “boş” olmadığını anladık. Yollarına çıkacak olası tüm nesneleri yakalamaya hazır bir manyetik alanla doludur, mıknatıstan dışarı doğru uzanan görünmez kuvvet hatları. Bu kuvvet hatlarını daha görünür kılmak için mıknatısı küçük demir tozlarının yakınına koyabiliriz, o zaman bunlar manyetik alan doğrultusunda güzel örüntüler oluştururlar.

Önemli nokta, bir şeyleri çekip çekmemesinden bağımsız olarak manyetik alanın hep orada olmasıdır. Bir mıknatıs varsa, biz görmüyor olsak da onu çevreleyen bir manyetik alan da vardır. Biz mıknatısa yakinken alan güçlüdür, uzaklaştıkça zayıflar. Doğrusu, yakınlarda bir mıknatıs olsun olmasın, uzayın her noktasında bir manyetik alan vardır. Alan hayli zayıf olabilir, hatta tam olarak sıfır da olabilir ama her noktada “Manyetik alanın buradaki değeri nedir?” sorusunun yanıtı vardır. (Doğrusu söz konusu olan tek bir manyetik alandır, her mıknatıs için ayrı bir alan değil; iki mıknatısı birbirlerinin yakınına getirirseniz, alanları toplanır.)

Insane Clown Posse'nin bunu duymak isteyeceğinden emin değilim ama alanların önemi, mıknatısların da ötesindedir.

Dünya aslında alanlardan oluşur. Bazen, kuantum mekaniğinin özelliklerinden dolayı evrenin maddesi parçacık gibi görünür ama derinliğinde, aslında alandır. Boş uzay görüldüğü kadar boş değildir. Her noktada zengin bir alanlar bileşimi söz konusudur, her birinin belli bir değeri vardır ya da daha doğrusu, kuantum mekaniğine eşlik eden belirsizlikten dolayı gözlemleme olasılığımız bulunan bir olası değerler dağılımı.

Parçacık fiziğinden söz ettiğimizde, genellikle aslında alan fiziğinden söz ettiğimizi vurgulamayız. Ama öyledir. Bu bölümün mantığı, sezgilerimizi yeniden yönlendirip, kuantum alanlarının nasıl da anladığımız haliyle gerçekliğin nihai yapı taşları olduğunu idrak etmemizdir.

Alanlar bir şeylerden “yapılmış” değildir, dünya alanlardan yapılmıştır. Daha alt düzey bir gerçeklik bilmiyoruz. (Belki Sicim Kuramı ama bu henüz farazi durumda.) Manyetizma bir alan tarafından işletilir, kütleçekim ve çekirdek kuvvetleri gibi. “Madde” dediğimiz şey bile, yani elektronlar ve protonlar gibi parçacıklar da aslında sadece titreşen alanlardır. “Higgs bozonu” adını verdiğimiz parçacık önemlidir ama kendi başına değil; önemli olan, onun çıktığı Higgs alanıdır, o da evrenimizin nasıl çalıştığı konusunda merkezi bir rol oynar. Gerçekten şaşırtıcı.

İlk birkaç bölümde Standart Modeldeki parçacıklara kısa bir giriş yaptık ve tüm parçacıkların alanlardaki titreşimler olarak ortaya çıktığını söyledik. Son birkaç bölümdeyse atomaltı dünyayı keşfetmemize yardımcı olan, aralarında LHC’nin de bulunduğu, hızlandırıcılara ve dedektörlere baktık. Bu ve sonraki bölümde biraz geri çekilecek ve alan fikrine, parçacıkların alanlardan nasıl ortaya çıktığına simetrilerin nasıl kuvvetlere yol açtığına ve Higgs alanının nasıl bir simetriyi bozup bize gördüğümüz parçacık çeşitliliğini sağladığına bakacağız. Bu bizi deneycilerin neden Higgs’in peşine düştüklerini ve bulduğumuzun ne anlama geldiğini anlamamız için kusursuz bir konuma getirecek.

Kütleçekim alanı

Bugünlerde alanların etrafımızda her yerde olduğunu kabul ediyoruz ama bilim insanlarının “alan kuramı” terimleriyle düşünmeye başlaması zaman aldı. Kütleçekim alanının manye-

tik alan fikrinden bile daha bariz olduğunu tahmin edebilirsiniz, haklı da olursunuz. Ama *tamamen* bariz değildir.

Kütleçekim konusundaki en ünlü öykü, Isaac Newton ve sözüm ona kafasına düşen ve ona evrensel kütleçekim kuramını tasarlamasının ilhamını veren bir elmayla ilgili olandır. (Bu çok ünlüdür çünkü Newton daha sonraki yaşamında bunu anlatmadan duramamıştır, bir deha olarak ününe ek bir süs katma yolunda gereksiz bir çaba olsa gerek.) Anekdotun en basit sürümünde, elmanın Newton'ın kütleçekimi "icadına" ya da belki "keşfine" yardımcı olduğu anlatılır ama biraz düşünürseniz, bunun bir anlamı yoktur. Newton'dan önce de insanlar kütleçekimi biliyorlardı, hiç kimse elmanın yukarı çıkmayıp aşağı düştüğünü fark etmemiş değildi.

Newton'ın aklına gelen elmanın düşmesiyle gezegenlerin hareketleri arasındaki bağlantıydı. Kütleçekimi icat etmedi, bunun evrensel olduğunu idrak etti, gezegenlerin güneşin çevresinde, ayın da dünyanın çevresinde bir yörüngede hareket etmesini sağlayan kütleçekim, elmaları yere doğru çekenle aynıydı. Bunun üzerine efsanelerin inşa edilebileceği türden bir sezgi olmadığını düşünüyor olabilirsiniz. Ne de olsa, bir şeylerin gezegenlerin fırlayıp yıldızlararası uzaya gitmesini engelliyor olması gerekir, bir şeyler de elmaları yere doğru çeker, o zaman neden aynı şey olmasınlar?

Düşündüğünüz buysa, nedeni Newton sonrası çağda yaşıyor olmanız. Newton öncesinde elmanın yere düşmesini yerkürenin çekimine bağlamazdık, elmanın kendisine bağlardık. Örneğin Aristoteles farklı türden maddelerin hepsinin kendi doğal varlık halleri olduğunu düşünüyordu. Kütleli bir cismin doğal hali yerde olmaktı. Yerden yukarı kaldırıldığında, düşmek isterdi.

Düşmenin yerkürenin çekiminin değil nesnenin doğal eğiliminin sonucu olduğu aslında hayli sezgilerdir. Bir keresinde yüksek bütçeli bir Hollywood filminde danışmanlık yapmıştım, tasarımcılar küre değil de disk biçiminde bir gezegende bir dövüş sahnesinin güzel olacağını düşünmüşlerdi. Güzel olurdu da buna karşı çıkamazsınız. Ama sahnenin, kötü adamların gezegenin kenarından aşağıya düşmeleriyle dönüm noktasına gelmesini planlamışlardı. Neyin çekimiyle peki? Düşmenin, daha büyük bir nesnenin kütleçekim nedeniyle onları çekmesi

sonucu değil, nesnelerin doğal olarak yaptığı bir şey olduğunu düşünürseniz, bu düşülmesi doğal bir yanlışlıktır. (Ama bunu filmin dışında tutmayı başardık.)

Newton evrendeki her nesnenin evrendeki diğer her nesnenin üzerinde bir kütleçekim kuvveti uyguladığını önerdi. Daha ağır nesnelerin uyguladığı çekim daha büyüktü ve yakındaki nesneler uzaktakilere göre daha kuvvetli çekiyordu. Bu fikir verilere kusursuz bir biçimde uyuyordu ve yeryüzünde olanlarla gökyüzünde olanların muhteşem bir birliğini temsil ediyordu.

Ama Newton'ın kütleçekim kuramı birçoklarını da tereddüde düşürdü. Örneğin, ay yerkürenin üzerinde bir kütleçekim kuvveti uyguladığını nereden biliyordu? Ne de olsa, yerküre çok uzaktı ve biz kuvvetlerin nesnelere tosladığımızda uygulanmasına alışmışız, evrenin herhangi bir yerindeyken değil. Bu “uzaktan eylemin” kafa karıştırıcılığıdır ve eleştirmenleri kadar Newton'ı da rahatsız ediyordu. Ama bir noktada, kuramınız birçok olguyu açıklamakta muhteşem bir başarı sağlıyorsa, omuzlarınızı silkip doğa da böyle işliyormuş dersiniz. Bugün kuantum mekaniğinde de içinde bulunduğumuz durum buna benziyor: verilerle uyuşan ama anlamamız gerektiği kadar anlayamadığımız bir kuram.

Ancak 1700'lerin sonlarında, Fransız fizikçi Pierre-Simon Laplace Newtoncu kütleçekimini uzaktan sihirli bir etki gibi düşünmememiz gerektiğini gösterdi. Laplace tüm uzayı kaplayan bir alan tasavvur edebileceğinizi idrak etti, buna daha sonra “kütleçekim potansiyeli alanı” adı verildi. Tıpkı bir odadaki havanın sıcaklığının sıcak bir fırın tarafından etkilenmesi gibi, kütleçekim potansiyeli de kütleli cisimler tarafından saptırılır; sapma yakınlarda güçlüdür ve uzaklaştıkça zayıflar. Kütleçekimden doğan kuvvet, nesneler alan tarafından itildikleri için doğar: kütleçekim potansiyeli alanının azaldığı yöne doğru bir sürüklenme hissederler, düzensiz bir yüzeye konan bir topun, yüzeyin irtifasının düşük olduğu yere doğru yuvarlanmaya başlaması gibi.

Matematiksel açıdan, Laplace'ın kuramı Newton'inkinin aynısıdır. Ama kavramsal olarak, bizim siyaset gibi tüm fiziğin de yerel olduğuna dair sezgilerimize daha iyi uyar. Yerküre uza-nıp ayı kendine doğru çekmez; yerküre yakınındaki kütleçekim potansiyelini etkiler ve bu da hemen yakındaki potansiyeli etki-

ler ve bu yumuşak bir eğimle aya (ve ötesine) doğru uzanır. Kütleçekim kuvveti sonsuz uzaklıklara erişen esrarlı bir etki değildir; tüm uzaya yayılan görünmez bir alanın yumuşak değişimeleridir.

Elektromanyetik alan

Alanlar fikri elektromanyetizma araştırmaları sırasında ortaya çıkmıştır. Bir elektrik alanı bir de manyetik alan vardır ama bunların altta yatan tek bir alanın iki farklı tezahürü olduğunu göstermek için fizikçiler “elektromanyetizma” sözünü kullanır. İkisi arasındaki bağlantı eskiden bariz değildi.

Manyetizma tabii ki kadim zamanlardan beri bilinir; Çin’deki Han hanedanı iki bin yılı aşkın bir süre önce manyetik pusulalar kullanıyordu. Elektrik de hem yılan balıklarından yiyeceğiniz şoktan hem de bir kumaş sürtüldüğünde amberde oluşan statik elektrikten biliniyordu. Hatta bu iki olgunun ilintili olduğuna dair ipuçları da vardı; Benjamin Franklin, uçurtma uçurtup isyan tezgâhladığı zamanların dışında iğneleri elektrikle mıknatıslandırabileceğinizi göstermişti.

Ama fikirler 1820’ye, Hans Christian Ørsted adlı Danimarkalı bir fizikçi elektrik ve manyetizmanın doğası üzerine bir konferans verene kadar bir araya gelmediler. Ørsted ikisi arasındaki farazi bağlantıyı göstermek için akıllıca bir yol bulmuştu: Bir elektrik devresi yapacak sonra da akımı bir mıknatısın yakınından geçirterek iğnesinin gerçek kuzeyden elektrik tarafından saptırılıp saptırılmadığına bakacaktı. Ne yazık ki bir kaza Ørsted’in konferans öncesinde deneyi fiilen gerçekleştirmesini engelledi. Deneyi toplanan izleyicilerin karşısında gerçekleştirmeye karar verdi çünkü başarılı olacağından emindi... oldu da. Şalteri çevirdi, elektrik akımı bir telden aktı ve pusulanın iğnesinde küçük ama göz ardı edilemez bir sapma fark etti. Ørsted’in kendi ifadesine göre, etki küçüktü ve izleyiciler bundan pek de etkilenmediler. O günden başlayarak, elektrik ve manyetizma elektromanyetizma konusu içinde birleşmiş oldular.

Michael Faraday ve James Clerk Maxwell gibilerinin daha sonraki çalışmalarıyla, kapsamlı bir elektromanyetik alan kura-

mı geliştirildi. Bu kuram yerine yerleşince, o alanın dinamikleri üzerine soruları da yanıtlayabiliriz. Örneğin, bir elektrik yükünü alıp aşağı yukarı silkelersek ne olur? (Aynı soru kütleçekim konusunda da sorulabilirdi ama kütleçekim kuvveti o kadar zayıftır ki, soruya deneysel olarak yanıt vermek çok zor olurdu.)

Bir yükü silkelediğinizde, doğaldır ki elde ettiğiniz elektromanyetik alanda kıpırtılar olur. Bu kıpırtılar da dışarı doğru dalgalar halinde yayılır, tıpkı taş attığınız suda yayılan dalgalar gibi. Bu elektromanyetik dalgaların güzel bir adı vardır: ışık. Bir ışık düğmesini açtığımızda, elektrik akımı ampulün filamanından geçer ve onu ısıtır. Bu ısınma filamandaki atomları ve onlarla ilişkili elektronları silkeler ve ileri geri salınmalarına yol açar. Bu salınmalar gözlerimize doğru elektromanyetik alanda dalgalara neden olur ve ışık olarak algılanır.

Işığın elektromanyetik alandaki dalgalarla özdeşleştirilmesi fiziğin birleştirilmesinde başka bir büyük zaferi temsil eder. Görünür ışık dediğimiz şeyin yalnızca belli dalga boylarındaki, gözün görebildiği ışıyım olduğunu idrak ettiğimizde bu daha da ileri gitmiştir. Daha kısa dalga boylarına X-ışınları ve morötesi ışık dahilken, daha uzun dalga boylarına da kızılaltı ışık, mikrodalga ve radyo dalgaları dahildir. Faraday ve Maxwell'in çalışmaları 1888'de, Alman fizikçi Heinrich Hertz ilk kez olarak radyo dalgaları üretip tespit ettiğinde gösterişli bir onay görmüştür. Televizyonunuzu açmak için uzaktan kumandaya bastığınızda, uzaktan eylem gibi görünür ama aslında değildir. Düğmeye basarsınız ve kumandanın içinde bir elektrik akımı ileri geri salınmaya başlar, bu da elektromanyetik alanın içinde televizyona kadar ilerleyen bir radyo dalgası oluşturur ve bu dalga da orada benzer bir cihaz tarafından emilir. Modern dünyada, etrafımızdaki elektromanyetik alandan muazzam iş çıkartılıyor, çevreyi aydınlatmak, cep telefonlarımızla telsiz bilgisayarlarımıza sinyal göndermek ve gıdalarımızı mikrodalgaya koymak gibi. Her durumda alandan dışarı doğru kıpırtılar gönderen hareket halindeki yükler tarafından gerçekleştirilir. Bu arada, tüm bunlar Hertz tarafından kesinlikle öngörülmeleyen şeylerdi. Radyo dalgalarını tespit eden cihazının nihayetinde ne işe yarayacağı sorulduğunda, "Hiçbir işe yaramaz," yanıtını verdi. Uygulamaya yönelik bir şeyler önermesi için zorlandığında da

“sınırım hiçbir şey,” dedi. Temel araştırmanın olası uygulamalarını düşünürken aklımızda tutmamız gereken bir şey.

Kütleçekim dalgaları

Fizikçiler ancak elektromanyetizma ile ışık arasındaki ilişkiyi anladıktan sonradır ki, benzer bir olgunun kütleçekim için de geçerli olup olmadığını düşünmeye başladılar. Bu akademik bir soru gibiydi, çünkü ölçülebilecek kadar büyük bir kütleçekim alanı yaratabilmek için bir gezegen ya da ay kadar bir nesne gereklidir. Dalgalar oluşturmak için yerküreyi alıp ileri geri sallayacak halimiz yok. Ama evren için hiç sorun yoktur. Galaksimiz ikili yıldızlarla doludur, bunlar birbirlerinin çevresinde yörüngededir ve varsayıldığına göre bu esnada da kütleçekim alanını silkelerler. Bu her yöne dağılan kırıptılı dalgalara neden olur mu?

İlginçtir, Newton ya da Laplace’ın tanımladığı haliyle kütleçekim herhangi bir ışınımı öngörmez. Bir gezegen ya da yıldız hareket ederken, kuram der ki kütleçekim kuvveti anında tüm evrende değişir. Yayılan bir dalga değil, her yerde birden oluşan ani bir dönüşümdür.

Bu Newtoncu kütleçekimin on dokuzuncu yüzyıl süresinde gelişen fiziğin değişen çerçevesiyle uyuşmayan yanıdır. Elektromanyetizma ve özellikle de ışık hızının oynadığı merkezi rol Albert Einstein ve başkalarının 1905’te özel görelilik kuramını geliştirmelerine esin kaynağı olmakta araçsal olmuştur. Bu kurama göre, hiçbir şey ışık hızını aşamaz, kütleçekim alanında ki farazi değişiklikler bile. Bir şeylerin değişmesi gerekliydi. On yıllıksıkıçalışmanınardından, Einstein tamamen Newton’inkinin yerini alan ve “genel görelilik” olarak bilinen yepyeni bir kütleçekim kuramı inşa etmeyi başardı.

Tam da Laplace’ın kendi Newtoncu kütleçekim sürümü gibi, Einstein’ın genel göreliliği de kütleçekimi uzayın her noktasında tanımlanmış bir alan olarak betimler. Ama Einstein’ın alanı Laplace’inkine göre çok daha matematiksel açıdan karmaşık ve göz korkutucu bir alandı; her noktada sadece bir sayı olan kütleçekim potansiyeli yerine Einstein “metrik tensör” adını verdiği bir şey kullandı, bu her noktada bağımsız on sayının bir

bileşimi olarak düşünölebilirdi. Bu matematiksel karmaşıklık genel göreliliğın anlaşılması çok zor bir kuram olma ününü pekiştirmişti. Ama temel fikir derin olsa da basittir: metrik bizatihi uzayzamanın eğikliğini betimler. Einstein’a göre, kütleçekim uzayın dokusunun eğilip bükölmesinin bir tezahürüydü, evrende uzaklıkları ve zamanı ölçmemizin yolu. “Kütleçekim alanı sıfır,” dediğimizde, uzayzamanın düz olduğunu ve lisede öğrendiğimiz Öklit geometrisinin geçerli olduğunu söylemiş oluruz.

Genel göreliliğın bir mutlu sonucu da şudur ki, tam da elektromanyetizma gibi, alandaki kıpırtılar ışık hızında hareket eden dalgalar oluşturur. Biz de bunları, doğrudan olmasa da saptayabildik. 1974’te, Russel Hulse ve Joseph Taylor her iki nesnenin de nötron yıldızı oldukları ve çok dar bir yörüngede hızla döndükleri bir ikili sistem keşfettiler. Genel görelilik böylesi bir sistemin kütleçekim dalgaları yayarak enerji kaybedeceğini, bunun da yıldızlar birbirlerine yaklaştıkça yörünge periyodunun kademeli bir şekilde azalmasına neden olacağını öngörür. Hulse ve Taylor periyoddaki, tam da Einstein’ın önerdiği orandaki bu değışmeyi ölçmeyi başardılar; 1993’te çabalarının karşılığı olarak Nobel Fizik Ödölü’nü aldılar.

Bu etkilerini burada, yeryüzündeki bir laboratuvar da doğrudan görmektense, kütleçekim dalgalarının dolaylı bir ölçümüydü. Kuşkusuz denemeyi sürdürüyoruz. Astrofiziksel kaynaklardan gelen kütleçekim dalgalarını gözlemele yolunda, genellikle kilometrelerce uzaklıktaki aynalardan lazerler yansıtarak sürdürölen bazı çabalar var. Bir kütleçekim dalgası geçerken uzayzamanı yaylandırır ve aynaları yaklaştıırıp sonra da uzaklaştıırır. İki ayna arasındaki lazer dalgaboyu sayısındaki çok küçük farklılıklar ölçölerek bu saptanabilir. Birleşik Devletlerde Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalga Gözlemevi (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory, LIGO) biri Washington eyaleti, diğeri de Louisiana’daki iki ayrı tesisten oluşur. İtalya’daki VIRGO ve Almanya’daki GEO600 gözlemevleriyle işbirliği içindedirler. Bu laboratuvarlardan herhangi birisi henüz bir kütleçekim dalgası tespit etmiş değildir ama bilim insanları yakın zamanlı iyileştirmelerin dramatik bir keşifte bulunmalarına yardımcı olacağı konusunda iyimserler. Bu yapı-

lırsa, o zaman bu kütleçekimin dinamik, titreşen bir alan tarafından aktarıldığının canlı bir doğrulanması olacaktır.

Alanlardan parçacıklar

Işığın bir elektromanyetik dalga olduğunun idraki Newton'ın "korpüskül" adı verilen parçacıklardan oluştuğunda ısrarcı olan ışık kuramının suratına çarpıvermişti. Her iki taraf lehine de güçlü savlar vardı. Bir yanda, ışık su ve ses dalgalarıyla olan deneyimlerimizin inanmamıza neden oldukları gibi köşeleri döneceğine, sert bir gölge oluşturur, bu bir parçacık serpintisinden bekleyeceğiniz bir şeydir. Diğer yandan, ışık ince açıklıklardan geçerken bir dalgadan bekleneneği gibi girişim örüntülerine yol açar. Elektromanyetik sentez konuyu dalgaların lehine çözmüş gibidir.

Kavramsal olarak bir alan parçacığının aksidir. Bir parçacık uzayda özgül bir konuma sahiptir, alansa uzaydaki her noktada mevcuttur. Genliği tarafından tanımlanır, bu da her noktadaki belli bir sayıdan oluşur, bir de belki yön gibi başka niteliklerden. 1900'de doğan ve yirminci yüzyılın fiziğine egemen olan kuantum mekaniği sonunda bu iki kavramı bir araya getirmiştir. Uzun lafın kısıası: Her şey alanlardan oluşur ama yakından bakışımızda, parçacıkları görürüz.

Çok karanlık bir gecede dışarıda olduğunuzu ve elinde bir mumla sizden uzaklaşan bir arkadaşınızı seyrettiğinizi düşünün. Arkadaşınızla aranızdaki mesafe büyüdükçe, mum daha sönük görünür. Sonunda o kadar solar ki artık onu görmezsiniz. Ama, diye düşünebilirsiniz, bunun nedeni gözlerimizin kusurlu cihazlar olmasıdır. İdeal görüşe sahip olsaydık, belki de mumun giderek soluklaştığını ama hiçbir zaman tam anlamıyla kaybolmadığını görürdük.

Aslında bu doğru değil. Kusursuz gözlerle, mumun bir süreliğine solduğunu görecektik ama bir noktada dikkat çekici bir şey olacaktı. Giderek daha solgun olacağına, mum ışığı yanıp sönerek görünmeye başlayacak ve bu esnada da sabit bir parlaklığı koruyacaktı. Arkadaşınız uzaklaştıkça görünmediği dönemler görüldüğü dönemlere göre uzayacaktı; sonunda mum tamamen karanlığa gömülecekti, düşük yoğunluklu çok nadir parlak-

lıklar dışında. Bu parlaklıklar tek tek ışık parçacıkları olacaktır: fotonlar. Fizikçi David Deutsch bu düşünce deneyini *Fabric of Reality* (Gerçekliğin Dokusu) adlı kitabında ele alır ve kurbağaların insanlardan daha iyi görüşe sahip olduklarına ve bireysel fotonları görebildiklerine dikkat çeker.

Fotonların ardındaki fikir son yüzyıl dönümünde Max Planck ve Albert Einstein'a kadar uzanır. Planck nesnelerin ısıtıldıklarında yaydıkları ışınımı düşünüyordu. Işığın dalga kuramı bizim fiilen gözlemleyebildiğimizden çok daha fazla kısa dalga boyuna dolayısıyla da yüksek enerjiye sahip ışınım olması gerektiğini öngörüyordu. Planck parlak ve bir şekilde şaşırtıcı bir çıkış yolu önerdi: Işık ayrık paketler ya da kuantumlar halinde oluşuyordu ve belli bir dalga boyuna sahip bir ışık kuantumu belli bir enerjiye sahipti. Sadece bir tek kısa dalga ışık kuantumu için bir hayli enerjiye gerek vardı; dolayısıyla Planck'ın fikri kısa dalga boylarında neden dalga kuramının öngördüğünden o kadar daha az ışınım olduğunu açıklamaya yardımcı oluyordu.

Enerji ve dalga boyu arasındaki bağlantı kuantum mekaniğinde ve alan kuramında kilit kavramdır. Dalga boyu ardı ardına iki dalganın dorukları arasındaki uzaklıktır. Bu kısa olduğunda, dalga sıkışır. Bunu gerçekleştirmek enerji pahasına olur bu yüzden Planck'ın ışık paketinin buna karşılık gelen dalga boyu, morötesi ışık ya da X-ışınında olduğu gibi kısa olduğunda neden yüksek enerjiye sahip olduğunu anlarız. Radyo dalgaları gibi uzun dalga boyları çok düşük enerjili ışık kuantumları olacağı anlamına gelir. Kuantum mekaniği bulunduktan sonra, bu ilişki kütleli parçacıklara da yayılabildi. Yüksek kütle kısa dalga boyu demekti bu da parçacığın daha az yer kapladığını gösteriyordu. Bir atomun boyunu tanımlayanın protonlar ya da nötronlar değil, elektronların olmasının nedeni de budur; devreye giren en hafif parçacıklardır, bu yüzden en uzun dalga boyun sahiptirler ve dolayısıyla da en fazla yer kaplayanlardır. Bir anlamda, LHC'nin o kadar büyük olmasının nedeni de budur. Çok kısa uzaklıklarda olan şeyleri arıyoruz, bu çok kısa dalga boyları kullanmamız gerektiği, bu yüksek enerjili parçacıklara gerek duyduğumuz, bu da onları olabildiğince hızlı harekete geçirebilmemiz için dev hızlandırıcılara gerek duyduğumuz anlamına gelir.

Planck kuantumlanmış enerjilerden basbayağı ışık parçacıklarına adımı atmadı. Fikrini doğru yanıtı bulma yolunda bir tür cambazlık olarak gördü, gerçekliğin nasıl işlediğinin temel bir parçası olarak değil. Bu adımı “fotoelektrik etki” diye bir şey üzerine kafa yoran Einstein attı. Bir metalin üzerine parlak bir ışık tuttuğunuzda, metalin atomlarından elektronlar kopartabilirsiniz. Kopartılan elektron sayısının ışığın yoğunluğuna bağlı olduğunu, çünkü ışık huzmesi daha yoğun olduğunda daha fazla enerjinin söz konusu olacağını düşünebilirsiniz. Ama bu pek de doğru olmaz; ışığın dalga boyu uzun olduğunda, parlak bir kaynak bile hiçbir elektronu kopartamaz, kısa dalga boyu olan ışıksa, kısık da olsa bazılarını kopartabilir. Einstein ışığın hep düzenli bir dalga yerine tek tek kuantumlar halinde oluşması, yani yalnızca parlayan cisimler tarafından yayılmıyor olması halinde fotoelektrik etkinin açıklanabileceğini idrak etti. “Yüksek yoğunluk ama uzun dalga boyu” çok sayıda ama her biri elektronları hiç de yerinden oynatamayacak kadar enerjiye sahip kuantum anlamına geliyordu; “düşük yoğunluk ama kısa dalga boyu,” az sayıda ama her biri işi halledecek kadar enerjiye sahip kuantum var demekti.

Ne Planck ne de Einstein “foton” sözcüğünü kullanmadı. Bunu bulan 1920’lerde Gilbert Lewis oldu, popülerleştiren de Arthur Compton. Işık kuantumlarının enerji kadar momentum sahibi de olduklarını göstererek insanları sonunda ışığın parçacıklar halinde oluştuğuna ikna eden Compton oldu.

Einstein’ın fotoelektrik etki üzerine makalesi nihayetinde Nobel Ödülü’nü kazanmasını sağlayan çalışması oldu. 1905’te yayımlandı ve bunun yayımlandığı derginin aynı sayısında başka bir makalesi daha vardı, diğer makalesi de özel görelilik kuramını formüle ettiği makalesiydi. 1905’te Einstein olmak böyle bir şeydi: kuantum mekaniğinin temellerinin atılmasını sağlayan ve sonrasında Nobel Ödülü’nü almanızı sağlayacak çığır açıcı bir makale yayımlıyorsunuz ama bu derginin o sayısında yayımladığınız ikinci en önemli makale oluyor.

Kuantum sonuçları

Kuantum mekaniği yirminci yüzyılın ilk onyılları boyunca sinsice fizikçilere nüfuz etmiştir. Planck ve Einstein’dan başla-

yarak, insanlar fotonlarla atomların davranışlarını anlamlandırmaya çalışmış ve işleri bittiğinde, dünya üzerine güvenilir Newtoncu görüşü alt üst etmişlerdi. Fizikte birçok devrim yaşanmıştır ama ikisi diğerlerinin önüne çıkar: Newton 1600’lerde kendi muazzam “klasik” mekanik görüşünü bir araya getirdiğinde ve bir parlak bilim insanları topluluğu elbirliğiyle Newton’ın kuramının yerine kuantum mekaniğinkini geçirdiklerinde.

Kuantum dünyasıyla klasik olan arasındaki ana farklılık, “gerçekte var olanla” fiilen gözlemleyebildiğimiz arasındaki ilişkidir. Kuşkusuz, gerçek dünyadaki herhangi bir ölçüm, ölçüm cihazlarının hassasiyet eksikliğine tabidir ama klasik mekanikte en azından giderek daha dikkatli davranıp ölçümlemizi gerçekliğe giderek yaklaştırmayı hayal edebiliriz. Kuantum mekaniği, ilke düzeyinde bile bizi bu olasılıktan yoksun bırakır. Kuantum dünyasında görme imkânına sahip olduklarımız yalnızca gerçekte var olanın küçük bir alt kümesidir.

Ne demek istediğimizi anlatmak için kabataslak bir örnek verelim. Çok fotojenik bir arkadaşımız olduğunu varsayın ama onun görüldüğü fotoğraflarda sıradışı bir şey fark ediyorsunuz, her seferinde kesinlikle profilden görünüyor. Ya sağ ya da sol tarafını gösteriyor ama cepheden ya da geriden hiç görünmüyor. Yandan görüp bir fotoğrafını çektiğinizde, resim hep doğru şekilde o yandan. Ama onu doğrudan karşısından görüp fotoğrafını çektiğinizde, fotoğrafların yarısı soldan profil, yarısı da sağdan profil olarak çıkıyor. (Benzetmenin koşulları, “fotoğraf çekmenin”, “bir kuantum gözleminde bulunmakla” eşdeğer olmasını gerektiriyor.) Bir açıdan fotoğrafını çekip hızla dönerek doksan derece ileriden bir fotoğraf daha çekiyorsunuz ama onu ancak profilden yakalayabiliyorsunuz. Kuantum mekaniğinin özü de budur, arkadaşımız herhangi bir yönde olabilir, ama fotoğrafını çektiğimizde, ancak iki olası açıdan birini görüyoruz. Bu kuantum mekaniğinde bir elektronun “spini” için güzel bir benzetmedir; spin, hangi eksenenden ölçüm yaparsak yapalım, yalnızca ya kesinlikle saat yönünde ya da tersi yönde ölçtüğümüz bir özelliktir.

Aynı ilke diğer gözlemlenebilir nicelikler için de geçerlidir. Bir parçacığın konumunu ele alalım. Klasik mekanikte, “parçacığın konumu” diye bir şey vardır ve bunu ölçebiliriz. Kuantum mekaniğinde böyle bir şey yoktur. Aksine, parçacığın “dalga

fonksiyonu” diye bir şey vardır, bu da baktığımızda parçacığı herhangi belli bir yerde görme *olasılığımızı* ortaya çıkartan bir sayı kümesidir. “Aslında parçacık nerededir,” diye bir şey yoktur ama baktığımızda onu hep belli bir yerde görürüz.

Kuantum mekaniği alanlara uygulandığında, bir “kuantum alan kuramı” elde ederiz, bu da en temel düzeyde gerçekliği modern açıklamamızın temelidir. Kuantum alan kuramına göre, bir alanı yeterince dikkatli bir şekilde gözlemlediğimizde, bunun tek tek parçacıklara ayrıştığını görürüz, ama alan gerçektir. (Alanın aslında uzayın her noktasında onu belli bir değerde görmemizin olasılığını betimleyen bir dalga fonksiyonu vardır.) Bir televizyonu ya da bilgisayar monitörünü düşünün, uzaktan baktığınızda düzgün bir resim sergiliyor gibidirler ama yakından baktığınızda bunun aslında minik piksellerden oluşan bir bileşim olduğunu görürüz. Bir kuantum TV’de de gerçekten de düzgün bir resim vardır ama yakından bakınca yalnızca pikseller bileşimi görürüz.

Kuantum alan kuramı, LHC çarpışmalarında ne olduğu konusunda o kadar yaşamsal olan protonların içindeki partonlar (kuarklar ve gluonlar) da içinde olmak üzere sanal parçacıklar olgusundan da sorumludur. Nasıl tek bir parçacığın tek bir konumda bulunduğunu söyleyemiyorsak, gerçekte bir alanı da tek bir kurulumda belirleyemeyiz. Yeterince yakından bakarsak, yerel koşullara bağlı olarak boş uzayda ortaya çıkıp kaybolan parçacıklar görürüz. Sanal parçacıklar kuantum ölçümüne içkin belirsizliğin doğrudan sonucudur.

Kuşaklardır fizik öğrencileri o meşum görünümlü soruyla karşı karşıya kalıyorlar. “Madde aslında parçacıklardan mı yoksa dalgalardan mı oluşur?” Genellikle yıllarca okuyup yanıtı tam olarak kavrayamazlar. İşte size yanıt: Madde aslında dalgalardan (kuantum alanlarından) oluşur ama ona yeterince dikkatli bakarsak, parçacıkları görürüz. Gözlerimiz kurbağalarinki kadar duyarlı olsa, bu bize biraz daha anlamlı gelirdi.

Alanlardan maddeler

Yani ışık bir dalgadır, uzayı kaplayan elektromanyetik alanda yayılan bir kıpırtılar kümesi. Karışıma kuantum mekaniğini

kattığımızda, kuantum alan kuramı elde ederiz, o da bir elektromanyetik alana yeterince yakından baktığımızda bunu tek tek fotonlar olarak gördüğümüzü söyler. Aynı mantık kütleçekim için de işler, bir alan tarafından tanımlanır, uzayda ışık hızıyla hareket eden kütleçekim dalgaları vardır ve böyle bir dalgaya yeterince dikkatli bakarsak bunu “graviton” adı verilen bir kütle-siz parçacıklar bütünü olarak görürüz. Kütleçekim o kadar zayıftır ki, tek tek gravitonları görmeyi tasavvur edemeyiz ama kuantum mekaniğinin temel gerçeği bunları orada oldukları konusunda ısrarlıdır. Benzer şekilde, yeğın çekirdek kuvveti “gluon” adını verdiğimiz parçacıklar olarak gözlemlediğimiz bir alan tarafından taşınır, zayıf çekirdek kuvveti de W ve Z bozonlarından oluşan bir alan tarafından taşınır.

Hepsi güzel; kuvvetlerin uzayda uzanan alanlardan kaynaklandığını ve kuantum mekaniğinin alanları parçacık gibi gördüğünü anladıktan sonra, doğanın kuvvetlerinin nasıl işlediğine dair hayli sağlam bir anlayışımız oluşur. Ancak, bu kuvvetlerin etkilediği madde ne olacak? Kütleçekim ya da manyetizmanın bir alandan kaynaklandığını düşünmek bir şey ama bizatihi atomların alanlarla ilişkili olduğunu düşünmek bambaşka bir şey. Her şey gerçekten bir alan değil de parçacıksa, bu atomların çevresinde dolaşan o ufaklık elektronlardan biridir. Doğru mu?

Yanlış. Kuvvet taşıyan parçacıklar gibi, madde parçacıkları da kuantum mekaniğinin kurallarının uzayı dolduran bir alana uygulanmasından kaynaklanır. Ele almış olduğumuz gibi, kuvvet taşıyan parçacıklar bozon, madde parçacıkları da fermiondur. Farklı türden ama gene de alanlara karşılık gelirler.

Bozonlar birbirlerinin üzerine yığılabilirler, fermionlarsa yer kaplar. Bunu, bu parçacıkların titreşimlerini oluşturdukları alanlar açısından ele alalım. Aralarındaki fark basit bir ayrıma indirgenebilir. Bozon alanları herhangi bir değeri alabilirler, halbuki her fermionun titreşim frekansı “açık” ya da “kapalı” olur, başka bir şey değil. Elektromanyetik alan gibi bir bozon alanı gerçekten yüksek bir değere sahip olduğunda, bu çok sayıda parçacığa karşılık gelir; küçük ama sıfırdan farklı bir değerse, az sayıda parçacığa. Bu olasılıklar fermion alanları için geçerli değildir. Burada ya (belli bir durumda) bir parçacık vardır ya da yoktur. Bu yaşamsal özellik “Pauli dışlama ilkesi” olarak bilinir: İki

fermion parçacığı aynı durumda bulunamaz. Bir parçacığın “durumunu” tanımlamak için nerede bulunduğunu, enerjisinin ne olduğunu bir de belki spininin ne olduğu gibi başka bir özelliğini de bildirmemiz gerekir. Pauli dışlama ilkesi temelde, birbirlerinin kesinlikle aynısı iki fermionun kesinlikle aynı şeyi kesinlikle aynı yerde yapamayacaklarını söyler.

Titreşimleri aktarmak

Madde parçacıklarının fermion alanlarındaki ayrık titreşimler olduğu fikri, gerçek dünyanın parçacıkların nasıl yaratılıp yok edildiği gibi başka koşullarda akılları karıştıracak özelliklerinin açıklanmasında yardımcı olur. Kuantum mekaniğinin o baş döndürücü ilk günlerinde insanlar radyoaktivite olgusunu anlamakta zorluk çekiyordu. Protonların diğer parçacıklardan nasıl yaratıldığını anlayabiliyorlardı çünkü bunlar yalnızca elektromanyetik alandaki titreşimlerdi. Peki ama nötronların bozunması gibi radyoaktif süreçlere ne demeli? Bir çekirdeğin içinde birkaç protonla yakın arkadaşlığa girmiş bir nötron sonsuza kadar yaşayabilir. Ama kendi başına yalıtıldığında, bir nötron birkaç dakika içinde, bir elektron ve bir karşı-nötrino yayarak bir protona bozunacaktır. Soru şu: Bu elektronla karşı-nötrino nereden çıktılar? İnsanlar bunların baştan beri nötronun içinde gizlenmiş olduklarını öne sürdüler ama bu pek de doğru gözüküyordu.

Güzel bir yanıt 1934’te Enrico Fermi tarafından alan kuramının fermionlara ilk gerçek uygulانیşında geliştirildi, bu da çok uygundu, çünkü bu parçacıklar zaten Fermi’ye atfen adlandırılmışlardı. Fermi bu parçacıkların her birini farklı kuantum alanlarındaki titreşimler olarak düşünebileceğinizi önermişti, her alan diğerlerinin üzerinde azıcık bir etkide bulunuyordu, tıpkı bir odada çalınan piyanonun yan odadaki piyanonun tellerini etkileyip uyum içinde mırıldanmalarını sağlaması gibi. Yeni parçacıklar sihir sonucu hiçten yaratılmıyorlardı; nötron alanındaki titreşimler kademeli bir şekilde proton, elektron ve karşı-nötrino alanlarına aktarılıyorlardı. Bu kuantum mekaniği olduğundan, kademeli aktarımı algılayamayız; nötronu gözlemliyoruz ve onu ya bir nötron olarak ya da matematiksel olarak hesaplanabilecek bir olasılıkla bozunmuş olarak görürüz.

Kuantum alan kuramı aynı zamanda bir parçacığın, onlarla doğrudan etkileşime girmiş olmasa dahi başkalarına nasıl dönüştüğüne anlaşılmamasına yardımcı olur. Klasik ve kısa süre sonra bizim için çok önemli olacak bir örnek, iki fotona bozunan bir Higgs bozonudur. Bu şaşırtıcı görünür, çünkü fotonların Higgs'le doğrudan bağlanmadığını biliyoruz. Fotonlar yüklü parçacıklarla bağlanırlar ve Higgs de kütleli parçacıklarla bağlanır ve Higgs yüklü değildir, fotonlar da kütleli değildir.

Numara sanal parçacıklarda, bunların sanal alanlar olarak görülmeleri gerekir. Bir Higgs bozonu gelir, Higgs alanındaki titreşen bir dalga. Bu titreşim Higgs'in bağlandığı kütleli parçacıklarda titreşimlere yol açabilir. Ama belki de bu titreşimler yeni parçacıklar olarak belirebilecekleri düzeye yükselmezler; aksine, başka türden bir alanda titreşimler oluştururlar, bu durumda elektromanyetik alanda. İşte Higgs böyle fotonlara dönüşür: Önce sanal yüklü, kütleli parçacıklara dönüşür, sonra onlar da hızla fotonlara dönüşürler. Bu birbirleriyle kesinlikle detone iki piyanonuz varmış gibidir ve bunlar normal koşullarda rezonansa girmezler; ama odada üçüncü bir enstrüman vardır, mesela bir keman ve onda her ikisiyle de rezonansa girecek kadar esneklik vardır.

Sakınım yasaları

Tüm parçacıklar alanlardan doğduğuna göre, madde parçacıkları bile doğada belirip kaybolabilirler. Ama sanki kaos duruma egemen olmuş gibi de olmaz. Nötron bozunmasının öncesinde ve sonrasındaki elektrik yükünü ölçün. Öncesinde sıfırdı, çünkü elinizde sadece yüksüz bir nötron vardır. Sonrasında da sıfırdır; protonun yükü pozitifdir ama elektronun tam da onu dengeleyecek kadar bir negatif yükü vardır ve karşı-nötrinin yükü yoktur. Öncesinde ve sonrasındaki kuark sayısı da aynıdır, çünkü tek bir nötron tek bir proton doğurmuştur. Son olarak, karşı-madde leptonlarını "eksi bir lepton" (elimizde bunlardan olsaydı karşı-kuarkları da "eksi bir kuark") olarak saymak gibi bir numaraya başvurursak, öncesinde ve sonrasındaki lepton sayısı da aynıdır. Zaten nötron üç kuark ve sıfır leptondur, bozunmasının ürünü de toplamda üç kuark (proton) ve sıfır lep-

ton (elektron için bir, karşı-nötrino için de eksi bir) yapar. Nötronların bozunması sonucu bir nötrino değil de karşı-nötrino üretildiğini bilmemizin nedeni de budur.

Bu örüntüler *sakınım yasalarıdır*, doğada parçacık etkileşimlerinde ne yapılabileceğini gösteren kırılmaz kurallar. Ünlü enerji sakınımı yasasıyla birlikte, elimizde elektrik yükü, kuark sayısı ve lepton sayısı sakınımı da vardır. Bazı sakınım yasaları diğerlerine göre daha fazla iğnenemezdir; fizikçiler kuark ve lepton sayılarının bazen (ok nadiren ya da aşırı koşullarda) değişebileceğinden kuşkulanıyor ama çoğu enerji ve elektrik yükünün mutlak sabit olduğu görüşünde.

Bu kurallar akılda tutularak, hangi parçacığın bozunduğunu hangilerinin de sonsuza dek kaldığını anlayabiliriz. Genel kural ağır parçacıkların hafif olanlara bozunmayı sevdiğiyolundadır, yeter ki bozunma sakınım yasalarını ihlal etmesin. Elektrik yükü sakınılır ve elektronlar en hafif yüklü parçacıklardır, bu yüzden bunlar kesinlikle istikrarlıdır. Kuark sayısı sakınılır ve proton sıfırdan farklı değere sahip en hafif parçacıktır, bu yüzden (bildiğimiz kadarıyla) o da istikrarlıdır. Nötronlar istikrarlı değildir ama protonlarla birlikte istikrarlı çekirdekler oluşturlar.

Sıfır yüke sahip çok ağır bir parçacık olan Higgs bozonu ne bir kuark ne de bir lepton değildir bu yüzden aşırı hızlı bozunur, o kadar hızlı ki, onu bir parçacık hızlandırıcıda doğrudan gözlemleyemeyiz. Bulunmasının bu kadar zor olmasının ve dolayısıyla görünürdeki başarımızın bu kadar tatlı olmasının nedeni de budur.

KIRIK BİR AYNADAN

Burada, Higgs bozonunu ve onu doğuran alanı mercek altına alıyoruz ve simetrileri nasıl bozduğunu ve evrene nasıl karakter kazandırdığını gösteriyoruz.

California Teknik Üniversitesi'nin (California Institute of Technology, Caltech) aslında boş bir konferans salonunda masanın bir ucunda ben, diğer ucunda da yerel bir televizyon muhabiri olan Hal Eisner oturuyorduk. Aramızda kocaman bir patlamış mısır kâsesi vardı. Eisner bir mısır tanesi aldı ve burnumun dibinde sallamaya başladı, bunları Higgs bozonunu açıklamakta kullanmamı istiyordu, doğrusu yalvarıyordu. "Higgs bozonu olmasaydı, bu mısır tanesi infilak edecek miydi? Edecekti, değil mi?"

Günlerden 10 Eylül 2008'di, ilk protonların LHC'nin çevresinde döndükleri gün. Önceki hızlandırıcılar kuşağı için devreye alma önemsenmeyen bir olaydı, küçük bir ilgili fizikçiler grubu tarafından yakından izlenmiş, ama dünyanın geri kalanı tarafından görmezden gelinmişlerdi. Ama LHC özeldi ve tüm dünyada insanların dikkati yirmi yedi kilometrelik bir halkayı çepeçevre katetmek için güç toplayan bir avuç protona odaklanmıştı.

Dolayısıyla, muhabirler heyecanı aktarabilmek amacıyla Caltech'e ve başka kentlerdeki diğer üniversitelere gelmişlerdi. Cenevre saatiyle sabahın erken saatleriydi ama California dokuz saat gerideydi ve bu nedenle biz önceki günün geç saatlerindeydik. Bilgisayar ekranları herkesin izleyebilesi için ayarlanmıştı ama CERN sunucularına yüklenen yük kısa sürede internet bağ-

lantısını kopartmıştı. Bir araya toplanmış bilim insanlarının sınırlarını gevşetip rahatlatmak üzere pizzalar ısmarlanmış ve dağıtılmıştı. (Tipik bir fizikçinin bedenindeki atomların önemli bir bölümü bir zamanlar pizza biçimindeydi.)

Gene de yerel haberci takımı haklı olarak, neden bu kadar önemli diye soruyordu. Önemli olduğunu biliyoruz ama tam olarak neden? Higgs bozonunun aranması hep ilk verilen yanıtlardan biri olmuştu. Peki, o zaman, Higgs neden o kadar önemli? Kütle ve simetrilerin bozulması üzerine bir şeyler. Önemli ayrıntıya gelelim: *Mısır tanesi infilak edecek mi?*

Doğru yanıt, “evet, Higgs bozonu (ya da daha titiz olursak, bozonun içinde ilerleyen bir dalga olduğu Higgs alanı) aniden ortadan kalkarsa, sıradan madde artık bir arada duramayacak ve mısır tanesi anında patlayacaktı.” Ama Higgs’i atomları bir arada tutan bir tur kuvvet gibi düşünmek yanıltıcı olur. Higgs uzaya nüfuz etmiş olan bir alandır, elektron türü parçacıklara sıklet kazandırır ve onların atom oluşturmalarını sağlar, bunlar da bir araya gelip molekülleri oluştururlar. Higgs olmasa, atom olmayacaktı, sadece evrende birbirlerinden ayrı dolaşan bir parçacıklar kümesi olacaktı.

Modern fizikteki derin kavramları gündelik yaşamın diline çevirmenin ortak bir zorluğu vardır. Kesinlikle doğru şeyler söylemek istersiniz (tabii ki) ama aynı zamanda insanlara doğru bir *izlenim* de vermek istersiniz ki bu aynı şey değildir, kimse söylediklerinizden bir şey anlamıyorsa, doğru şeyler söylemenin bir yararı olmaz ve hatta açıklamalarınıza dayanarak yanlış şeyler düşünmeye bile başlayabilirler.

Neyse ki ne olup bittiğini anlamak o kadar da zor değildir. Higgs alanı hava gibi ya da denizdeki balıklar için su gibidir; genellikle onu fark etmeyiz ama etrafımızı kaplamıştır ve o olmasa yaşam olanaksız olurdu. O fiilen “etrafımızdadır”; doğadaki tüm diğer alanların aksine, Higgs uzay boşluğunda bile sıfır değildir. Dünyada yer değiştirirken Higgs alanının oluşturduğu ardalana gömülüydür ve parçacıklarımıza o eşsiz özelliklerini veren de bu alanın etkisidir.

Higgs bozonu bildiğimiz parçacıklardan değildir. Fermilab’daki Tevatron 1995’te kuark’ı keşfettiğinde, bu çaba ve yaratıcılığın

şaşırtıcı bir zaferi olmuştu. Ama biz kuarklara zaten aşinaydık ve tamamen şaşırtıcı bir şey bulmayı da beklemiyorduk. Higgs'te bundan fazlası vardır; onun gibi başka bir parçacık bulmadık. Alanı uzayı doldurur, simetrisini bozar, Standart Modelin diğer parçacıklarına kütle ve kimlik kazandırır. Üst ve alt kuarklar var olmasalardı, yaşamlarımız esas olarak değişmeden devam ederdi. Higgs bozonu var olmasaydı, evren tamamen farklı bir yer olurdu.

Ödül kazandıran benzetme

1993'te LHC henüz kâğıt üzerinde bir fikirdi ve gerçekliğe bir yolculuk yapıp yapmayacağı hiç de kesin değildi. CERN'den bir grup fizikçi muazzam projeyi Birleşik Krallığın o sıralardaki bilim bakanı olan William Waldegrave'e methediyorlardı. Waldegrave projeye ilgileniyordu ama satışın merkezi noktasını pek de kavrayamıyordu: Higgs bozonu fikrini. "Söylenenlerin bir kelimesini bile anlamadı," diye anımsar University College London'dan fizikçi David Miller.

Ama Waldegrave öylesine bırakmadı; bilim adamlarına meydan okudu: Higgs bozonunun rolünü anlaşılabilir bir şekilde ve tek sayfaya sığacak gibi en iyi anlatana bir şişe eski şampanya önerdi. Miller ve dört meslektaşısı bilim bakanı tarafından uygun görülen çekici bir eğretilenme üretmeyi başardılar. Beşi de birer şişe şampanya aldı ve tabii ki Birleşik Krallık LHC'yi destekledi.

İşte Miller'in benzetmesinin güncelleştirilmiş bir sürümü: Angelina Jolie'yle birlikte boş bir odada yürüdüğümüzü düşünün (Özgün açıklamada bir film yıldızı yerine bariz siyasal nedenlerle Margaret Thatcher kullanılmıştı ama önemli olan ünlü birini düşünmemiz.) düşünce deneyinin amaçları açısından, doğal olarak aynı hızda yürüdüğümüzü farz edelim. Bu durumda, odayı aynı zamanda kat ederiz. Bir simetri söz konusudur: Odada yürüyenin Angelina Jolie ya da ben olmam bir şey fark etmez; geçen zaman aynıdır.

Şimdi odada süregiden bir parti olduğunu ve sohbet eden kişilerle dolu olduğunu hayal edelim. Odada yürürüm, belki boş olduğundan biraz daha yavaş: Parti katılımcılarının arasından sıyrılmak için yürüyüşümü ayarlarım ama çoğunlukla fark edilmeden geçerim. Angelina aynı odada yürüdüğünde, tamamen

farklı bir şey olur. O geçerken herkes imza almak ya da fotoğrafını çekmek veya sadece bir iki söz etmek için onu durdurur. Fiilen, “kütlesi” daha büyüktür: Bana göre ilerlemesi ve odayı katetmesi daha fazla çaba gerektirir. (Angelina Jolie’nin şişman olduğunu söylemek istemiyorum; bu sadece bir eğretileme.) Aramızda sahip olduğumuz simetri, odada başka insanların bulunmaları nedeniyle bozulmuştur.

Bir fizikçi Angelina Jolie’nin diğer parti konuklarıyla bana göre “daha yeğın etkileştiğini” söyleyecektir. Etkileşimdeki bu yeğınlık sahip olduğu daha yüksek üne bağlıdır; hiç kimse beni durdurup imza istemeyi düşünmez ama ünlü bir oyuncu ardalan kalabalığıyla sık sık etkileşime girer.

Şimdi benim yerime bir yukarı kuark, Angelina’nın yerine bir üst kuark ve parti konuklarının yerine de Higgs alanı koyun. Uzayı dolduran Higgs alanı olmasa, yukarı ve üst kuarklar arasında kusursuz bir simetri olur ve kesinlikle aynı şekilde davranırlar, tam da Angelina’yla benim boş odada aynı hızda ilerlememiz gibi. Ama bir üst kuark Higgs alanıyla yukarı kuarkın olduğundan daha yeğın bir etkileşime girer. Higgs alanı “devreye alınırsa” üst daha yüksek bir kütleyle sahip olur ve onu harekete geçirmek daha fazla çaba gerektirir, tıpkı Angelina’nın bir parti konuklar kalabalığını aşmak için benden daha fazla çaba harcamasının gerekeceğı gibi.

Her benzetmede olduğu gibi, bu da kusursuz değildir. Bir parti konukları kalabalığı gibi, Higgs alanı uzayı doldurur ve içinden geçen her şeyi etkiler. Ama bir insan kalabalığının ya da aşına olduğumuz başka her şeyin aksine, bu ardalan alanına göre hızımı ölçmem; nasıl hareket ediyor olursam olayım, kesinlikle aynı görünür. Higgs alanının varlığında bir parçacığı hareket ettirmek daha fazla çaba gerektirir ama bir kez harekete geçti mi, hareketli kalır, tam da Galileo, Newton ya da Einstein’ın öngöreceğı gibi. Higgs alanı sizi kendi hızına çekmez çünkü bir hızı yoktur. Aslında gündelik yaşamda buna göre bir benzetme yoktur ama dünya böyle işliyor gibidir.

Einstein ve görelilik devreye girmeden önce, birçok fizikçi elektromanyetik dalgaların “esir” adı verilen bir ortamdaki titreşimler olduğunu düşünüyordu. Hatta yerkürenin hareketine bağlı olarak ışık hızındaki değişimleri gözleyerek esiri saptamaya bile

çalışmışlardı; ışık esirle aynı yönde yol alıyorsa daha hızlı hareket etmeliydi, esire karşı da daha yavaş. Ama bir fark bulamadılar. Tüm esir fikrinin gereksiz olduğunu ve ışık hızının tüm uzayda kesinlikle sabit olduğunu idrak etmek için Einstein'ın dehası gerekliydi. Elektromanyetik alanı desteklemek için bir esir alanına gerek yoktu; elektromanyetik alan kendiliğinden var olabilirdi.

Higgs'i esire benzer gibi düşünmek çekicidir, yani içinde dalgaların hareket ettiği görünmez bir alan ama dalgalar elektromanyetik ışıınımdan değil, Higgs bozonlarından oluşur. Bu çok da yanlış değildir çünkü Higgs alanı uzayı doldurur ve Higgs bozonları da bunun içindeki titreşimlerdir. Büyük ölçüde bu, direnilmesi gereken bir çekiciliktir. Esirin bütün anlamı içinde ne kadar hızlı hareket edeceğinizle ilgiliydi, boş uzay için bir eylemsizlik durumu tanımlıyordu. Higgs alanıyla, bu hiç fark etmez. Görelilik gene işler.

Sıfırdan uzağa itilmek

Önceki bölümde görmüş olduğumuz gibi, evren alanlardan oluşur. Ama bu alanların çoğunluğu boş uzayda kapalıdır, sıfıra getirilmiştir. Bir parçacık bir alandaki küçük bir titreşimdir, alan doğal değerinden ötelendiğinde yaratılan bir enerji demeti. Higgs farklıdır; boş uzayda bile sıfır olmaz. Alan kesinlikle her yerde belli bir durağan değer alır ve Higgs bozonu parçacığı bu değer etrafındaki titreşimdir, sıfır etrafında değil. Higgs'i bu kadar özel kılan nedir?

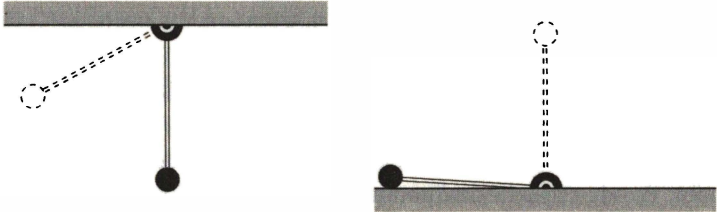
Hepsi enerjiyle ilgilidir. Bir tepenin doruğundaki topu düşünün. Bunda fizikçilerin "potansiyel enerji" dedikleri şey vardır, bir şey yapmaz, sakince orada durur ama tepeden aşağıya yuvarlarsak enerji salma potansiyeline sahiptir. Bu gerçekleştiğinde hızlanır, kademeli bir şekilde potansiyel enerjisini hareket enerjisine dönüştürür. Ama bunun yanında diğer kayalara çarpar, havanın direncini hisseder, hareket ederken ses çıkartır ve bunların hepsi yol boyunca enerjiyi dağıtır. Tepenin eteğine vardığında özgün enerjisi ses ve ısıya dönüşmüştür ve top durabilir.

Alanlar böyledir. Yeğlenen durağan durumlarından uzağa iterek onlara potansiyel enerji vermiş oluruz. Bırakırsak, titreşmeye başlarlar ve nihayetinde başka alanlara aktararak enerjilerini dağı-

tırlar. Sonunda durağanlığa erişip yerleşirler. Higgs alanını özel kılan durağan yerinin sıfır olmamasıdır, en düşük enerji durumu alanın 246 GeV'ta sabitlenmesidir. Bu deneysel olarak belirlediğimiz bir değerdir, çünkü zayıf etkileşimin gücünü belirler.

Bu 246 GeV sayısı Higgs bozonunun kütlesi değildir (bu 125 GeV'dur ve LHC bulana kadar bilinmiyordu), alanın boş uzaydaki değeridir. Parçacık fizikçileri her şeyi aynı GeV birimiyle ölçmeyi severler ki bu kafa karıştırıcı olabilir. Higgs bozonunun kütlesi bize, onu iterek harekete geçirmek için ne kadar kuvvete ihtiyaç duyduğumuzu gösterir, tıpkı herhangi bir nesnede olduğu gibi; başka bir deyişle, bize ayrı bir parçacık olarak görünmesinden önce alanın titreşimine ne kadar enerji yüklememiz gerektiğidir. Alanın değeri tamamen farklı bir şeydir, tamamen durağan durumdayken alanın ne yaptığını tanımlar.

Higgs alanının neden sıfır civarında değil de 246 GeV civarında durduğunu kavrayabilmek için, bir tavandan sallanan sarkacı düşünün. Bu sıradan bir alan gibi davranır; en düşük enerji durumu dosdoğru aşağıya baktığı, yayının dibinde hareketsiz durduğu durumdur. Bu konumdan uzağa iterek ona enerji verebiliriz; bırakırsak ileri geri salınmaya başlar, sonunda dibe yerleşir, çünkü havanın direnci ve sürtünmeye enerji kaybeder.



Şekil 13: Sıradan bir alan, tavandan sarkan bir sarkaç gibidir. Doğrudan aşağıya, durağan bir şekilde bakarken en düşük enerjiye sahiptir. Yukarı kaldırabiliriz ama bu enerji gerektirir. Higgs alanı tavandan sarkacağına zemine bağlı baş aşağı bir sarkaç gibidir. Şimdi, onu dikine konuma getirmek için enerji gereklidir; en düşük enerjili durumu sarkacın yerde, sağda ya da solda yattığı durumdur.

Sonra, baş aşağı bir sarkaç düşünün, sabit noktası tavana değil yere bağlı olsun. Aynı temel mekanizmadır ama artık tamamen farklı davranır. Ters sarkaç dik durumdayken en yüksek enerjiye sahiptir, halbuki öncesinde bu en düşük enerjili kurulumuydu.

Şimdi artık iki en düşük enerji olasılığı vardır: biri sağda yerde yatarken, diğeri de solda yerde yatarken. Kendi haline bırakıldığına sarkaç sağa ya da sola dönük olarak yerde yatacaktır.

Higgs alanı da baş aşağı sarkaca benzer, çünkü sıfırda olmak için enerji harcar. En düşük enerjili durumu alanın her yerde sabit bir değer aldığı durumdur, tıpkı sarkacın sabit noktasının sağında ya da solunda belli bir mesafede yatması gibi. Bu yüzden boş uzay Higgs alanıyla doludur, diğer parçacıklar bunun içinde hareket eder ve kütle edinirler: çünkü bu en düşük enerji kurulumudur. Alanın değeri sarkacın dikeyden ayrılması gibidir; sıradan bir alan sıfırda olmak ister. Higgs ise uzanmak ister, tıpkı baş aşağı sarkacın sağa ya da sola yönelmek istemesi gibi.

Kuşkusuz eğretilemedeki Higgs sarkacının neden doğru değil de baş aşağı olduğunu sorabiliriz. Yanıtı tam olarak kimse gerçekten bilmiyor. Standart Modelin çok ötesinde bir fiziğe dayanan bazı spekülasyonlar var ama bilgimizin halihazır durumunda bu evren hakkında kaba bir olgu. Higgs'in boş uzayda sıfır olmayan bir değer almasında bir yanlışlık yok; alır ya da almaz ve almış. Bu iyi bir şey çünkü aksi halde dünya çok sıkıcı bir yer olurdu (üstelik sadece parçacık fizikçileri için değil).

Parçacıklara kütle sağlamak

Diğer parçacıklarla etkileşime girmeseydi, Higgs'in boş uzayı doldurmasının bir önemi olmazdı, hatta bunu fark etmedik bile. Bu etkileşimin en bariz etkisi de Standart Modelin temel parçacıklarına “kütle sağlamasıdır.” Ama bu kavram o kadar incedir ki, üzerinde biraz düşünmemizde yarar var. Bunun nasıl işlediği konusunda daha fazla ayrıntı için Ek Bire bakınız.

Birincisi ve en önemlisi, bir nesnenin “kütlesinin” ne olduğunu söylememiz gerekir. Muhtemelen bunun üzerinde düşünmenin en uygun yolu, “bir nesneyi ittiğinizde ne kadar dirençle karşılaşsınız,” sorusudur, bu da “nesnenin belli bir hızda ilerlemesi için ne kadar enerjiye gerek duyarsınız” demenin başka bir yoludur. Bir otomobilde bir bisiklete göre daha fazla kütle vardır, bunu biliyoruz, çünkü bir otomobili itmek bir bisikleti itmeye göre çok daha fazla iş gerektirir. Başka bir tanım da “bir nesnenin durağan durumda sahip olduğu enerji,” olabilir. Bu Einstein'ın

$E=mc^2$ 'sinden geriye doğru bulunabilir. Bu denklemin genellikle belli bir kütleye sahip bir nesnenin durağan durumda ne kadar enerjiye sahip olduğunu söylediğini düşünürüz; eşdeğer biçimde, bunu hareket etmeyen bir nesnenin kütesinin tanımı olarak da düşünebiliriz.

Kütlenin kütleçekimle doğrudan ilişkili olmadığını vurgulamak önemlidir. İkisini ilişkilendirmeye eğilimli oluruz, çünkü bir şeyin kütesini ölçmenin en kolay yolu onu bir teraziye koyup tartmaktır ve bizi terazide aşağı çekenin kütleçekim olduğunu hepimiz biliriz. Kütleçekimin önemli olmadığı boş uzayda nesneler ağırlıksız olur ama hâlâ kütleleri vardır. Kütleli bir roketi harekete geçirmek, küçük bir çakıl taşına göre daha zordur ve Ayı ya da bir gezegeni itmek daha da zor olur. Kütleçekim farklı bir şeydir, her türden enerjiyi etkiler, kütesiz olanları bile. Kütesiz fotonlardan oluşan ışık kütleçekimden kesinlikle etkilenir, evrendeki galaksiler ve kara deliklerin kütleçekimsel merkez etkisi olgusu (ışık ışınlarının eğilmesi) bunu gösterişli bir şekilde kanıtlar.

Ek İki içindeki Parçacık Âlemi tablosuna bakarsanız, bazı parçacıkların kütlelerinin olduğunu, bazılarının da olmadığını görürsünüz. Kuvvet taşıyıcı bozonlar arasında, gluonlar, gravitonlar ve fotonların hepsinin kütleleri sıfırdır ama W ve Z bozonlarının kütleleri vardır, bizatihi Higgs'in de olduğu gibi. Fermionlar içinde, nötrinoların kütlelerinin "küçük" olarak belirtildiğini görürsünüz, kuarklarla yüklü leptonlarınsa özgül kütleleri vardır.

Bu karışık durum nihayetinde Higgs alanının etkisi yüzündendir. Kural basittir: Higgs'le doğrudan etkileşime girmiyorsanız, sıfır kütleye sahip olursunuz; Higgs'le doğrudan etkileşime giriyorsanız, sıfırdan farklı bir kütle vardır ve kütle bu etkileşimin ne kadar güçlü olduğuyla doğru orantılıdır. Elektronla yukarı ve aşağı kuarklar Higgs bozonuyla görece zayıf bir etkileşime girerler dolayısıyla kütleleri küçüktür; tau leptonla üst ve alt kuarklar onunla kuvvetli bir etkileşime girerler dolayısıyla da kütleleri görece fazladır. (Nötrinolar özel durumdur; çok küçük kütleleri vardır, ama bu kütlelerin nereden geldiği konusundaki bilgimiz henüz hiç belli değildir. Büyük ölçüde kitap boyunca

onları görmezden geleceğiz ve Standart Modelin anladığımız kısımlarına eğileceğiz.)

Higgs diğer alanlar gibi olup boş uzayda sıfıra otursaydı, diğer parçacıklarla etkileşim kuvveti, Higgs bozonunun, birbirlerinin yakınından geçmeleri durumunda o parçacıkla etkileşime girme olasılığının bir ölçüsü olacaktı. Büyük ölçüde, bir Higgs ve bir elektron sakince birbirlerinin yanından geçecekler ama bir Higgs'le bir üst kuark kuvvetli bir şekilde sapacaklardı. (Ben sokakta yabancıların yanından rahatsız edilmeden geçerim ama Angelina Jolie her adımında rahatsız edilecektir.) Ama beklenti değeri sıfır olmadığından, diğer parçacıklar *sürekli* onunla etkileşime giriyor gibidir ve aralanla bu inatçı, kaçınılmaz etkileşimler bir parçacığın kütlesini yaratır. Bir parçacık Higgs'le kuvvetli bir etkileşime girdiğinde sanki her gittiği yerde peşinde kütlesine katkıda bulunan kalabalık bir Higgs asalakları sürüklüyor gibidir.

Bir parçacığın kütlesinin formülü hayli basittir: Higgs alanının boş uzaydaki değerinin parçacığın Higgs'le olan o etkileşiminin kuvvetiyle çarpımıdır. Neden üst kuark gibi bazı parçacıklar Higgs'le kuvvetli bir etkileşime girerler de elektronlar gibi başkaları görece zayıf bir etkileşime girer? Ve özgül sayılar nasıl açıklanır? Kimse bilmiyor. Şu an için bunlar yanıtsız sorular. Mesleğin şimdiki halinde bu bağlaşım kuvvetlerini doğanın, sadece çıkıp ölçmemiz gereken sabitleri olarak ele alıyoruz. Higgs'i inceleyerek bazı ipuçları elde etmeyi umuyoruz, LHC'nin çok önemli olmasının nedeni de bu.

Higgs'ten yoksun bir dünya

Tüm bunlara karşın, biz fizikçilerin bazen dediği gibi “Higgs kütleden sorumludur” demek yanıltıcı düzeyde sallapati olur. Hatırlayın ki, kuarkları doğrudan göremiyoruz; onlar, gluonlarla birlikte, protonlar ve nötronlar gibi hadronların içinde hapsedilmiştir. Bir proton ya da nötronun kütlesi tek tek kuarkların kütlesinden çok daha fazladır, bunun iyi bir nedeni vardır; bu büyük ölçüde kuarkları bir araya bağlayan sanal parçacıkların enerjisinden kaynaklanır. Higgs olmasaydı, kuarklar gene de birbirlerine bağlanıp hadronları oluşturacaklardı, bunların kütleleri de pek değişmeyecekti. Bu da demektir ki, diyelim ki bir masanın

ya da bir kişinin kütlesinin büyük bölümü Higgs bozonundan kaynaklanmaz. Sıradan nesnelerin kütlesinin büyük çoğunluğu protonlarıyla nötronlarından kaynaklanır ve bu da yeğin etkileşimlerden kaynaklanır, Higgs alanından değil.

Bu da Higgs'in gündelik fizik için önemsiz olduğu anlamına gelmez. Elimizin altında tüm fizik yasalarını yöneten gizli bir kumanda paneli olduğunu hayal edin ve HIGGS yazılı düğmeyi çevirerek boş uzaydaki Higgs alanının değerini 246GeV'dan daha küçük bir değere indirebiliyor olalım (Not: Böyle bir gizli panel yok). Çevremizdeki ardaan Higgs alanının değeri düştükçe, kuarkların, yüklü leptonların ve W ile Z bozonlarının kütleleri de azalır. Kuarklarla W ve Z bozonlarının kütlelerindeki değişimler protonlarla nötronların özelliklerinde çok küçük değişikliklere neden olur ama çok dramatik bir şey olmaz. Müon ve taulardaki değişimler temelde gündelik yaşam açısından önemsizdir. Ama elektronun kütlesindeki herhangi bir değişiklik muazzam önemli olur.

Alışıldık zihinsel atom çizimimizde, elektronlar çekirdeğin çevresinde gezegenlerin güneş ya da ayın yerküre etrafında olduğu gibi yörüngelerde dönerler. Bu çizimin bozulduğu ve kuantum mekaniğini ciddiye alacağımız durumdur. Güneşin yörüngesindeki bir gezegenin aksine, tipik bir elektron rastgele uzaklıktaki bir yörüngede dönmez; fiiliyatta, çekirdeğe yaklaşabildiği kadar yaklaşır. (Daha uzaktaysa, bir foton vererek enerji kaybetme ve dolayısıyla da yaklaşma eğilimindedir.) Ne kadar yaklaşabileceği de kütlesine bağlıdır. Ağır parçacıklar uzayın daha küçük bölgelerine sığabilir, hafif olanlarsa hep daha yayılmıştır. Diğer bir deyişle, atomların boyu doğanın temel parametrelerinden biri olan elektronun kütlesi tarafından belirlenir. Bu kütle daha az olursa, atomlar çok daha büyük olurlar.

Bu çok önemlidir. Atomları daha büyük yaparsak, bu sıradan nesnelerin boyları da bununla birlikte büyüyecek demek değildir. Sıradan nesneleri bir arada tutan kimyadır: atomların ilginç bileşimler halinde bir arada durması. Bir arada durmalarının nedeni de elektronları paylaşımlarıdır, en azından uygun koşullar altında. Atomların boyutlarının farklı olması durumunda bu koşullar da tamamen değişecektir. Elektronun kütlesi birazcık değişse, gene “molekül” ve “kimya” gibi şeyler olacaktır ama gerçek dünyada

bildiğimiz özgün kurallar önemli yönlerden değişecektir. Su (H_2O) ya da metan (CH_4) gibi basit moleküller temelde aynı kalır ama DNA ya da proteinler ya da canlı hücreler gibi karmaşık moleküller düzeltilemeyecek kadar bozulur. Kısacası: Elektronun kütlesini azıcık değiştirin tüm yaşam anında sona erer.

Elektronun kütlesini fazla değiştirirseniz, etkileri de buna bağlı olarak daha dramatik olur. Higgs alanı sıfıra yaklaştıkça, elektronlar daha hafif olacak ve atomlar da buna bağlı olarak daha büyük olacaktır. Sonunda önce makroskobik sonra da astronomik boyutlara erişeceklerdir. Her atom güneş sistemi kadar ya da samanyolu galaksisi kadar olduğunda, artık “moleküllerden” söz etmenin bir anlamı kalmaz. Evren artık kozmosta birbirlerine çarpıp duran tek tek süper-muazzam atomlar yığını olacaktır. Elektronun kütlesi sıfıra kadar indirildiğinde atom diye bir şey kalmayacaktır, elektronlar artık çekirdeklere tutunamazlar. Bu aniden gerçekleşirse, Hal Eisner’ın önemli sorusu yanıtlanır, patlamış mısır tanesi infilak edecektir.

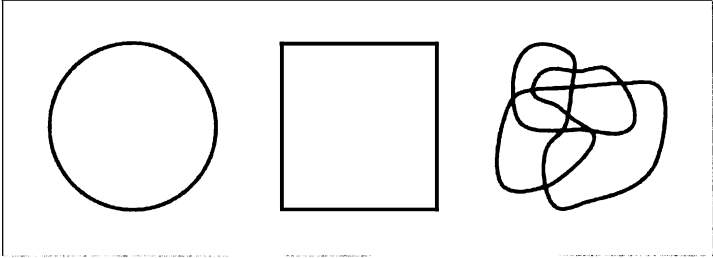
Bunun yanında çok daha ince bir şey de gerçekleşir. Üç yüklü leptonu düşünün: elektron, müon ve tau. Bu parçacıklar arasındaki tek fark kütleleridir. Higgs alanını kapatırsak, bu kütleler sıfıra inecek ve parçacıklar birbirlerinin aynısı olacaktır (Teknik not: Yeğin etkileşim de alanlara beklenti değeri verip Higgs’in etkisini taklit edebilir ama çok daha düşük bir değerde; bu tartışmada bunu görmezden geliyoruz.) Aynı şey $+2/3$ yükü olan üç (yukarı, tılsımlı ve üst) kuark için ve $-1/3$ yükü olan üç (aşağı, acayip ve alt) kuark için de geçerlidir. Her gruptaki parçacıklar da Higgs ardalanı olmasa birbirlerinin aynısı olacaklardı. Bu Higgs alanının en temel rolüne işaret eder: simetrik bir durumu alıp bozar.

Simetriyi tanımlamak

“Simetri” sözcüğünü düşündüğümüzde, akla gelen hoş bir düzenliliklerdir. İncelemeler, simetrik yani sağdan da soldan da aynı görünen çehrelerin genelde daha çekici bulunduğunu göstermiştir. Hem fizikçiler (hem de onların böyle şeyleri öğrendiği matematikçiler) daha derine inmek, en genel anlamıyla bir şeyi neyin “simetrik” yaptığını ve bu simetrilerin doğada nasıl görüldüğünü incelemek isterler.

Basit “sağ ve sol yanların uyuşması” mefhumu daha geniş bir fikri yansıtır: Bir nesneye bir şeyler yapıp kesinlikle başladığımız halini elde edersek, onun simetriye sahip olduğunu söyleriz. Simetrik bir çehre için, onu ortadan bir çizgiden yansıttığımızı ve aynı çehreyi elde ettiğimizi düşünürüz. Ama daha basit nesnelerde bundan daha fazla simetri bulunabilir.

Kare gibi bir geometrik şekli düşünün. Karenin tam ortasından çektiğimiz düşey bir eksenden yansımısını alırsak kesinlikle başlangıçtaki kareyi elde ederiz, bu bir simetridir. Aynı işi yatay bir eksenden de yapabiliriz, bu da ek bir simetridir. (Bir çehreyle bu işe yaramaz; en güzel kişi bile baş aşağı farklı görünür.) Aslında, kareyi herhangi bir köşegen eksenden de yansıtabiliriz ama herhangi bir eksen olmaz, o zaman köşeleri yerinden oynar. Aynı zamanda kareyi merkezi etrafında doksan derece ya da katlarıyla döndürebiliriz de.



Şekil 14: Bir daire, bir kare bir de karalama. Daire çok fazla simetriye sahiptir, buna herhangi bir açıda döndürmeler ve herhangi bir eksen etrafındaki yansımalar da dahildir. Karedeki simetriler daha azdır: doksan derecelik döndürmeler, dikey ya da yatay eksendeki yansımalar ve bunların bileşimleri. Karalamada hiçbir simetri yoktur.

Bir daire de kare gibi, çok simetrik görünür ve doğrusu daha da fazladır. Herhangi bir eksende yansıtabilmemizin yanında, herhangi bir açıda da döndürebiliriz ve her seferinde aynı görünüşte bir daire elde ederiz. Bu kareyle olduğundan çok daha fazla özgürlük demektir. Aksine rastgele bir karalama hiçbir simetriye sahip değildir. Yapacağımız herhangi bir değişiklik görünümünü farklılaştırır.

Simetri, “şeyleri belli bir şekilde etkileriz ve önemli bir değişiklik olmaz,” demenin başka bir yoludur. Kareyi doksan derece

döndürmemiz ya da merkezi ekseninde yansıtmamız önemli değildir: sonunda aynı gözükür.

Bu perspektiften bakıldığında simetri fikri o kadar güçlü bir şeymiş gibi görünmeyebilir. Daireyi döndürdüğümüzde bir şey değişmiyor olsun; kimin umurunda? Umursuyor olmamızın nedeni, yeterince güçlü simetrilerin, nelerin olabileceği konusunda güçlü kısıtlamalar koymasıdır. Varsayalım ki birisi size “bu kâğıdın üzerine bir şekil çizdim, o kadar çok simetriye sahip ki kâğıdı hangi açıda döndürürseniz döndürün şekil aynı gözükür,” dedi. O zaman çizilen şeklin bir daire olduğunu anlarsınız (ya da bir nokta, ama bu da sıfır boyutlu bir dairedir). Bu o kadar simetriye sahip tek şekildir. Benzer şekilde, fiziğe geldiğinde, altta yatan bir simetrinin söz konusu olduğunu anlarsak, deneylerin nasıl davranacağını da bilebiliriz.

Fizikteki klasik bir simetri durumu, belli bir deneyi nerede yapıyor olmamızın fark etmemesi durumudur; deney altta yatan temel ilkeleri yansıtıyorsa, aynı sonucu elde ederiz. Ünlü bir deney vardır, bir bilim insanı (genellikle gençtir ve muhtemelen YouTube’da yayınlamak üzere kaydetmiştir) Mentos şekerlemelerini bir diet kola şişesine atar. Nanenin gözenekli yapısı koldan karbondioksit salınımını kolaylaştırır ve sonuçta etkileyici bir köpük fıskiyesi oluşur. Deney başka türden şekerlerle ya da başka türden gazlı içeceklerle işe yaramaz; ama Los Angeles, Buenos Aires ya da Hong Kong’da kesinlikle aynı sonucu verir. Farklı gıda ya da içecekler arasında doğanın simetrisi yoktur ama konum değişikliğinin simetrisi vardır. Fizikçiler buna “öteleme değişmezliği” adını verir çünkü basit bir kavrama tedirgin edici bir ad verme fırsatını hiç kaçırmazlar.

Parçacıklarla alanlara gelince, simetriler bize çeşitli parçacıkların yerini değiştirebileceğimizi, hatta “birbirlerine döndürebileceğimizi” söyler (tırnak içine almak burada yararlı çünkü alanları birbirlerine dönüştürüyoruz, içinde yaşadığımız düzgün üç boyutlu uzayda yönleri döndürmüyoruz.) En bariz örnek geleneksel olarak “kırmızı,” “yeşil” ve “mavi” olarak etiketlenen üç türde renkli kuarklardır. Hangi etiketin hangisi olduğu tamamen önemsizdir, karşınızda üç kuark varsa, hangisinin “kırmızı kuark,” hangisinin “mavi kuark,” hangisinin de “yeşil kuark” olarak adlandırıldığı önemsizdir. Etiketleri değiştirebilirsiniz ve

tüm önemli fizik değişmeden kalır, simetrisinin gücü budur. Ama elinizde bir kuark ve bir elektron olsaydı, etiketlerini değiştirmek istemezsiniz. Bir kuark elektrondan çok farklıdır; farklı bir kütlesi, farklı bir yükü vardır ve yeğin etkileşimi hisseder. Burada simetri söz konusu olmaz.

Temel parçacıklara kütle veren Higgs alanı olmasaydı, elektron, müon ve tau'yu ilişkilendiren bir simetri söz konusu olacaktı, çünkü bu parçacıklar her açıdan aynı olacaktı, boş odada aynı hızla ilerleyen Angelina'yla benim gibi. Bazı etkileşimlerde elektron yerine müon koyabilirdik ve ayrıntılar aynı kalırdı. Hatta (kuantum mekaniğinin kurallarına göre) yarısı elektron yarısı müon bir parçacık yapabilirdik ve o da aynı olurdu ya da üç parçacığın herhangi bir bileşimi, tıpkı bir daireyi istediğimiz açıda çevirebileceğimiz gibi. Benzer simetriler yukarı/tılsımlı/üst kuarklara olduğu gibi, aşağı/acayip/alt kuarklara da uygulanabilirdi. Bunlar “tat” simetrileri olarak bilinir ve her ne kadar Higgs doğada bunlara kusursuz bir şekilde uyulmasına engelse de farklı temel süreçleri çözümleyen parçacık fizikçileri için yararlı olmayı sürdürürler.

Ama bir simetri daha vardır, tat simetrilerinden daha derin ve daha incedir, başlangıçta tamamen gizlenmiş gibi durur ama mutlak bir yaşamsal öneminin olduğu anlaşılır. Bu zayıf etkileşimin altında yatan simetridir.

Bağlantılar ve kuvvetler

Simetrilerin gerçek önemi, fizikçilerin bunlar üzerine düşünüp konuşmadan edememelerinin nedeni, yeterince güçlü simetrilerin doğanın kuvvetlerini doğurmasıdır. Bu yirminci yüzyıl fiziğinin en şaşırtıcı içgörülerinden biridir ama kavraması kolay değildir. Simetrilerle kuvvetlerin nasıl bağlantılı olduklarını anlamak için biraz derinlere inmek gerekir.

Gündelik yaşamın, “deneyi nerede yaptığınızın önemi yoktur,” diyen bir simetrisinin bulunduğu gibi, “deneyinizin hangi yöne baktığının önemi yoktur,” diyen bir başkası vardır. Mentos'u Diet Kola'nın içine atıp köpüğün kabarmasını izleyin; sonra tüm düzeneği kuzeyden doğuya döndürün, yeniden yapın ve (deney-sel belirsizlikler dışında) aynı sonucu elde etmelisiniz. Buna, bariz nedenlerle “döndürme değişmezliği” denir.

Aslında bu daha da ileri gider. Diyelim ki deneyimi ofisimin dışındaki otoparkta gerçekleştiriyorum ve bir arkadaşım da birkaç metre ileride, benimkiyle tamamen bağlantısız bir şekilde başka bir deney yapıyor. İkimiz de deneylerimizi belli bir derece döndürebiliriz ve aynı sonucu elde etmemiz beklenir. Daha da iyisi, ben düzeneğimi döndürürüm, o olduğu gibi bırakabilir ya da her ikimiz de iki ayrı rastgele açıda döndürebiliriz. Başka bir deyişle, simetri sadece dünyanın tek bir dönüşüyle bağlı değildir (hepimizin kuzeye ya da başka bir yöne dönük olmamızın önemi yoktur), her bir noktada farklı dönüşler de geçerlidir (her birimizin teker teker hangi yöne baktığının önemi yoktur).

Bu muazzam miktarda simetri demektir. Meslekte bu türden megasimetrlere “ayar değişmezliği” denir. Bu ad Alman matematikçi Hermann Weyl tarafından verilmiştir, o farklı noktalarda şeylerin nasıl ölçüleceği tercihinin demiryolu ray açıklıkları tercihine benzettği için bu adı vermiştir.¹ Bunlara aynı zamanda “yerel” simetriler de denir, çünkü simetri dönüşümünü her yerde farklı farklı gerçekleştirebiliriz. Aksine, bir “genel” simetri her yerde aynı anda aynı şekilde gerçekleştirilmesi gereken dönüşümlere dayanır. (Yerel “yalnızca tek bir yerde” anlamında değildir; “her yerde ayrı ayrı” demektir. Yerel simetriler genel simetrilerden daha büyük ve daha güçlüdür.)

Düzeneğimizi her noktada farklı yönlerde kurabileceğimiz için, farklı noktalardaki kurulumların fiili durumunu karşılaştıramamiz yaşamsal bir önem kazanır. Yeni bir evin planını araziye oturtan mimarları düşünün. Bir köşeyi seçebilirler, bu da evin ne yöne bakacağını belirler. Ama, evin dikdörtgen olduğunu varsayarsak, diğer köşelerin de ilkiyle hizalı olmasını isterler; evin dört köşesindeki tuğlaların rastgele yönlerle bakmasını istemezsiniz. Gerçek dünyada, bu aslında çok da zor olmaz; sadece, ya noktalar arasında ipler gererek ya da ölçüm cihazları kullanarak bazı doğru parçaları çizmemiz gerekir.

Ama evi inşa edeceğimiz zeminin tam anlamıyla tesviyeli olmadığını tahayyül edin. Arazi inişli çıkışlı ve estetik kaygılarla müşterimiz zemini tesviye etmek için buldozerleri sokmamızı

1 “Ayar” sözcüğünün İngilizce karşılığı olan “gauge” sözcüğü aynı zamanda demiryollarının ray açıklığı için de kullanılır –ç.n.

istemiyor ve olduğu gibi kullanmamızı arzuluyor. Bu durumda sorunumuz biraz zorlaşır; binamızın köşelerini hizalarken zemindeki değişimleri de hesaba katmamız gerekir.

İnce nokta burası: uzayın farklı noktalarındaki “aynı yön” mefhumlarımızı bağlayabilmemiz, bu noktalar arasındaki uzayı dolduran bir alanın bulunmasını gerektirir, bize fiilen bunları nasıl bir araya getireceğimizi söyleyen ve teknik literatürde “bağlantı” adı verilen bir alanın. Mimari örneğimizde, ilgili alan zeminin yüksekliğinden gelir. Bu bir alandır, parçacık vermek için titreşen temel bir alan değildir ama zemin boyunca her noktada bir sayıdır ki bir alan da aslında budur. (Bir topografya haritası “yükseklik alanının” bir resmidir.) Bu alandaki bilgi uzaydaki farklı noktalarda olanları ilişkilendirmemizi sağlar.

Farklı noktalarda bağımsız dönüşümler yapmamıza olanak sağlayan bir simetrimiz (ayar simetrisi) olduğunda, otomatik şekilde yanında bu yerlerde neler olduğunu karşılaştırmamızı sağlayan bir bağlantı alanıyla birlikte gelir. Bazen alan tamamen masumdur ve fark edilmez bile, tamamen düz bir yüzeyde zeminin yüksekliği gibi. Ama bağlantı alanı bir yerden diğerine değişip dönüşüyorsa, bunun muazzam sonuçları olur.

Örneğin, zeminin yüksekliği bir yerden diğerine değişiyorsa, orada ski yapabilirsiniz (ya da koşullara bağlı olarak kızak). Zemin düzse, orada hareketsiz oturursunuz; zemin eğimli olduğunda, sizi tepe aşağı çeken bir kuvvet vardır. Bu, modern fiziğe göre, dünyanın çalışmasını sağlayan sihirli formüldür: Simetriler bağlantı alanlarına yol açar ve bağlantı alanlarındaki eğimlerle dönemeçler de doğanın kuvvetlerine.



Şekil 15: Doğa kuvvetleri nereden geliyor: Yerel simetriler bağlantı alanlarının varlığına işaret eder, bunlar da kuvvetleri doğurur.

Doğanın dört kuvveti, kütleçekim, elektromanyetizma ve yeğin ve zayıf çekirdek kuvveti, hep simetrilere dayanırlar. (Higgs bozonu da kuvvet taşıyıcı ama parçacıklara kütle veren o değildir, ardalandaki Higgs alanıdır ve hiçbir simetriye dayanmaz.) Bu kuvvetleri taşıyan bozon alanları, gravitonlar, fotonlar, gluonlar ve W ve Z bozonları, hep uzayın farklı noktalarında bu simetri dönüşümlerini ilişkilendiren bağlantı alanlarıdır. Konuya açıklık kazandırmak için, bunlara genellikle “ayar bozonları” denir.

Bağlantı alanları uzayın her noktasındaki görünmez ski pistlerini tanımlar ve nasıl etkileştiklerine bağlı olarak parçacıkları farklı yönlerde iten kuvvetler doğurur. Her parçacığı aynı şekilde etkileyen bir kütleçekim ski pisti, pozitif yüklü parçacıkları bir yönde, negatif yüklü olanları aksi yönde iten bir elektromanyetik ski pisti, yalnızca kuarkların ve gluonların hissettiği bir yeğin etkileşim ski pisti ve Standart Modelin tüm fermionlarının yanında bizzatihi Higgs bozonu tarafından da hissedilen bir zayıf etkileşim ski pisti bulunur.

Gravitonlar için, kuvvetten sorumlu simetriler evvelce sözü-nü ettiklerimizdir, ötelemeler (konum değişimleri) ve dönmeler (yön değişimleri), ama sadece üç boyutlu uzayda değil, dört boyutlu uzay-zamanda. Yeğin etkileşimler için, simetri farklı kuarkların kırmızı, yeşil ve mavi renklerini ilişkilendirir. Belli bir kuark kırmızı, yeşil ya da mavi ya da bunların bir bileşkesi olarak tanımlamamız fark etmez, yani bu bir simetridir.

Elektrik yükü olan parçacıkların hep karşılıklı çiftler halinde görüldüğünü fark etmişsinizdir: biri pozitif yüklü, diğeri de negatif yüklü. Çünkü, yüklü bir parçacık elde edebilmek için elektromanyetizmanın ayar simetrisi altında birbirlerine dönebi-len iki alana gerek duyarsınız. Kendi başına tek bir alan elektrik yüklü olamaz, çünkü simetrinin işleyebileceği bir şey olmaz.

Geriye zayıf etkileşimin W ve Z bozonları kalır. Bunlar da bağlantı alanlarıdır, doğanın altta yatan belli bir simetrisinden doğmuşlardır. Ama bu simetri Higgs alanı tarafından maskeley-nir, dolayısıyla da tanımlanması biraz daha çaba gerektirir.

Simetrilerin sorunu

Zayıf etkileşimlerin altında yatan simetri dolaylı bir şekilde keşfedildi. 1950’lerde, kuark fikri bile henüz bulunmamışken,

fizikçiler nötronlarla protonların bazı yönlerden hayli benzer olduklarını fark ettiler. Nötron biraz daha ağırdı ama her şey hesaba katıldığında, kütlesi protonunkine yakındı. Kuşkusuz protonun bir elektrik yükü vardır, nötronunsa yoktur ama elektromanyetik etkileşim yeğin çekirdek kuvveti kadar güçlü değildir ve yeğin kuvvet açısından, iki parçacık birbirlerinden ayırt edilemezler. Özellikle yeğin etkileşimlerle ilgileniyorsak, nötron ve protonu sadece birleşik bir “nükleon” parçacığının iki farklı sürümü gibi düşünersek çok ilerleme kaydedebiliriz. Bu en iyi koşullarda yaklaşık bir simetridir, yükler ve kütleler farklıdır, yani simetri kusursuz değildir ama bundan gene de çok yarar çıkartabilirsiniz.

1954’te Chen Ning Yang ve Robert Mills’in aklına bu simetrinin bir yerel simetri olarak “terfi” etmesi gerektiği geldi, yani uzayın her noktasında nötronlarla protonları birbirlerine “döndürmeye” izniniz olmalıydı. Bunun ne ima ettiğini biliyorlardı: bir bağlantı alanının ve buna karşılık gelen bir doğa kuvvetinin varlığı. Öylesine bakıldığında, biraz çılgınca bir fikir gibi görülebilir; zaten yalnızca yaklaşık olarak simetri olan bir şeyden nasıl bir ayar simetrisi çıkartırsınız ki? Ama sık sık çılgın fikirlerin sonradan, doğanın nasıl işlediği anlaşıldıkça, parlak fikirler olarak kabul edildiği olmuştur.

Daha büyük bir sorun vardı. O sıralarda, yerel simetrilere dayanan iki başarılı kuram bulunuyordu: kütleçekim ve elektromanyetizma. Bunların her ikisinin de uzun menzilli kuvvetler olduğunu fark edeceksiniz, kuvvetleri taşıyan bozonların kütleleri de sıfırdır. Bu olguların ikisi de rastlantı değildir. Anlaşılmıştır ki yerel simetrinin gerekleri, ilişkili bozonun kesinlikle kütsüz olmasını gerektirir; kütsüz bir bozonunuz olduğunda da taşıdığı kuvvet çok uzak mesafelere erişebilir. Kütleli bir bozonun kuvveti, kütleli parçacıkları yapmak için gerekli olan enerji nedeniyle hızla düşer ama kütsüz olanın kuvveti sonsuz uzaklıklara erişebilir.

Kütsüz parçacıkların özelliği, kolay yapılmasıdır. Özellikle de nötron ve protonlarla kolayca etkileşime giren bir alandan söz ediyorsak ve bir atom çekirdeğinin kuvvetlerin açıkça çok güçlü olduğu içinde neler olduğunu anlamaya çalışıyorsa. 1954 bakış açısından, çekirdeğin içinde önemli bir rol

oyनayan yeni kütlesiz parçacıkların olmadığı açıktı. Ama Yang ve Mills sebat ettiler.

Kolay değildi. O yılın Şubat ayında Yang Princeton'daki İleri Araştırmalar Enstitüsü'nde yeni çalışması üzerine bir seminer verdi. Dinleyicilerin içinde, diğer şöhretlerin arasında iğneleyici yorumlarıyla ünlü olan Wolfgang Pauli de bulunuyordu. Pauli Yang-Mills kuramının kütlesiz bir bozon öngördüğünü pekâlâ biliyordu, bunun bir nedeni de Pauli'nin de çok benzer bir modeli incelemiş ama sonuçlarını yayımlamamış olmasıydı. Bir tek o da değil, aralarında Werner Heisenberg'in de bulunduğu başka fizikçiler de Yang ve Mills bunu açıkça bir araya getirmeden önce benzer fikirler düşünmüşlerdi.

Bilimsel bir seminerin dinleyicilerinden biri olarak, ara sıra konuşmacının söylediği bir şeye karşı olabilirsiniz. Alışılmış protokol bir soru sormak, belki karşı görüşünüzü açıklayan bir ifadede bulunmak sonra da konuşmacının devam etmesine izin vermektir. Pauli'nin tarzı bu değildi. Birkaç kez Yang'ın sözünü kesti ve sordu: "Bu bozonların *kütlesi* nedir?"

1922 Çin doğumlu olan ve Enrico Fermi'nin yanında çalışmak üzere Birleşik Devletler'e taşınmış olan Yang paritenin (sol-sağ simetrisi) bozulması üzerine çalışmalarıyla 1957 Nobel Ödülü'nü T.D. Lee'yle paylaşacaktı. Ama birkaç yıl öncesinde hâlâ görece gençti ve henüz kendisini kabul ettirmemişti. Pauli'nin saldırısı karşısında, Yang kendini kaybetti ve sonunda kendi seminerinin ortasında yerine oturuverdi. Toplantılara başkanlık eden Robert Oppenheimer onu konuşmasına devam etmeye ikna etti ve Pauli de sessizce oturdu. Ertesi gün, Pauli Yang'a basit bir not gönderdi: "Seminer sonrasında sizinle konuşmamı neredeyse olanaksız hale getirmenizden üzüntü duydum. İyi dileklerle. Saygılar, W. Pauli."

Pauli görülmeyen kütlesiz parçacıklar konusunda endişe duymakta haksız değildi ama Yang da görünürdeki bu hataya karşın fikrini sürdürmekte haksız değildi. Makalelerinde, Yang ve Mills sorunu kabul ettiler ama sanal parçacıkların kuantum-mekanik etkilerinin bozonlarına kütle kazandıracağı konusunda müphem bir umut ifade ettiler.

Neredeyse haklıydılar. Bugün hem yeğın hem de zayıf etkileşimlerin Yang-Mills adını verdiğimiz kuramlara dayandığını

biliyoruz. Bu iki kuvvet çok farklı ama eşit düzeyde akıllıca ve şaşırtıcı yöntemlerle kütsüz parçacıklarını saklayabiliyorlar. Yeğın etkileşimlerde gluonlar kütsüzdür ama hadronların içinde hapsolmuşlardır bu yüzden onları hiç görmeyiz. Zayıf etkileşimde W ve Z bozonları uzayı kaplayan Higgs alanının müdahalesi olmasa kütsüz olurlardı. Higgs dayandıkları simetriyi bozar ve bir kez bu simetri bozuldu mu bozonların kütsüz kalması için bir neden kalmaz. Tüm bunları bulmak uzun bir yolculuğı gerektirdi.

Simetrileri bozmak

Bir simetrinin nasıl “bozulduğunu” anlamak için soyutlama âleminde gündelik dünyaya iniyoruz. Çevremizdeki birkaç basit simetri örneğinden söz etmiştik: nerede olduğunuz fark etmez ve hangi yöne baktığınız fark etmez. Fizik yasalarının başka bir simetrisi daha vardır ama bunu fark etmesi daha zordur: Hangi hızla ilerlediğiniz fark etmez bunu ilk oluşturan Galileo’dan başkası değildir.

Bir trende olduğunuzu ve ülke içinde dolaştığınızı düşünün. Bunu süper modern bir tren yapalım, eski usul tekerlek yerine manyetik kaldırmayla ilerlesin. Tren yeterince sessiz ve sarsıntıdan arıtılmış olursa, pencereden bakmadan hızımızı kestirmemiz olanaksızdır. İşimize bakar, trenin içinde fizik deneyleri gerçekleştirsek, trenin hangi hızda ilerlediğinin önemi kalmaz. Tamamen sabit durabilir ya da saatte 100 kilometre hızla ilerliyor olabiliriz; diyet kolanın içine Mentos atmanın etkisi kesinlikle aynı olur.

Bu dikkat çekici olgu gündelik deneyimizde çok basit bir nedenle bizden gizlidir: dışarı bakabiliriz ya da elimizi pencereden çıkartabiliriz. Derhal ne kadar hızlı gittiğimiz anlaşılır çünkü zemine ya da havaya görece hızımızı ölçebiliriz (ya da en azından tahmin edebiliriz).

Bu bir simetri bozulması örneğidir. Fizik yasaları ne kadar hızlı ilerlediğine aldırmazlar ama zemin ve hava kesinlikle aldırır. Yeğlenen, yani “zemine göre durağan” bir hız seçerler. Oyunun derinlerde yatan kurallarının bir simetrisi vardır ama çevremiz buna uymaz; simetri çevre tarafından bozulmuştur deriz. Higgs alanının zayıf etkileşime yaptığı da tam olarak budur. Altta yatan fizik yasaları belli bir simetriye uyarlar ama Higgs alanı bozar.

Buraya kadar sözünü ettiğimiz simetri bozulmasına genellikle “kendiliğinden” simetri bozulması denir. Bu simetrinin aslında hâlâ orada olduğu, dünyayı yöneten, altta yatan denklemlerin içinde saklandığı ama çevremizin bir özelliğinin yeğlediği bir yönü seçtiğini söylemenin başka bir yoludur. Elinizi bir trenin penceresinden çıkartıp havaya göre hızınızı ölçebilmeniz fizik yasalarının farklı hızlara göre değişmez olduğu olgusunu değiştirmez. Aslında, insanlar dikkatli olduklarında bazen simetrilerin “kendiliğinden bozulduğunu” değil, “saklı” olduklarını söylerler. Bu kendiliğinden mefhumuna On Birinci Bölümde döneceğiz.

Zayıf etkileşimin simetrisi

Anlaşıldı ki, Yang ve Mills nötronlarla protonlar arasındaki simetri fikriyle temelde doğru yoldaymışlar. Şimdi artık kuarkları tabii ki biliyoruz, bu yüzden benzer bir fikir de yukarı kuarklarla aşağı kuarklar arasında bir simetri önermek olur. Aynı sorun karşımıza çıkıyor gibidir: Yukarı ve aşağı kuarkların farklı kütleleri ve farklı elektrik yükleri vardır. Bu özellikler Higgs alanının varlığına bağlanabilirse, doğrulanmış oluruz. Bu da yapılabiliyor.

İşlerin karışmaya başladığı yere geldik, öyle ki, ayrıntılar Ek Bire bırakıldı. (Basit olduğu varsayılıyor; birçok Nobel Ödülü’yle sonuçlanmış bir dizi keşiften söz ediyoruz.) Karışıklığın kökeni temel fermionların “spin” adı verilen bir özelliklerinin bulunduğu olgusunda yatıyor. Hep ışık hızında hareket eden kütsüz parçacıklar iki türden birinde spine sahip olabilirler. Sağ ya da sol olabilirler. “Parçacık size doğru gelirken, saat yönünde/tersinde döndüğünü” düşünün. Zayıf etkileşimin sırrı, tüm sol parçacıkları ilişkilendiren bir simetrinin ve buna bağlı bir kuvvetin olması ama sağ parçacıklar için buna karşılık gelen bir simetrinin bulunmamasında. Zayıf etkileşim pariteyi bozar, sol ve sağ arasında ayırım gözetir. Pariteyi dünyaya bir aynadaki yansımadan bakmak gibi düşünebilirsiniz, burada sol ve sağ yer değiştirir. Kuvvetlerin çoğu (yeğin, kütleçekim, elektromanyetizma) onlara doğrudan da bakarsanız aynadan da aynı işler; ama zayıf etkileşim sağa ve sola farklı davranır.

Zayıf etkileşimin simetrisi sol parçacıklara temelde şöyle yansır:

yukarı kuark	aşağı kuark
tılsımlı kuark	acayıp kuark
üst kuark	alt kuark
elektron	elektron nötrino
müon	müon nötrino
tau	tau nötrino

Burada çiftler halinde bir araya getirdiğimiz parçacıklar ilk bakışta bize çok farklı görünür; farklı kütleleri ve yükleri vardır. Çünkü ardalanda dolanan Higgs alanı aralarındaki simetriyi bozar. Higgs'in sahneye koyduğu maskaralık olmasa, her çiftteki parçacıklar kesinlikle ayırt edilemez olacaktı, tıpkı kırmızı/yeşil/mavi kuarkları aynı şeyin üç farklı sürümü olarak görmemiz gibi.

Higgs alanı zayıf etkileşimin simetrisi altında döner; bu yüzden, boş uzayda sıfır olmayan bir değer aldığı anda, bir yön seçer ve simetriyi bozar, tıpkı trenimizde yol alırken havanın nesneleri ona göre ölçekbildiğimiz bir hız edinmesi gibi. Sarkaç örneğimize dönersek, sıradan sarkacın en düşük enerjili durumu kusursuz bir simetriye sahiptir ve doğrudan aşağı bakar. Baş aşağı sarkaç, Higgs alanı gibi ya sağa ya da sola düşerek simetriyi bozar.

Gece yarısı bir ormanda umutsuzca kaybolmuşsanız, bütün yönler size aynı görünür. Nereye dönerseniz dönün, durumunuz aynı ölçüde umutsuzdur. Ama bir pusulanız varsa ve kuzeye doğru yürümeniz gerektiğini biliyorsanız, pusulanın seçeceği yön simetriyi bozacaktır; şimdi artık yürüyecek bir doğru yön vardır ve bir de yanlış yönler. Benzer şekilde, Higgs alanı olmadan, (diyelim ki) elektron ve elektron nötrino aynı parçacıklar olacaktı. Onları birbirlerine döndürebilirdiniz ve sonuçta elde edeceğiniz kurulumlar birbirlerinden ayırt edilemeyecekti. Higgs alanı, pusula gibi, bir yön seçer. Şimdi artık Higgs alanıyla en güçlü bir şekilde etkileşime giren belli bir alanlar kurulumu var, buna “elektron” diyoruz, bir de girmeyen bir kurulum var, ona da “elektron nötrino” diyoruz. Böyle bir ayırım ancak uzayı dolduran Higgs alanına göre bir anlam taşır.

Simetri bozulmasa, aslında sadece bir değil, dört Higgs bozonu olacaktı; zayıf etkileşim simetrisiyle birbirlerine dönüşen iki çift parçacık. Ama Higgs alanı uzayı doldururken, bu parçacık-

ların üçü zayıf etkileşimin üç ayar bozonu tarafından “yutulurlar” ve bunlar da dolayısıyla kütesiz kuvvet taşıyıcılarından kütleli W ve Z bozonlarına dönüşürler. Evet, fizikçiler gerçekten böyle konuşur: Zayıf etkileşim bozonları fazlalık Higgs bozonlarını yutarak kütle kazanırlar. Ne yerseniz osunuz.

Patlamaya geri dönüş

Higgs alanıyla baş aşağı sarkaç arasındaki benzetme aslında hayli iyidir. Higgs gibi, sarkaç için altta yatan fizik yasaları kusursuz bir simetriye sahiptir; sağ ya da solu yeğlemezler. Ama sarkacın içinde bulunabileceği yalnızca iki istikrarlı kurulum vardır: sağa ya da sola bakan. Doğrudan yukarı bakan simetrik bir kurulumda durması için hassasiyetle dengelemeye çalışırsak, en küçük bir sarsıntı bile onu sağa ya da sola devirir.

Higgs alanı da aynı şekildedir. Boş uzayda sifıra ayarlanabilir ama bu istikrarsız bir kurulumdur. Sarkacın durumunda, sağda ya da solda sakince yatarken, doğrudan yukarı bakar hale getirmek için enerji uygulamamız gerekir. Aynı şey Higgs alanı için de geçerlidir. Uzayın her noktasındaki sıfır olmayan değerinden sifıra döndürmek insanüstü miktarda enerji gerektirir, bugün gözlemlenebilir uzaydaki toplam enerjiden çok fazlası.

Ama evren çok daha yoğun bir yerdi, çok daha küçük bir hacme çok daha fazla enerji sığmıştı. Büyük Patlamaya yakın zamanlarda, 13,7 milyar yıl önce, madde ve ışınım çok daha yakın bir şekilde sıkışmıştı ve sıcaklık da muazzam ölçüde daha yüksekti. Sarkaç benzetmesi açısından, o baş aşağı sarkacın yere değil de bir masaya bağlı olduğunu düşünün. “Yüksek sıcaklık” parçacıkların çok sayıda rastgele hareketi demektir; benzetme açısından, birisinin masayı yakalayıp sarsmaya başlaması gibidir. Sarsma yeteri kadar enerjik olursa, sarkacın çok sert sarsıldığını ve sağdan sola (ya da tersine) atıldığını tasavvur edebiliriz. Sarsıntı *gerçekten* enerjik olursa, sarkaç çılgınca titreşecek hızla ileri geri atılacaktır. Ortalamada, sağda olduğu kadar solda da vakit geçirecektir. Diğer bir deyişle, yüksek sıcaklıklarda baş aşağı sarkaç yeniden simetrik olacaktır.

Aynı şey Higgs alanı için de gerçekleşir. Çok erken evrende, sıcaklık inanılmaz derecede yüksekti ve Higgs alanı sürekli sarsılıyordu. Bunun sonucunda her noktadaki değeri zıplayıp duruyor-

du ve ortalama değeri sıfırdı. Erken evrende, *simetri tesis edilmişti*. W ve Z bozonları kütesizdi, Standart Modelin fermionları da. Higgs'in ortalamada sıfırdan sıfır dışı bir değere geçtiği an "elektrozayıf faz geçişi" olarak bilinir. Sıvı suyun donarak buz olması gibi bir şeydi ama ortalıkta bunu görececek kimse yoktu.

Burada evrenin çok erken dönemlerinden söz ediyoruz, Büyük Patlamanın saniyenin trilyondan biri kadar bir süre sonrasında. Erken evren koşullarını oturma odanızda yeniden gerçekleştirseniz, Higgs sıfırdan olağan sıfır olmayan değerine o kadar hızlı evrilir ki, sıfır olduğunu fark etmezsiniz bile. Ama fizikçiler ilk trilyonda bir saniyede gerçekleşen olaylar zincirini öngörmek için denklemler kullanabilirler. Şu an için bu fikirleri sınavacak dolaysız deneysel verilere sahip değiliz ama bir gün gözlemlerle karşı karşıya kalacak bazı tahminler üzerinde çalışıyoruz.

Karışık ama etkili

Bu öykü biraz zorlamaymış gibi gelebilir, boş uzayda sıfır olmayan alanlar, doğanın sağla sol arasında ayırım gözetmesi ve başka bozonları yutarak ağırlaşan bozonlar. Bu uzun yıllar süresince ve yol boyu kuşkucu seslerin akıntısına karşı kademeli bir şekilde bir araya getirilmiş bir resimdir. Ama... verilere uyar.

Zayıf etkileşim kuramı nihayet 1960'ların sonlarında Steven Weinberg ve Abdus Salam'ın birbirlerinden bağımsız makaleleriyle bir araya getirildiğinde, neredeyse tamamen göz ardı edilmişti. Çok fazla marifet, çok fazla garip işler yapan birçok alan. O sıralarda, insanlar zayıf kuvveti taşıyacak W bozonları gibi bir şeyin var olması gerektiği sonucuna varmışlardı. Ama Weinberg ve Salam, bu doğrultuda bir kanıt olmamasına karşın, yeni bir parçacık, nötr Z bozonu öngörüyordu. Sonra, 1973'te, CERN'deki Gargamelle gibi garip bir isme sahip bir deneyde şimdi Z olarak adlandırdığımız şey tarafından yerine getirilen bir etkileşimin kanıtı bulundu. (Parçacık ancak on yıl sonra, gene CERN tarafından keşfedildi.) O zamandan beri, deney üstüne deney bir Higgs alanı tarafından bozulan bir zayıf etkileşim simetrisi temel resmini destekleyen veriler biriktirmeyi sürdürdü.

2012'ye geldiğimizde, nihayet bizatihi Higgs'e erişmiş gibiyiz. Ama bu öykünün sonu değil, sadece başlangıcı. Higgs kura-

mının verilere uyduğu kuşkusuz ama bu birçok açıdan biraz zorlama gibi duruyor. Higgs dışında bulduğumuz her patçacık ya fermionik bir “madde parçacığı” ya da simetriyle ilişkili bir bağlantı alanından türemiş bir bozon. Higgs farklı görünüyor; onu bu kadar özel yapan nedir? Neden sadece bu simetriler, yalnızca böyle bozuluyorlar? Daha da iyi işleyecek daha derin bir kuram olması mümkün mü? Şimdi artık sadece kuramlar icat etmeyip verilerle de karşılaştırdığımıza göre, şimdiye kadar yalnızca beyin gücünün bize bahşettiğinden daha iyi bir kuramın ilhamına erişmemiz için umutlanacak çok nedenimiz var.

EVİ YIKMAK

Burada, Higgs bozonunu nasıl bulacağımızı ve onu bulduğumuzu nasıl anlayacağımızı öğreniyoruz.

Yıllarca bekledikten sonra, Higgs bozonunun keşfi herkesin umduğundan daha çabuk gerçekleşti.

Bir anlamda, kırk yıldan uzun bir süredir beklentiler güçleniyordu, yani Higgs mekanizması zayıf etkileşimin kabul gören mekanizması olduğundan beri. Ama LHC işlemeye başladığında, heyecan Aralık 2011’de büyüdü.

O ayın başlarında, CERN hayli masum bir bildiri yayınlamış, 13 Aralık’ta “CERN’deki ATLAS ve CMS deneylerinde Higgs araştırmaları üzerine güncelleme” başlıklı seminerleri ilan etmişti. Güncellemeler hep yapılıyordu, bu yüzden tek başına bu heyecanlandıracak bir şey değildi. Ama her biri üç binin üzerinde fizikçiye temsil eden iki deneyle, bunların o bildik seminerlerden olmayacağı söylentisi hızla yayıldı. Daha 1 Aralık’ta, Britanyalı *Telegraph* gazetesi bilim muhabiri Nick Collins’in TANRI PARÇACIĞI ARAŞTIRMASI SONA YAKLAŞTI, CERN BULGULARI AÇIKLAMAYA HAZIRLANIYOR başlıklı bir öyküsünü yayımladı. Makalenin içeriği başlık kadar nefes kesici değildi ama ima açıktı. Bir fizik bloğu olan *viXra log* içinde, “Alex” müstear adlı yorumcu, az ve öz belirtti: “Bugünkü söylenti: Higgs 125 GeV’ta, 2-3 sigma civarında,” ve diğer yorumcuların neşeyle bunun kuramsal sonuçları üzerine tahminlerde bulunmalarının önünü açtı.

Tabii ki “Alex” herhangi birisi olabilirdi, parçacık fiziğine meraklı Mumbai’den afacan bir yeni yetme ya da bizzat Peter Higgs. Ama birçok blog ve çevrimiçi makale aynı yönü gösterir gibiydi: Bu eski güncellemelerden değildi, Higgs üzerine önemli bir haber olacaktı... belki de uzun zamandır beklenen keşif haberi.

CMS ve ATLAS, iki büyük LHC deneysel işbirliğinin her biri küçük birer cumhuriyettir, yurttaşları kendilerini temsil edecek önderlerini seçer. En tepedeki görevliye sadece “sözcü” denir. İşbirliğinin birleşik bir sesle konuşabilmesi için yeni sonuçların hazırlanması ve bildirilmesi sıkı bir denetim altındadır, yalnızca resmî yayımlar değil, işbirliği üyelerinin bireysel konuşmaları bile dikkatlice denetlenir. Bu önemdeki konuşmalar bizzat sözcüler tarafından yapılır. 2011 Aralık’ında, her iki sözcü de İtalya’dan geliyordu: Bir CERN mensubu olan Fabiola Gianotti ATLAS’ın önderiydi, Pisa Üniversitesi’nden Guido Tonelli de CMS’in başındaydı.

Gianotti deneysel parçacık fiziğinin önde gelen oyuncularından biriydi, *Guardian* gazetesi tarafından dünyanın en tepedeki yüz kadın bilim insanından biri olarak seçilmişti. Alana görece geç katılmıştı, lisede Latince, Yunanca, tarih ve psikolojiyle ilgilenip bir konservatuarda ciddi bir şekilde piyano çalıştıktan sonra, üniversitede öğrenciyken fiziği seçmişti. Fiziğe olan ilgisini ateşleyen, bir profesörün fotoelektrik etki üzerine açıklamaları olmuştu, yani Einstein’ın ışığın ayrık kuantize paketler halinde oluştuğu önerisi. Şimdi artık tüm zamanların en büyük bilimsel girişimlerinden birine önderlik ediyordu ve doğanın bilmecesinin önemli parçalarından birini keşfetmek üzereydi. Bu çabanın önemini açıklaması istendiğinde, Gianotti şiirsel bir dil kullanmaktan kaçınmadı: “Temel bilgi biraz sanat gibidir. Ruhla, gönülle, akıllı canlılar olarak erkek ve kadınların beyniyle çok ilişkili bir şeydir.”

Her iki konuşmacının da aktaracakları heyecan verici şeyler vardı ama bunu olabilecek en temkinli bir tarzda yaptılar. İpuçları vardı. Özellikle ATLAS 125 GeV civarında bir Higgs’le uyumlu gibi duran bazı belirtiler görmüştü. Parçacık fiziğinde, sıradışı şeyler üzerine “belirtiler” hayli sıklıkla gelip gider ama bu bilindik sıradışı şeylerden değildi; olabilecekleri hemen

hemen her yeri saf dışı bırakmamızın ardından, bozunan Higgs bozonlarından beklenen türden sinyallerdi. Anahtarlarınızı kaybedip de her yere baktıysanız, baktığınız son yerde ortaya çıkmalarına şaşırırmazsınız. Savları daha güçlü hale getirecek şekilde, CMS de yaklaşık aynı kütlede bir sinyal demeti gördü. Gene, kendi başına ortalığı ayağa kaldıracak bir şey değil ama ATLAS'ın sonuçları bağlamında, odada bir mırıldanmaya yol açmak için yeter de artar bile.

Gianotti hevesleri denetim altında tutmak için elinden geleni yaptı: “Bu fazlalığın ardalandaki bir dalgalanmadan mı kaynaklandığını yoksa daha ilginç bir şeyin mi buna neden olduğunu söylemek için henüz erken.” Daha sonra aynı duyguyu bir İtalyan atasözü aracılığıyla daha teklifsiz bir şekilde dile getirdi: “Ayıyı vurmadan postunu satmayın.”

Bu post çoktan satılmış ve ayı fiilen yakalanmadan çok önce oturma odasında güzel bir yer ayrılmıştı bile. İstatistiksel olarak Aralık sonuçları ortalığı ayağa kaldıracak bir şey olmayabilirdi ama 125 GeV'da bir Higgs bulunması durumunda fizikçilerin görmeyi bekledikleri şeye kusursuz biçimde uyuyordu. LHC verilerinin olayı açıklığa kavuşturması an meselesiydi. Sonunda kimsenin beklemediği kadar çabuk gerçekleşti.

Ne girer

Bir adım geri atalım ve Higgs bozonunu keşfetmek ya da en azından varlığı konusunda umut vaat eden belirtiler bulmak için neler gerektiğini düşünelim. İşleri dramatik ölçüde basitleştirmek için, bunu üç aşamalı bir sürece indirgeyelim:

1. Higgs bozonu yapmak.
2. Bozundukları parçacıkları tespit etmek.
3. Kendimizi bu parçacıkların başka bir şeyden değil de gerçekten Higgs'ten kaynaklandığına ikna etmek.

Her adımı sırasıyla inceleyebiliriz.

Higgs bozonu yapmanın temel fikrini biliyoruz: protonları LHC'de yüksek enerjilere hızlandırmak, dedektörlerden birinin içinde onları çarpıştırmak ve bir Higgs'in üremesini ummak. Kuşkusuz başka ayrıntılar da var. Higgs üretmeyi çok yüksek

enerjilere eriştiğimizde umabiliriz çünkü $E=mc^2$ bize yüksek kütleli parçacıklar yaratma olasılığımız olduğunu söyler. Ama bir olasılık olduğunu düşünmek, olacağını bilmekten çok farklıdır. Bir Higgs bozonu yapılmasını umut edebileceğimiz kesin süreç nasıl bir şeydir?

İlk düşüncemiz “Eh, protonlar çarpışır, Higgs çıkar,” olur. Ama biraz daha düşününce, protonların kuarklar ve gluonlardan oluştuğunu anımsarsınız, sanal karşı-kuarklardan hiç söz etmiyoruz. Yani, bir kuarklar ve gluonlar bileşimi çarpışıp Higgs oluşturuyor. O zaman Bölüm Yedi içinde sakınım yasalarından söz ettiğimizi anımsarsınız, yani elektrik yükü, kuark sayısı ya da lepton sayısı bilinen parçacık etkileşimlerinde değişmez. Bu yüzden, örneğin, iki yukarı kuarkın çarpışıp bir Higgs oluşturmaması mümkün değildir. Higgs’in elektrik yükü sıfırdır, ama her yukarı kuarkın yükü $+2/3$ tür, bu yüzden sayılar tutmuyor. Buna ek olarak, iki yukarı kuarkın toplam kuark sayısı 2’dir, Higgs’in kuark sayısı ise sıfırdır, bu sayı da tutmuyor. Bir kuarkla bir karşı-kuark çarpışırsa, bir şansınız olabilir.

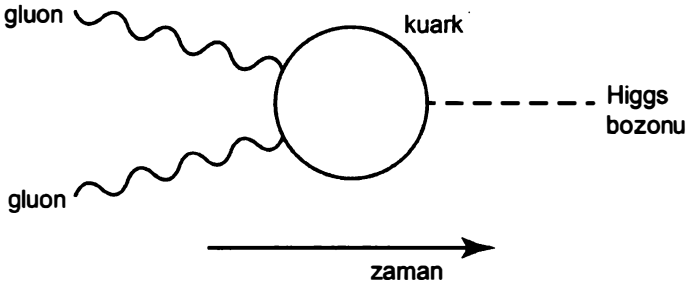
Ya gluonlar? Kısa yanıt, “Evet, iki gluon birleşip bir Higgs oluşturabilir,” olacaktır ama bir de uzun yanıt vardır ki, bu biraz daha karmaşıktır. Higgs alanının bütün anlamının (ya da anlamlarından birinin) diğer parçacıklara kütle kazandırmak olduğunu anımsayın. Higgs bir şeyle ne kadar etkileşim kurarsa, o kadar kütle kazandırır. Tersine de geçerlidir: Higgs ağır parçacıklarla kolaylıkla etkileşime girer, hafif parçacıklarla zorlukla etkileşime girer, fotonlar ve gluonlar gibi kütsüz parçacıklarla da doğrudan hiç etkileşime girmez. Ama kuantum alan kuramının sihri sayesinde, dolaylı şekilde etkileşime girebilir. Gluonlar Higgs’le doğrudan etkileşime girmez ama kuarklarla etkileşime girerler ve kuarklar da Higgs’le etkileşime girer; bu yüzden, gluonlar çarpışarak ama bir ara adım olarak kuarklardan geçerek Higgs üretirler.

Parçacık fizikçileri parçacıkların birbirleriyle nasıl etkileşime girdiklerini anlamak için çok ayrıntılı ve sıkı bir şekilde denenmiş bir formalizm geliştirmişlerdir. Renkli, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman bu geliş ve gidişlerin hesabını tutmak için olağanüstü yararlı bir yöntem geliştirmiştir: Feynman diyagramları. Bu resimler zaman içinde etkileşip başka parçacıklara evrilen parçacıkların şematik çizimleridir. Kuvvet taşıyan bozonlar dal-

galı çizgiler olarak çizilmiştir, fermionlar düz çizgilerdir, Higgs de kesik çizgi. Sabit bir etkileşimler diziyle başlayıp ilgili diyagramları eşleştirerek parçacıkların üretildiği ya da başka parçacıklara dönüştürüldüğü tüm farklı yolları belirleyebiliriz.

Örneğin, dalgalı çizgilerle betimlenen iki gluon bir araya gelebilir. Gluon alanındaki bu titreşimler kuark alanlarında titreşimler başlatabilirler ki bu da bir kuark/karşı-kuark çifti olarak düşünülebilir. Her durumda bir kuark bir de karşı-kuark olduğundan, toplam yük ve kuark sayısı sıfırdır ve başlangıçtaki gluonu karşılar. Bu kuarklar sanal parçacıklardır, yaşamsal bir ara rol oynarlar ama daha parçacık dedektöründe görünmeden yok olmaya mahkûmdurlar. Bir eşleşmiş kuark/karşı-kuark çifti karşılaşır ve birbirlerini götürür; bir başkası karşılaşır ve bir Higgs bozonu doğurur. Her türden kuark bu sürece katkıda bulunur ama en fazla üst kuarklar, çünkü (en ağır kuark türü olduklarından) daha güçlü bir şekilde Higgs ile bağlanırlar. Tüm bunlar matematiksel mekanizmanın göz korkutucu birkaç satırı kullanılarak kesinlikle betimlenebilir ya da tek bir dostça diyagramda zarafetle gösterilir.

Feynman diyagramları, parçacıklar etkileşmek üzere bir araya geldiklerinde ne türden şeyler olabileceğinin hesabını tutmanın eğlenceli, aydınlatıcı bir yolunu sağlar. Ama fizikçiler bunları gerçekleştiren betimlenmiş etkileşimlerin kuantum olasılığını hesaplamakta kullanırlar. Her diyagram bir sayıya karşılık gelir ve bu da açık bazı kural dizilerini izleyerek hesaplanabilir. Bu kurallar ilk bakışta akıl karıştırmacı görünebilir; örneğin zamanda geri giden bir parçacık bir karşı-parçacık olarak sayılır ya da tersi. İki parçacık bir üçüncüyü oluşturmak üzere birleştiklerinde (ya da biri ikisine bozunduğunda), toplam enerji ve tüm diğer sakınılan niceliklerin dengelenmesi gerekir. Ama sanal parçacıkların, yani diyagramın içinde dolağan ama başlangıç bileşiminde ya da nihai üründe mevcut olmayanların gerçek bir parçacığın sahip olduğu kütleinin aynısına sahip olmaları gerekmez. Yukarıdaki diyagram üzerine düşünmemin doğru yolu, gluon alanındaki iki titreşimin bir araya gelip kuark alanında bir titreşime neden oldukları bunun da nihayetinde Higgs alanında bir titreşim üretmiş olduklarıdır. Aslında gördüğümüz, iki gluon parçacığının bir Higgs bozonu yaratmak üzere birleşmiş olduklarıdır.



Şekil 16: İki gluonun sanal kuarkların oluşturduğu bir ara adım aracılığıyla birleşip bir Higgs bozonu yaratmasını betimleyen Feynman diyagramı.

“Gluon füzyonunun (birleşme)” Higgs bozonu yaratmak için umut vaat eden bir yol olduğunu öneren ilk kişi, yeğin etkileşim üzerine anlayışımıza öncülük eden Amerikalı kuramcı Frank Wilczek’ti, 1973’te lisansüstü öğrencisiyken bu konuda gerçekleştirdiği çalışmanın sonucunda, sonradan Nobel Ödülü’nü paylaşmıştı. 1977’de Princeton’ın öğretim kadrosundaydı ama yaz aylarında Fermilab’ı ziyaret için zaman ayırıyordu. Dünyanın büyük düşünürleri bile gündelik yaşamın dünyevi dertleriyle uğraşmak zorunda kalırlar ve o sefer Wilczek her ikisi de hastalığın pençesindeki karısı Betsy Devine ve bebekleri Amity’nin başında uzun bir gün geçirmişti. Karısı ve kızı nihayet uyuduğunda, Wilczek fizik üzerine düşünmek üzere Fermilab arazisi çevresinde bir yürüyüşe çıkmıştı. O zaman bile, onun deyişyle Standart Modelin temel çerçevesinin “doğruluğunun hayli kabul görmüş” olduğu açıklığa kavuşmuştu ama Higgs bozonunun özellikleri görece keşfedilmemişti. Tez çalışması onun gluonlar ve etkileşimlerine büyük bir muhabbet duymasına yol açmış ve yürüyüşü sırasında gluonların Higgs bozonu yapmanın çok iyi bir yolu olduğunu (ve Higgs bozonlarının da gluonlara bozunabileceğini) idrak etmişti. İşte şimdi otuz beş yıl sonrasındayız ve bu süreç LHC’de Higgs’in üretildiği en önemli yöntem. Aynı yürüyüş sırasında Wilczek “axion” fikrini de düşünmüştü, bu Higgs’in düşük kütleli farazi bir kuzenidir ve şu sıralarda evrendeki kara maddeyi oluşturmak için en umut vaat eden adaydır. Uzun, huzurlu yürüyüşlerin fiziğin ilerlemesindeki öneminin bir

kanıtı. (Wilczek'in makalesinden az sonra, protein çarpışmasında gluon füzyonuyla Higgs bozonlarının nasıl üretilebileceğini araştıran Howard Georgi, Sheldon Glashow, Marie Machazek ve Dimitri Nanopoulos da yaşamsal önemde bir adım atmışlardı.)

Ek Üç içinde, Standart Modeldeki parçacıkların etkileşime girebilecekleri çeşitli yolları ve bunlara karşılık gelen Feynman diyagramlarını ele alıyoruz. Kimseye fizik doktorası kazandıracak kadar titizlikle değil, ama umarım ki size genel bir fikir vermeye yetecek kadar. Bir şey açık olmalı: bu biraz karışıktır. "Protonları çarpıştırıp Higgs'in çıkmasını bekliyoruz," demek kolay ama oturup hesaplamaları dikkatlice yapmak da çok iş. Her şey söylenip yapıldığında, bir dizi farklı süreç LHC'de Higgs bozonunun yaratılmasına katkıda bulunur: Yukarıda sözünü ettiğimiz gibi iki gluonun füzyonu; benzer şekilde bir W^+ ile bir W^- veya iki Z bozonunun ya da bir kuark ve bir karşı-kuarkın füzyonu ve bir W ya da Z üretimi ki bu da yoluna gitmeden önce bir Higgs tükürür. Ayrıntılar Higgs'in kütlesi olduğu kadar özgün çarpışmanın enerjisine de bağlıdır. İlgili süreçleri hesaplamak kuramsal fizikçiler için tam zamanlı bir iştir.

Ne çıkar

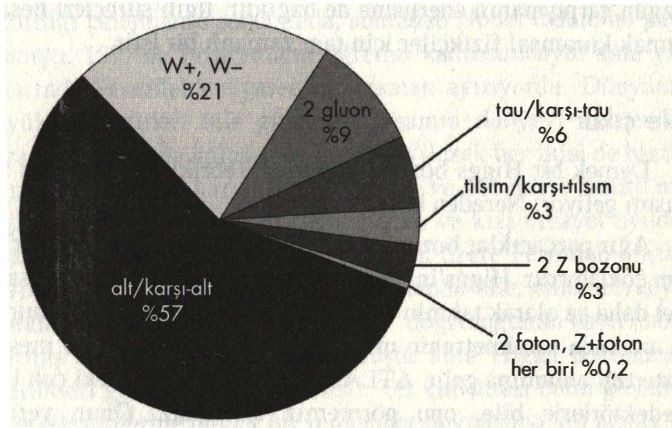
Demek bir Higgs bozonu yaptınız! Tebrikler. Şimdi işin zor kısmı geliyor: Nereden bileceksiniz?

Ağır parçacıklar bozunmaya eğilimlidir ve Higgs de gerçekten çok ağırdır. Higgs'in ömrü de bir zaptosaniyeden (10^{-21} saniye) daha az olarak tahmin edilmektedir, bu da üretilip bozunması arasında santimetrenin milyarda birinden daha az bir mesafe katettiği anlamına gelir. ATLAS ve CMS'in içlerindeki çok ileri dedektörlerle bile, onu görmemiz olanaksız. Onun yerine, Higgs'in neye bozunduğunu görebiliyoruz. Aynı zamanda diğer Higgs olmayan parçacıkların da neye bozunduğunu görüyoruz, bunların da birçoğu tam da Higgs'in bozunduğu şeye benziyorlar. Marifet muazzam miktarda ardalın gürültüsünden o minik sinyali ayırt etmekte.

İlk adım Higgs'inizin tam olarak neye ve ne kadar sıklıkla bozunacağını hesaplamak. Genelde Higgs ağır parçacıklarla bağlanmaktan hoşlanır, bu yüzden onun sıklıkla üst ve alt kuark-

lara, W ve Z bozonlarına ve tau leptona bozunmasını bekleyebiliriz, yukarı ve aşağı kuarklar ya da elektronlar gibi daha hafif parçacıklara değil. Bu temelde doğrudur ama bazı incelikler de söz konusudur (böyle olacağını biliyordunuz zaten).

Bir kere, Higgs kendisinden daha ağır bir şeye bozunamaz. Geçici süreyle kendileri de çok hızlı bir şekilde bozunan ağır sanal parçacıklara bozunabilir ama buna benzer süreçler, sanal parçacıkların özgün Higgs'ten çok daha ağır olmaları durumunda çok ender olurlar. Higgs 400 GeV olsaydı, kolaylıkla her biri 172 GeV olan bir üst kuark ve karşı-üst kuarka bozunabilirdi. Ama daha gerçekçi bir Higgs kütlesi olan 125 GeV için, üst kuarklar mümkün değildir ve alt kuarklar tercih edilen bozunma tarzıdır. Higgs'in daha ağır (600 GeV'a kadar) sürümlerinin bulunmasının daha kolay olacak olmasının nedeni, daha yüksek enerji gerektirecek olsa da budur, yani ağır parçacıklara bozunma oranı çok daha yüksektir.



Şekil 17: 125 GeV kütleli Higgs bozonunun farklı parçacıklara bozunma olasılıkları. Yuvarlama nedeniyle sayıların toplamı 100 etmiyor.

Resimde Standart Modele göre 125 GeV kütleli bir Higgs bozonu için farklı bozunma tarzlarının yaklaşık oranının gösterildiği bir dairesel diyagram verilmiş. Higgs çoğunlukla bir alt kuark ve bir karşı-alt kuarka bozunacak ama birkaç önemli ola-

sılık daha var. Her ne kadar Higgs kütlesi için bu değer saptanmasını zorlaştırsa da bunu bir kez yaptığımızda incelenecek muazzam ölçüde ilginç fizik vardır. Her bozunma biçimini ayrı ayrı ölçebilir ve öngörülerle karşılaştırabiliriz. Her sapma Standart Modelin ötesinde fiziğin işareti olacaktır, ek parçacıklar ya da sıradışı etkileşimler gibi. Böylesi sapmaların olabileceğine dair ipuçlarını gördük bile.

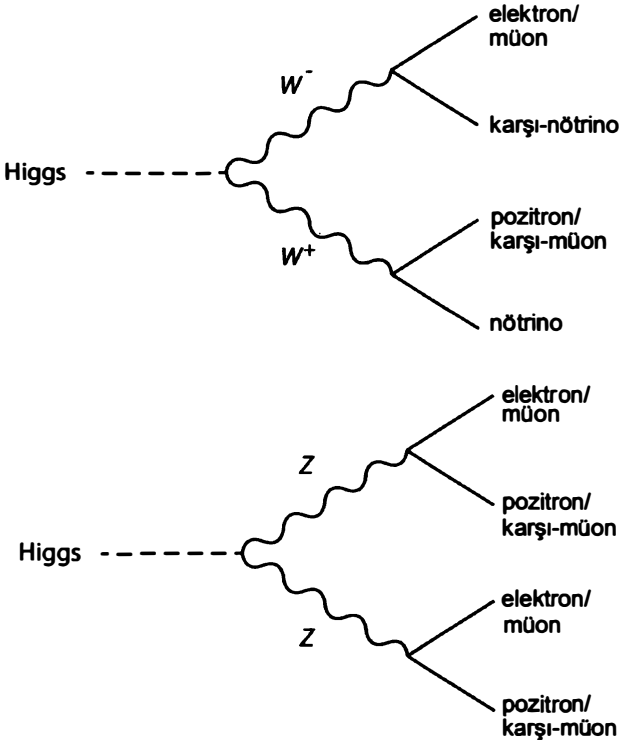
Ama daha bitirmemize çok var. Bölüm Altıdaki, deneysel soğanın farklı tabakalarının dışarı doğru giden farklı parçacıkları yakalamamıza yardım ettiği parçacık dedektörleri üzerine tartışmamıza kulak verin: elektronlar, fotonlar, müonlar ve hadronlar. Sonra dairesel diyagrama yeniden bakın. %99'un üzerinde, Higgs dedektörümüzde doğrudan gözlemlemediğimiz bir şeye bozunur. Higgs o zaman başka bir şeye bozunan (ya da dönüşen) bir şey bozunur ve bizim saptadığımız da budur. Bu hayatı zorlaştırır ya da bakış açınıza göre, daha ilginç de kılabilir.

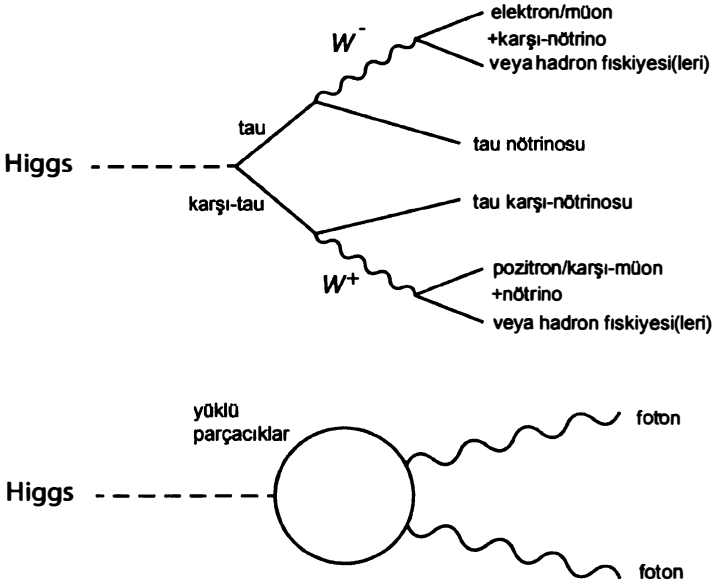
Yaklaşık %70 olasılıkla, Higgs kuarklara (alt/karşı-alt ya da tılsımlı/karşı-tılsımlı) ya da gluonlara bozunur. Bunlar renkli parçacıklardır, doğada kendi başlarına görülmezler. Üretildiklerinde, yeğin etkileşim devreye girer ve bir kuark/karşı-kuark/gluon bulutu yaratır, bu da hadron fiskeyeleri olarak donar. Kalorimetrelerde saptadıklarımız bu fiskeyelerdir. Sorun, ki bu çok büyük bir sorundur, fiskeyelerin her türden sürecin sonucunda oluşabilmesidir. Protonları çarpıştırın, kiloyla fiskeye elde edersiniz ve bunların çok küçük bir yüzdesi bozunan Higgs bozonlarından oluşmuştur. Deneyciler kuşkusuz bu türden işaretleri verilere uydurmak için ellerinden geleni yapıyorlar ama bu Higgs'i saptamak için benimsenecek en uygun yol değil. LHC'nin ilk tam bir yıllık çalışması sırasında tahminen 100.000'in üzerinde Higgs bozonu üretildi ama büyük çoğunluğu yeğin etkileşimin patirtısında kaybolup giden fiskeyelere bozundu.

Higgs doğrudan kuarklara ve gluonlara bozunmadığında, genellikle W bozonlarına, Z bozonlarına ya da tau/karşı-tau çiftlerine bozunur. Tüm bunlar bakılması yararlı kanallardır ama ayrıntılar bu kütleli parçacıkların neye bozunacaklarına bağlıdır. Tau çiftleri üretildiğinde, bunlar genellikle uygun yüke sahip bir W bozonuna artı bir tau nötrinoya bozunur, bu yüzden çözümleme Higgs'in doğrudan W'lere bozunmasına bir şekilde

benzer. Sıklıkla, bozunan W ya da Z kuarklar üretir, bunlar da fıskiyeler oluşturur ki bunları ardalanda fark etmek zordur. Olanaksız değil, hadron bozunmalarına deneyçiler çok ciddi yaklaşır. Ama bu temiz bir sonuç değildir.

Ama, bazen W ve Z bozonları sadece leptonlara bozunabilir. W bir yüklü leptona (elektron ya da müon) ve ilişkili nötrinoya bozunabilirken, Z de doğrudan yüklü bir leptona ve onun karşı parçacığına bozunabilir. Fıskiyeler araya girmediğinden, bu sinyaller görece temizdir ama hayli ender görülür. Higgs yaklaşık %1 olasılıkla iki yüklü lepton ve iki nötrinoya, %0,01 olasılıkla da dört yüklü leptona bozunur. W bozunumları nötrino yarattığında, eksik enerji bu olayların tespitini zorlaştırır ama bunlar gene de yararlıdır. Z bozunmasından dört yüklü lepton üreten olayda işleri karıştıracak eksik enerji yoktur, bu yüzden bunlar altın değerindedir ama çok ender olduklarından bulması zordur.





Şekil 18: 125 GeV'ya Higgs bozonu keşfetmek için umut vaat eden dört bozunum tarzı. Higgs iki W bozonuna bozunabilir, bunlar da sonra (bazen) elektronlara ya da müonlara ve onların nötrinolarına bozunabilirler. Diğer seçenekler ise şöyledir: Higgs iki Z bozonuna bozunabilir, bunlar da sonra (bazen) elektronlara ya da müonlara ve onların karşı-parçacıklarına bozunabilirler; Higgs bir tau/karşı-tau çiftine bozunabilir, bunlar da sonra nötrinolara ve başka fermionlara bozunurlar; Higgs sonradan iki fotona dönüşecek olan bazı yüklü parçacıklara bozunabilir. Bunların hepsi nadir süreçlerdir ama LHC deneylerinde yakalanması görece kolaydır.

Ve bazen de elektrik yüklü sanal parçacıkların da biraz yardım etmesiyle Higgs iki fotona bozunabilir. Fotonlar kütsüz olduğu için doğrudan Higgs'le bağlanmazlar ama Higgs önce bir yüklü kütleli parçacık üretebilir sonra da bu bir foton çiftine dönüşebilir. Bu yaklaşık %0,2 olasılıkla gerçekleşir ama nihayetinde 125 GeV yakınlarında bir Higgs olduğuna dair en açık işarettir. Oran elimizde yeterli sayıda olay olacak kadar yüksektir ve araldan da Higgs sinyalinin araldanın üzerine çıkabileceği kadar küçüktür. Higgs üzerine elimizdeki en iyi kanıtlar iki fotonlu olaylardan gelmiştir.

Higgs'in bozunabileceği çeşitli yollar üzerine bu hızlı tur, Higgs bozonunun özelliklerini anlama yolunda harcanan muazzam miktarda kuramsal çabanın yalnızca yüzeysel bir özetidir. Bu proje 1975'te, o sıralarda hepsi de CERN'de çalışan John Ellis, Mary K. Gaillard ve Dimitri Nanopoulos'un klasik makalesiyle başlamıştır. Nasıl Higgs bozonu üretilebileceğini ve bunun yanında nasıl da saptanabileceğini incelemişlerdi. O zamandan beri çok sayıda çalışma konuyu yeniden ele almıştır, bunlara, John Gunion, Howard Haber, Gordon Kane ve Sally Dawson'ın eserleri olan, bir parçacık fizikçileri kuşağının kütüphanesinin raflarında saygın bir yer almış olan *The Higgs Hunter's Guide* (Higgs Avcısı Rehberi) adlı bir kitap da dahildir.

İlk günlerde, Higgs konusunda henüz çözemediğimiz çok şey vardı. Kütlesi hep tamamen rastgele bir rakamdı ve ancak titiz deneysel çabalar sonucu doğruya yaklaşabildik. Ellis, Gaillard ve Nanopoulos makalelerinde 10 Gev ve altındaki kütlelere büyük dikkat harcadılar; bu doğru çıksaydı Higgs'i yıllar önce bulmuş olurduk, ama doğa o kadar da cömert değil. Söz konusu araştırmacılar makaleyi bir "özür ve uyarıyla" bitirmeye dayanmamışlardı:

Higgs bozonunun kütlesinin ne olduğu konusunda hiçbir fikrimiz olmaması nedeniyle deneycilerden özür diliyoruz ... ve diğer parçacıklarla olan bağlaşımlarının ne olduğu konusunda emin olamamamız konusunda da. Bunlar muhtemelen çok küçüktürler. Bu nedenlerle Higgs bozonu peşindeki büyük deneysel araştırmaları yüreklendirmek istemiyoruz ama Higgs'e dokunan deneyler yapan insanların ne olabileceğini bilmeleri gerektiğini düşünüyoruz.

Neyse ki büyük deneysel araştırmalar sonunda yüreklendirildi ama bu biraz zaman aldı. Neyse ki şimdi meyveleri toplanıyor.

Anlamlı sonuca erişmek

Higgs bozonunu aramak sık sık bir saman yığnında iğne aramaya ya da bir dizi saman yığnında bir iğneyi aramaya benzetilmiştir. Glasgowlu bir fizikçi olan ve Birleşik Krallıktaki LHC hesaplama ağının kurulmasına yardımcı olan David Britton'ın daha iyi bir benzetmesi var: "Bu, bir saman yığnında bir parça saman aramaya benziyor. Aradaki fark şu ki, bir saman

yığnında iğne ararken, iğneyle karşılaştığınızda bunu anlarsınız, çünkü samandan farklıdır... bunu yapmanın tek yolu o saman yığnındaki bütün samanları tek tek almak, sıraya dizmektir, o zaman birden belli bir boyda bir küme olduğunu fark edersiniz, işte bizim yaptığımız da tam olarak budur.”

Zorkuk burada: Higgs bozonunun her bozunması, hatta iki foton ya da dört lepton gibi “uslu” olanlar bile, Higgs’le hiçbir ilişkisi olmayan başka süreçler tarafından üretilebilir (ve sıklıkla da üretilmektedir). Yalnızca belli *türden* bir olay arıyor değilsiniz, belli *türden* bir olayın biraz daha fazla sayıda olanını arıyorsunuz. Çeşitli boylarda saman sapları içeren bir yığnınız var ve sizin aradığınız belli bir boyda biraz fazla sayıda sap olması. Olay samanları tek tek yakından incelemek değil; istatistiğe başvurmak durumundasınız.

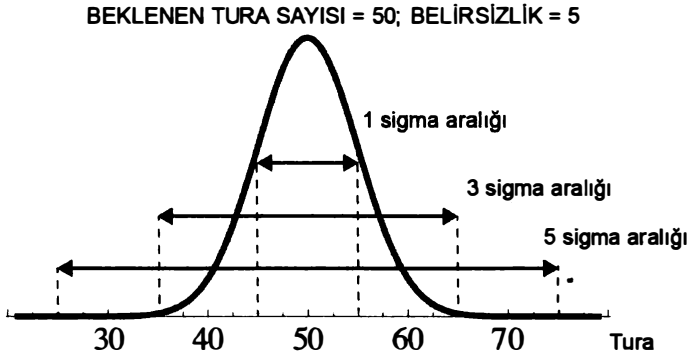
İstatistiğin bize nasıl yardımcı olacağını anlatmak için, daha basit bir görevle başlayalım. Elinizde yazı tura attığınız bir para var ve paranın “düzgün” olup olmadığını öğrenmek istiyorsunuz, yani tamı tamına yüzde elli olasılıkla yazı ya da tura gelip gelmediğini. Bu parayı birkaç kez atmakla varabileceğiniz bir yargı değil, o kadar az denemeyle, hiçbir sonuç gerçekten şaşırtıcı olmaz. Ne kadar atarsanız, paranın düzgünlüğü üzerine anlayışınız o kadar doğru olur.

Bu yüzden işe bir “farksızlık varsayımıyla” başlarsınız, bu “beklentiniz garip bir şey olmaması” demenin fiyakalı bir yoludur. Para açısından, farksızlık varsayımı her atışta yazı ya da tura gelmesinin yüzde elli olasılık olmasıdır. Higgs bozonu açısından, farksızlık varsayımı tüm verinin Higgs *yokmuş* gibi ortaya çıkmasıdır. O zaman, fiili verinin farksızlık varsayımıyla uyumlu olup olmadığına bakarız, yani bu sonuçları düzgün bir parayla, yani ortalıkta bir Higgs yoksa elde etme olasılığının yüksek olup olmadığına.

Diyelim ki parayı yüz kez attık. (Aslında çok daha fazla olması lazım, ama tembel bir günümüzdeyiz.) Para kusursuz düzgünlükteyse, elli yazı elli tura gelmesini bekleriz ya da buna yakın bir şeyler. Diyelim ki elli iki tura kırk sekiz yazı elde edersek şaşırmayız ama doksan üç tura ve yedi yazı gelirse fazlasıyla kuşkulanırız. Yapmak isteyeceğimiz, ne kadar kuşkulanmamız gerektiğini hassasiyetle nicelendirmektir. Diğer bir deyişle, düzgün bir parayla karşı karşıya olmadığımıza karar vermek için öngörülen elli-elli orandan ne kadar şaşmamız gerekir?

Bu sorunun katı ve hızlı bir yanıtı yok. Parayı bir milyar kez atıp her seferinde tura elde edebiliriz ve ilkesel olarak sadece çok ama çok şanslı olmuş olmamız mümkündür. Bilim böyle işler. Matematik ya da mantıkta yapabildiğimiz gibi, sonuçları “kanıtlamayız”; sadece, daha fazla kanıt toplayarak olasılıklarını artırırız. Veri farksızlık varsayımı altında elde etmeyi beklediğimizden yeterince farklı olduğunda, metafiziksel kesinliğe erişmiş olmasak bile, onu reddederiz ve hayatlarımızı sürdürürüz.

Özünde olasılıksal süreçlerden söz ettiğimize ve yalnızca sonlu sayıda olayı gözlemlediğimize göre, ideal sonuçtan belli bir sapma olması şaşırtıcı olmaz. Normalde ne kadar sapma beklememiz gerektiğini fiilen hesaplayabiliriz, bu da Yunanca σ olarak yazılan sigma harfiyle işaretlenir. Bu gözlemlenen bir şapmanın fiilen ne kadar büyük olduğunu elverişli bir şekilde ifade etmemizi sağlar, yani sigmadan ne kadar fazla olduğunu. Gözlemlenen ölçümle ideal öngörü arasındaki fark normalde beklenen belirsizliğin iki katıysa, “iki-sigma sonuç” elde ettiğimizi söyleriz.



Şekil 19: 100 kere yazı-tura atılmasının güven aralığı, beklenen değer 50, belirsizlik de $\sigma=5$. Bir sigma aralığı 45-55 arasındadır, üç sigma aralığı 35-65, beş sigma aralığı da 25-75 arasında uzanır.

Bir ölçüm yaptığımızda, öngörülen sonucun değişkenliği genellikle yukarıdaki resimde görüldüğü gibi bir çan eğrisi şeklinde olur. Burada farklı sonuçlar elde etme olasılığının eğrisini

oluşturuyoruz (Örneğimizde, parayı yüz kez attığımızda kaç kez tura geldiği). Eğri en olası sonuçta, yani örneğimizde ellide tepe noktasına erişir ama bu değer in etrafında doğal bir dağılım vardır. Bu dağılım, yani çan eğrisinin genişliği öngörünün belirsizliğidir ya da aynı şekilde, sigma değeri. Düzgün bir parayı $\sigma = 5$ ile yüz kez atarsanız, şöyle deriz: “Elli artı-eksi beş kez tura elde etmeyi bekleriz.”

Sigmayı anmanın güzelliği, fiili sonucun elde edilmesinin olasılığını aktarmasıdır (her ne kadar açık formül karışık olsa da ki genellikle öyle görünür). Bir parayı yüz kez atarsanız ve kırk beşle elli beş kez arası tura elde ederseniz, “bir sigma içinde” olduğunuzu söyleriz, bu da %68 olasılıkla gerçekleşir diğ er bir deyişle, bir sigmanın üzerinde bir sapma yaklaşık %32 olasılıkla gerçekleşir, bu da hayli sıktır bu yüzden bir sigmalı k bir sapma öyle üzerinde durulacak bir şey değildir. Yüz atışta elli beş tura kırk beş yazı geldi diye paranın düzgün olmadığı sonucuna varmazsınız.

Daha büyük sigma değerleri giderek olasılığı azalan sonuçlara karşılık gelir (eğer fazlasızlık varsayımı doğruysa). Yüzde altmış tura elde ederseniz, bu iki sigma sapma eder, böyle bir şey yalnızca yaklaşık deneylerin yüzde beşinde gerçekleşir. Bu olası değildir, ama tamamen olanaksız da denemez. Fazlasızlık varsayımını reddetmemiz için değil ama kuşku uyandırmak için yeterlidir. Altmış beş tura elde etmek üç sigma sapmadır, yaklaşık %0,3 gerçekleşir. Bu hayli ender olmaya başlamış demektir ve artık garip bir şeyler olduğunu düşünmemiz için meşru nedenler vardır. Yüz atışta yetmiş beş kez tura gelirse bu beş-sigma bir sonuçtur, olasılığı da milyonda birden azdır. Dolayısıyla bunun istatistiksel bir şans olmadığına karar verebiliriz ve farksızlık varsayımı doğru değildir, yani para düzgün değildir.

Sinyal ve ar dalan

Parçacık fiziği, gücünü kuantum mekaniğinden aldığından bu yana daha çok yazı tura atmaya benziyor: yapabileceğimizin en iyisi olasılıkları öngörmek. LHC’de protonları çarpıştırıyoruz ve farklı etkileşimlerin gerçekleşmesinin olasılıklarını tahmin ediyoruz. Higgs araştırmasının özel durumunda, farklı “kanalları”

düşünüyoruz, her biri dedektörün yakaladığı parçacıklar tarafından tanımlanıyor. İki foton kanalı var, iki lepton kanalı var, dört lepton kanalı var, iki fiskeye artı iki lepton kanalı var vs. Her vakada dışarı çıkan parçacıkların toplam enerjisini topluyoruz ve kuantum alan kuramının mekanizması (fiili ölçümlerin de yardımıyla) her enerjide ne kadar olay görmeyi bekleyeceğimizi öngörebilmemizi sağlıyor ki bu da genelde düzgün bir eğri oluşturuyor.

Farksızlık varsayımı budur, yani Higgs bozonu olmasa elde etmeyi beklediğimiz sonuç. Belli bir kütleyle sahip bir Higgs bozonu varsa, bunun ana etkisi, kütesine karşılık gelen enerjideki olay sayısında bir sıçramaya neden olmasıdır. Örneğin, 125 GeV kütleli bir Higgs toplam enerjisi 125 GeV olan fazladan bazı parçacıklar yaratacaktır, vs. Bir Higgs yaratmak ve bozunmaya terk etmek, (tüm Higgs dışı süreçlere ek olarak) normalde Higgs kütlesi kadar toplam enerjiye sahip parçacıklar üretecek bir mekanizmayı başlatır bu da ardalanında birkaç ek olaya neden olur. Bu yüzden, “sıçrama avına” çıkarız, acaba Higgs olmaması durumunda göreceğimiz düzgün eğride kayda değer bir sapma var mıdır?

Beklenen ardalanın ne olması gerektiğini öngörmek hiç de kolay bir iş değildir. Standart Modeli biliyoruz tabii ki ama kuramın ne olduğunu bilmemiz, bir öngöründe bulunmanın kolay olacağı anlamına gelmez. (Standart Model aynı zamanda yer kürenin atmosferini de tanımlar ama hava durumunu tahmin etmek kolay değildir.) Güçlü bilgisayar yazılımları proton çarpışmalarının en olası sonuçlarını simüle etmek için ellerinden geleni yapar ve bu sonuçlar dedektörlerin simülasyonunda da kullanılır. Öyle bile olsa, bazı oranları ölçmenin öngörmekten daha kolay olduğunu kabul ediyoruz. Bu yüzden genellikle “kör” bir özümleme yapmak daha iyidir, yani sahte veri ekleyerek ya da sadece bazı olaylara bakmayarak ilgili fiili veriyi saklayacak bazı yöntemler kullanmak sonra da başka bölgelerdeki sıkıcı veriyi anlamak için her türlü gayreti sarf etmek ve yalnızca en iyi anlayışa varıldığında “kutuyu açarak” parçacığımızın dolanabileceği yerdeki veriye bakmak. Buna benzer bir prosedür şeyleri sadece onları görmek istediğimiz için görmemizi engeller; onları gerçekten orada oldukları için görürüz.

Bu hep böyle olmamıştır. Kitabı *Nobel Dreams* (Nobel Hayalleri) içinde, gazeteci Gary Taubes Carlo Rubbia’nın 1980’lerin başında-

ki, W ve Z bozonlarını keşfettiği ve Nobel Ödülü'nü kazanmasını sağlayan çalışmasının yanında, Standart Modelin ötesindeki fiziği bularak ikinci bir Nobel kazanma yolundaki o kadar da başarılı olamayan çalışmasının da öyküsünü anlatır. Rubbia'nın takımının çözümlemelerinde kullandıkları araçlardan biri Megatek adlı, parçacık çarpışmalarının verilerini sergileyen ve kullanıcının bir joystick aracılığıyla görüntüyü üç boyutlu ortamda döndürmesini sağlayan bir bilgisayar sistemiydi. Rubbia'nın asistanları Amerikalı James Rohlf ve İngiliz Steve Geer Megatek'in ustası olmuşlardı. Bir olaya bakıyorlar, biraz döndürüp önemli parçacık izlerini seçtikten sonra, büyük bir güvenle bir W, Z ya da tau gördüklerini beyan edebiliyorlardı. Rubbia'nın sözleriyle, "Elinizde tüm o hesaplama olanakları var ama tüm bu muazzam veri çözümlemesinin amacı, o temel konu, insanoğlunun o nihai yanıtı verebilecek olması. Bunun bir Z olup olmadığına karar verecek olan, o s**tiğimin olaya bakan James Rohlf." Artık değil, elimizde çok daha fazla veri var ama gördüğünüzü gerçekten anlamanın tek yolu, bunları bilgisayara aktarmak.

Deneysel sonuç gibi gözüken bir şey konusunda ne zaman bir heyecan oluşsa, ilk tepkiniz, "Kaç sigma?" diye sormak olmalıdır. Parçacık fiziğinde, yıllar içinde gayriresmî bir standart oluşmuştur, buna göre üç sigma bir sapma bir şeylerin olduğuna dair "bir belirti" olarak kabul edilir, bir şeylerin "keşfini" iddia etmek içinse beş sigma sapma gereklidir. Bu çok talepkâr görünebilir, çünkü üç sigma sapma bir şeyin yalnızca %0,3 kez gerçekleştiğini gösterir. Ama bu konuda doğru düşünce şudur ki, üç yüz farklı ölçüme baktığınızda, biri muhtemelen şans eseri üç sigma anormallik olacaktır. Bu yüzden beş sigmaya bağlı kalmak doğrudur.

Aralık 2011 seminerlerinde, 125 GeV civarındaki tepe ATLAS'ta 3,6 sigma, CMS verilerinde de 2,6 sigmaydı (bunlar birbirlerinden bağımsız verilerdir). Umut verici ama bir keşif iddiası için yetersiz. Sonuçların önemi karşısında, "başka yere bak etkisi" duruyordu; evvelce de değindiğimiz gibi, birçok farklı olası ölçüme baktığınızda, büyük sapmalar olasıdır, iki LHC deneyi de bunu yapıyordu. Ama aynı zamanda, iki deneyin de aynı yerde sıçramalar görmüş olduğu olgusu aşırı umut vericiydi. Birlikte bakıldığında, camianın duyguları deneylerin

muhtemelen doğru yolda ilerlediği yönündeydi ve muhtemelen Higgs'in ilk belirtilerini görüyorduk ama ancak daha fazla veri kesinlik kazandıracaktı.

Sınadığınız öngörüler olasılıklar içeriyorsa, daha fazla veri toplamayı ne kadar vurgulasak azdır. Para atışı örneğimize dönelim. Parayı yüz yerine sadece beş kez atmış olsaydık, beklenen sonuçtan en büyük sapma hepsinin yazı (ya da tura) gelmesi olurdu ama bunun gerçekleşme olasılığı yüzde altının üzerindedir. Yani tamamen bozuk bir parayla bile, düzgünlükten iki sigma sapma olduğunu bile söyleyemeyecektik. *Discover* dergisinin evsahipliğini yaptığı ve benim de katkıda bulunduğum bir grup bloğu olan *Cosmic Variance* içinde, CERN seminerleri öncesi “Yarın açıklanmayacak: Higgs bozonunun keşfi” başlıklı bir yazı paylaştım. İçeriden bilgi aldığımdan değil; sadece hepimiz o ana kadar LHC'nin ne kadar veri topladığını biliyorduk ve bu Higgs'in keşfinde beş sigma iddiasında bulunmak için yeterli değildi. Daha fazla veri toplanması beklenecekti.

Ayı yakalandı

Fizikçiler arasındaki genel hissiyat, 2011 ipuçlarının gerçek bir şeyin belirtisi olduğu, 2012'de toplanacak verilerin bir keşif beyan etmeye gerekli olan sihirli beş sigma eşğine erişmeye yeterli olacağı yönündeydi. LHC'de kaç çarpışma gerçekleştiğini biliyoruz ve dünya çapındaki hissiyat, bir yıl sonra, Aralık 2012'de keşfin (ya da yıkıcı hayal kırıklığının) ilan edilebileceği yönündeydi.

Yıllık kış kapanışının ardından, LHC, Şubat ayında veri toplamaya yeniden başladı. Melbourne'daki Uluslararası Yüksek Enerji Fiziği Konferansı'nın (The International Conference on High Energy Physics, ICHEP) Temmuz başlarında gerçekleşmesi planlanıyordu ve her iki deney de bu toplantıda ilerlemeleri hakkında yeni bilgiler vermeyi tasarlıyorlardı. 2012 koşulları 2011'dekilerden farklıydı, o yüzden ilerlemenin ne kadar çabuk gerçekleşebileceği çok açık değildi. Daha yüksek bir enerjide çalışıyorlardı, 7 GeV yerine 8 GeV söz konusuydu, lüminozite de daha yüksekti, bu yüzden her saniyede daha fazla olay gerçekleşiyordu. Bunların her ikisi de ilerleme gibi duruyor, ki öyleler,

ama bir yandan da zorluklar. Daha yüksek enerji biraz farklı etkileşim oranları demektir, bu da biraz farklı ardaian olayı sayısı ve bu da yeni verileri eski verilerden ayrı kalibre etmeniz gerektiği anlamına gelir. Yüksek lüminozite daha fazla çarpışma demektir ama bu çarpışmaların çoğu dedektörde eşzamanlı olarak gerçekleşir. Bu “yığılmaya” yol açar, birçok parçacık izi görürsünüz ama hangilerinin hangi çarpışmadan kaynaklandığını ayırt etmek için çok çalışmak gerekir. Bu hoş bir sorundur ama gene de çözmeniz gereken bir sorundur ve zaman alır.

ICHEP önemli bir uluslararası olaydır ve daha yüksek enerjilerde yeni veriler gelmeye başladığında Higgs araştırmasındaki ilerlemeler hakkında güncelleme sağlamak için uygun bir mekândır. İnsanların duymayı beklediği makinenin iyi çalıştığı ve en iyisi Aralık ipuçlarının istatistiksel öneminin azalacağına artıyor olmasıydı. LHC’nin programı Haziran başlarında bakım nedeniyle veri toplamaya ara vermektir ve bu da verilere dikkatlice bakıp ellerinde ne olduğunu görmek için doğal bir noktaydı.

Her iki deney de verilerini kör çözümlüyordu. Önemli bölgedeki gerçek veriyi içeren “kutu” 15 Haziran’da açılmıştı ve bu da deneycilerin ne bulduklarını ve bunu Melbourne’da nasıl sunacaklarını belirlemeleri için yaklaşık üç haftalık bir süre bırakıyordu.

Söylentiler derhal uçuşmaya başladı. Aralıkta olduğundan biraz daha müphemdiler ki bu da anlaşılabilir; deneyciler de ellerindekinin ne olduğunu anlayabilmek için debeleniyorlardı. Sonuç olarak, nihai sonucu kesin bir şekilde veren bir söylenti duymadım. Ama genel hava tartışmaya yer bırakmıyordu: gör-dükleri büyük bir şeydi.

Gördükleri, tabii ki, yeni bir parçacıktı: Higgs ya da ona yeterince yakın bir şey. Verilere şöyle bir göz atmak bile bunu görmek için yeterliydi. Peyler derhal yükseltildi; basit bir güncelleme, sonuçların halka açıklanmasında uygun olmazdı. Elinizde ya bir keşif vardı ya da yoktu; varsa da manşeti gömmez, davul zurnayla dünyaya ilan ederdiniz.

Deneyler içindeki alt gruplar çeşitli farklı kanallarda verileri çılınlar gibi çözümlerken, üst kademeler de davullarla zurnaların nasıl çalınacağını tartışıyordu. Bir yandan, her iki deney de Melbourne’da güncelleme yapmayı programlamıştı ve vazgeçmek

yakışık almazdı. Diğer yandan, CERN’de dünyanın diğer ucuna ulaşamayacak yüzlerce fizikçi vardı ve o gün herkesten çok onların günüydü. Sonunda, bir ara yol bulundu: İki deney de konferansın açılış gününde birer seminer verecekti ama seminerler Cenevre’de gerçekleşecekti ve Avustralya’da canlı yayınlanacaktı.

Dışardaki kişileri önemli haberlerin geldiğine ikna etmeye bu yeterli olmamış gibi, CERN’in seminerlere katılmaya büyük isimleri davet ettiği söylentisi de hızla yayıldı. Artık seksen üç yaşına gelmiş olan Peter Higgs o sıralarda Sicilya’da bir yaz okulundaydı; programı Edinburgh’a dönmesini gerektiriyordu, seyahat sigortası sona ermişti ve yanında da İsviçre Frangı yoktu. Ama CERN’deki saygın kuramcı ve uzun süredir de Higgs bozonu meraklısı John Ellis ona bir telefon mesajı bırakınca planlarını değiştirdi: “Peter’a söyleyin, Çarşamba günü CERN’e gelmezse muhtemelen pişman olacaktır.” O da geldi, Higgs mekanizmasına öncülük etmesine yardımcı olan diğer kuramcılar, François Englert, Gerald Guralnik ve Carl Hagen gibi.

2011 Aralık’ında ben California’daydım ve Pasifik saatiyle sabahın beşindeki seminer boyunca uyuyordum. Ama 2012 Temmuz’unda Cenevre’ye bir uçak ayarlamayı başarmıştım ve büyük gün için CERN’deydim. Ben ve birçok başkaları laboratuvarı bir binadan diğerine koşuyor ve gerekli akreditasyonu almaya uğraşıyorduk. Bir seferinde, henüz çıktığım binaya geri dönebilmek için güvenlik görevlisini ikna etmeye çalışıyordum ve zamanımın kısıtlı olduğunu açıkladım. “Bugün neden insanların bu kadar acelesi var?” diye sordu.

Aralık’ta olduğu gibi, yüzlerce kişi (çoğu genç) oditoryumda iyi bir yer kapabilmek için kapıda sabahlamışlardı. Bir kez daha ATLAS sonuçlarını Gianotti açıkladı, ama Tonelli’nin CMS sözcülüğü sona ermişti ve CMS konuşmasını ardılı, Santa Barbara’daki California Üniversitesinden Joe Incandela yaptı. Incandela ve Gianotti CERN’in önceki hadron çarpıştırıcısındaki dedektörlerden biri olan UA2’de yetişmişlerdi ve bu deneyden elde edilen verilerde Higgs’i aramışlardı. Artık o uzun süren aramalarının meyvelerini almak üzereydiler.

Odadaki herkes, sinyal kaybolmuş olsa bu patırtının çıkmayacağını biliyordu. Birincil soru şuydu: Kaç sigma? Söylentilerle kabataslak tahminler arasında, hâkim görüş her iki deneyin de

dört sigmaya eriştiği ama beşi yakalayamadığı doğrultusundaydı. Ama ikisi birleştirildiğinde, bizi beş sigma eşiğinin üzerine sıçratabilirdi. Ama iki farklı deneyden verileri birleştirmek görüldüğünden daha incelikli bir iştir ve geçen yalnızca üç hafta içinde bunun yapılması pek da olası görünmüyordu. Bir kez daha boş yere umutlandırılacağımız ama pek bir keşif iddiasının olmayacağı endişesi az değildi.

Endişeye yer yokmuş. İlk konuşmayı yapan Incandela CMS tarafından çözümlenen farklı kanalları tek tek ele aldı. İlk iki foton olayları geldi, bunlar umulan yerde, 125 GeV'da fark edilebilir bir tepe yapıyordu. Ağırlığı 4.1 sigmaydı, bu önceki yıldan fazlaydı, ama bir keşif değildi. Sonra Higgs'in iki Z bozonuna bozunmasından kaynaklanan dört yüklü leptonlu olaylar geldi. Başka bir tepe noktası, aynı yerde, bu kez 3,2 sigma ağırlıklı. Altmış dördüncü PowerPoint saydamında Incandela bu iki kanalı birleştirdiğinizde elde edeceğinizi açıkladı: 5,0 sigma. Bekleyiş bitmişti. Bulmuştuk.

Gianotti, Incandela gibi, LHC'nin çalışmasına katkıda bulunan herkese teşekkür etmekle başladı ve ATLAS işbirliğinin verileri çözümlenmekte gösterdiği özeni vurguladı. İki foton sonuçlara döndüğünde, gene 125 GeV'da bariz bir tepe vardı. Bu kez ağırlık 4,5 sigmaydı. Dört lepton sonuçlar da yolundaydı: minik ama fark edilebilir bir tepe ve 3,4 sigma. Bunları birleştirdiğinde de toplam tam 5,0 sigma ağırlık elde ediliyordu. Konuşmasının sonunda Gianotti Higgs'i LHC'nin bulabileceği bir yere koyduğu için doğaya teşekkür etti.

ATLAS 126,5 GeV'luk bir Higgs kütlesi buldu, CMS de 125,3 GeV elde etti ama ölçümler her ikisinin beklenen belirsizlik sınırları içindeydi. CMS iki foton ve dört lepton dışında başka kanallar da çözümlendi ve sonuç olarak onların nihai ağırlıkları çok az düşerek 4,9 sigmaya indi. Yine de bu genel görüntüyle uyumludur. İki deney arasındaki uyuma şaşırtıcıydı ve yaşamsal öneme sahipti. LHC'de Higgs'i arayan yalnızca bir tek dedektör olsaydı, fizik camiası sonuçları olduğu gibi kabullenmekte daha çekimser olabilirdi ama halihazır durumda tereddütler uçup gitti. Bu bir keşifti.

Seminerlerin sona ermesinin ardından, Peter Higgs duyurulandı. Daha sonra şöyle açıkladı: "Konuşmalar sırasında ben hâlâ

kendimi işin dışında tutmaya çalışıyordum ama seminer sona erdiğinde, ev sahibi takımın kazandığı bir futbol maındaymış gibi oldum. Sunumu yapan kişiler ayakta alkışlanıyordu, tezahüratlar falan. Bir dalga tarafından devrilmek gibi.” Basın odasında, sonrasında muhabirler ondan başka yorumlar almaya alıştırlar ama o karşı çıktı, böyle bir günün odağında deneycilerin olması gerektiğini söyledi.

Geriye dönüp bakıldığında, Higgs keşfinin birçoklarının beklediğinden daha önce gerçekleşmesi için 2012 yılının ilk yarısında birçok şeyin yolunda gittiği görülür. LHC tam gaz ilerliyor, birkaç ayda 2011’de toplanandan daha fazla olay kaydediliyordu. Yığılma bir zorluktu ama veri czmlayicileri bunu kahramanca karşıladılar ve olayların büyük cğunluğu başarılı şekilde canlandırıldı. Daha yüksek enerji Higgs bozonunun üretilme oranını yükseltti. Takımlar da czmlleme yöntemlerini ilerletmişlerdi ve verilerinden eskisine göre daha fazla ağırlık ıkartabiliyorlardı. Tüm bu gelişmeler fizikçilere daha Temmuz ayından Noel’i bahşetti.

Bu nedir?

Seminerler sona erdikten sonra, Incandela mtefekkirdi. “Genellikle, bir şeyi keşfettiğinizde bunun bir son olduğunu düşünürsünüz. Bilimden benim öğrendiğim, bunun neredeyse her zaman bir başlangıç olduğudur. Neredeyse her zaman hemen orada, uzanılabilir yakınlıkta büyük bir şey vardır ve sadece uzanıp almanız gerekir. Bu yüzden, geveşemezsiniz!”

CMS ve ATLAS’ın yeni bir parçacık buldukları kuşkusuz. Bu yeni parçacığın Higgs bozonuna benzediği de tartışmalı değil; farklı kanallara bozunma hızları, kütlesinin 125 GeV civarında olması durumunda Standart Model Higgs’ten bekleneni kabaca karşılıyor. Ama bunun sadece Higgs mi yoksa daha ince bir şey mi olduğunu merak etmek için de cok neden var. Verilerde bu yeni parçacığın yalnızca asgari Higgs olmadığına dair minik ipuçları var. Bu ipuçlarının geçerli olup olmadığını söyleyebilmek için henüz fazlasıyla erken; kolaylıkla ortadan kaybolabilirler ama gerçekte neler olup bittiğini anlamak için deneylerin süreceğinden emin olabiliriz.

Parçacıkların dedektörlerde üzerlerinde etiketlerle belirmediğini anımsayın. Higgs bozonuyla tutarlı bir şey bulduğumuzu söylediğimizde, Higgs'in kütlesinin sabitlenmiş olması durumunda Standart Modelin çok özgül öngörülerde bulunmuş olmasına atıfta bulunuyoruz. Başka serbest parametre yoktur; bunu bilirsek, bir sayı her kanalda kaç bozunma olduğunu kesinlikle söyleyebilmemizi sağlar. Higgs'e benzer bir şey gördüğümüzü söylemek, yalnızca birinde değil, görünür olacakları bütün kanallarda doğru sayıda fazladan olay gördüğümüzü söylemektir.

Renkli resimler arasında 2011 ve 2012'de ATLAS ve CMS'te özellikle iki foton üretilen çarpışmalardan alınma veriler de vardır. Gördüğümüz, iki fotonun belli bir enerjiye toplandığı olayların sayısıdır. Bu olayların ne kadar az sayıda olduğuna dikkat edin. Deneyler saniyede yüz milyonlarca etkileşim görür, bunlardan, saniyede birkaç yüzü tetikten geçer ve kalıcı biçimde kaydedilir; ama bir yıllık veri içinde her enerji için elimizde yalnızca bin kadar olay kalır.

Çizimdeki kesik çizgili eğri ardalın öngörüsüdür, Higgs olmaması durumunda olmasını bekleyeceğiniz. Kesiksiz çizgi ise 125 GeV kütleli sıradan Standart Model Higgs'i için içine kattığımızda olandır. Her iki eğri de beklenenden birkaç yüz olay fazlasıyla bir sıçrama gösterir. Hangi olayların Higgs bozunumu hangi bozunumların da ardalın olduğunu söyleyemezsiniz ama istatistiksel açıdan anlamlı bir fazlalık olup olmadığını sorabilirsiniz. Vardır.

Yakından incelendiğinde, bu veri hakkında ilginç bir durum ortaya çıkar. 2012'de Higgs'in bu kadar çabuk bulunmuş olmasına şaşırmanın nedenlerinden biri deneylerin fiilen gözlemlemiş olmaları gerekenden daha çok sayıda olay gözlemlemiş olmalarıdır. İki foton sıçramasının ATLAS verilerindeki ağırlığı 4,5 sigma ama çözümlenen çarpışmaların sayısına göre Standart Model yalnızca 2,4 sigma elde etmemiz gerektiğini öngörüyor. Benzer şekilde, CMS'de ağırlık 4,1 sigma ama yalnızca 2,6 sigmaya erişmesi bekleniyordu.

Diğer bir deyişle, iki fotonla elde etmemiz gerekenden daha yüksek sayıda fazla olay vardı. Çok fazla değil; sıçramaların boyutları beklenenden biraz daha büyük ama gene de bilinen belirsizliklerin içinde. Ama her iki deney arasında (ve ATLAS'ın

yalnızca 2011 verileriyle) tutarlı olmaları düşündürücü. Bu uyumsuzluğun gerçek mi yoksa şaşırtmaca mı olduğunu anlamak için daha fazla veriye gerek duyduğumuza kuşku yok.

CMS verileri başka küçük ama fark edilebilir bir bilmece sunuyor. ATLAS iki foton ve dört yüklü lepton gibi sağlam kanallara bağlı kalırken, CMS daha gürültülü üç kanalı da çözümledi: tau/karşı-tau, alt/karşı-alt ve iki W. Bekleneceği gibi, alt/karşı-alt ve WW kanalları (her ne kadar daha fazla veri kuşkusuz durumu düzeltecek olsa da) istatistiksel açıdan belirleyici sonuçlar vermedi. Ama tau/karşı-tau çözümlemesi bir bilmeceydi: Standart Model olması gerektiğini öngörse de 125 GeV'ta bir fazlalık görülmüyordu. Bu istatistiksel açıdan önemli bir uyumsuzluk değildi ama ilginçti. Doğrusu, iki foton ve dört lepton kanalları beş sigmaya erişmiş olsa da tüm CMS çözümlemesini 4,9 sigma düzeyine indiren tau verilerindeki hafif gerginlik olmuştu.

Aksayan ne olmuş olabilir? Bu ipuçlarının hiçbirisi bir şeylerin olup bittiğine emin olunacak kadar ciddi değil, bu yüzden uyumsuzluklar ciddiye alınmaya değer olmayabilir. Ama kuramcılar olarak, biz hayatımızı böyle kazanıyoruz. Seminerlerden bir iki gün sonra, ne olup bittiğini açıklamayı amaçlayan kuramsal makaleler internette yayımlanmaya başladı.

İnsanların üzerinde düşündükleri türden şeylere basit bir örnek vermek kolaydır. Higgs'in iki fotona nasıl bozunduğunu anımsayın. Fotonlar kütesiz olduklarından ve dolayısıyla da Higgs'le doğrudan bağlanmadıklarından, bunun olmasının tek yolu hem kütleli (dolayısıyla Higgs'le bağlanabilen) hem de elektrik yüklü (dolayısıyla da fotonlarla bağlanabilen) sanal ara parçacıklar aracılığıyla olmasıdır.

Feynman diyagramlarının kurallarına göre, bu diyagram içindeki çevrimde ortaya çıkabilecek tüm farklı kütleli yüklü parçacıklardan gelen bağımsız katkıları toplayarak bu sürecin oranlarını hesaplamamız söylenir. Standart Model parçacıklarının ne olduklarını biliyoruz, bu yüzden bunu yapmak zor olmaz. Ama yeni parçacıklar, onları henüz doğrudan saptayamıyor olsak da bu sanal süreçlere katkıda bulunarak yanıtı kolaylıkla değiştirebilirler. Bu yüzden anormal düzeyde büyük sayıda olay Standart Modelin ötesindeki, Higgs'in iki fotona bozunmasına yardımcı olan parçacıkların ilk işareti olabilir.

dokuz / evi yıkmak

Kuşkusuz ayrıntılar önemlidir; aklınızdaki yeni parçacıklar diğer ölçülen süreçlerin oranlarını da değiştiriyorsa, başınız dertte olabilir. Ama Higgs'i inceleyerek yalnızca bu parçacık hakkında değil bulunabilecek başka parçacıklar hakkında da bir şeyler öğrenebileceğimizi düşünmek heyecan vericidir.

Tetikte olmayı sürdürün.

BİLGİYİ YAYMAK

Burada, sonuçların elde edildiği ve keşiflerin açıklandığı süreçleri açığa çıkartıyoruz.

Toparlayabildiği en vakur Britanyalı doğruluğuyla, muhabir John Oliver Büyük Hadron Çarpıştırıcısının işleme başlamasını durdurmak amacıyla mahkemeye başvuran Walter Wagner'a zorlu sorular soruyordu. Ciddi bir suçlamada bulunulmuştu: LHC bizatihi yeryüzündeki yaşam için bir tehlike arz ediyordu.

JO: Yani, kabaca konuşursak, dünyanın yok olma olasılığı nedir? Milyonda bir mi, milyarda bir mi?

WW: Eh, şimdilik söyleyebileceğimiz, ikide bir olasılıktır.

JO: Dur bir dakika. Elli-elli mi?

WW: Evet, elli-elli... bir şey olabileceksen ve bir şey illaki de olmayacaksa ya olacak ya da olmayacaktır, böylece, en iyi tahminle, ikide bir olasılıktır.

JO: Olasılığın böyle bir şey olduğundan emin değilim, Walter.

LHC 2008'de tamamlanırken, fizikçiler de bunun Higgs bozonunu bulmamıza yardımcı olacak, belki de ilk kez olarak süpersimetriyi ortaya çıkartacak ve muhtemelen de kara madde ya da ek boyutlar gibi heyecan verici ve egzotik olguların keşfine yol açacak bir makine olduğunu dünyaya yaymak için ellerinden geleni yaptılar. Ama bu moralleri yükselten muzaffer insan merakı öyküsüne karşı, aksine bir anlatı halkın dikkatini çekmek için debele niyordu: LHC muhtemelen tehlikeli bir deneydi ve Büyük Patlamayı tekrarlayıp muhtemelen dünyanın sonunu getirecekti.

O sıralarda, şirazesinden çıkmış deli bilgin senaryosu dikkatleri çekme yarışında öne geçmişti. Gazeteciler gerçeği unutup sansasyonel haberlerin peşine düşmüş değillerdi. (En azından çoğunluğu değildi. Birleşik Krallıkta, bulvar gazetesi *Daily Mail*, GELECEK ÇARŞAMBA HEPİMİZ ÖLECEK MİYİZ? diye koca bir başlık atmıştı) Daha çok, “Tanrı Parçacığı” etiketi gibi, felaket senaryoları bütün haber öykülerinin vazgeçilmez bir parçasıydı. *Belki de* LHC’nin yeryüzündeki herkesi öldüreceği fikri bir kez ortaya atılınca, bu çok küçük bir olasılık da olsa, bu insanların sözünün edilmesini arzuladığı bir konu oldu. Kargaşaya bir de kavgacı eski nükleer güvenlik memuru Walter Wagner’ın Hawaii’de LHC’ye karşı hayalperest bir dava açması eklendi. Dava (bariz) yetki alanı gerekçeleriyle mahkemece reddedildikten sonra, Wagner federal mahkemeye başvurdu. Üç yargıçtan oluşan bir panel sonunda 2010 yılında davayı özlü bir kararla reddetti:

Dolayısıyla, iddia edilen zarar, yerkürenin yok olması, hiçbir şekilde Birleşik Devletler hükümetinin bir çevresel etki tebliği oluşturma eksikliğine bağlanamaz.

CERN ve diğer fizik örgütleri temkinli ilerleme gereğini çok ciddiye aldılar, konu üzerine birçok uzman raporu hazırlattılar ve bunların hepsi de felaket riskinin tamamen göz ardı edilebilir olduğu sonucuna vardı. Oliver’ın, Wagner’ın itibarını kendi sözleriyle yerle bir etmesini sağlayan söyleşisi konuya uygun bir yaklaşım sergileyen nadir haber söyleşilerinden biriydi. Comedy Central Channel adlı kanalında yayımlanan bir hiciv-haber programı olan Jon Stewart’ın *The Daily Show*’u içinde yer aldı. Yalnızca bir komedi programı LHC felaketi endişesini olduğu gibi, yani bir fars olarak ele alacak kadar akıllı çıkmıştı.

Fizikçilerin aleyhine çalışan, sıklıkla söyleyeceklerini açıklıkla söylemelerini engelleyen, hassas ve dürüst olma yolundaki doğal eğilimleridir. LHC’nin dünyayı yok edebileceği korkuları kısmen saygın ama çok spekülasyon bazlı kuramlara dayanıyordu. Örneğin, bir LHC parçacık çarpışmasının yüksek enerjilerinde kütleçekim alışıldık olanın çok üzerinde olursa, çok küçük kara delikler oluşması mümkündür. Fizik üzerine tüm bildiklerimiz böylesi bir kara deliğin zararsızca buharlaşacağını söyler. Ama bütün bildiklerimizin yanlış olma olasılığı var. Bu yüzden belki

kara delikler oluşur ve istikrarlı olurlar ve LHC onları üretebilir, onlar da yerkürenin çekirdeğine yerleşerek yavaş yavaş onu içinden yerler ve bu da gezegenin zaman içinde çökmesine neden olur. Bunun fiilen kaç zaman alacağını hesaplayabilirsiniz ve yanıtın da evrenin şu andaki yaşından çok daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Kuşkusuz, hesaplar yanlış olabilir. Ama bu durumda yüksek enerjili kozmik ışınların çarpışmalarının da tüm evrende çok küçük kara delikler ürettiği olması gerekir. (LHC evrenin çok daha yüksek enerjilerde sürekli yaptıklarının dışında bir şey yapmıyor.) Ve bu kara delikler beyaz cücelerle nötron yıldızlarını yutuyor olmalı ama biz gökyüzünde birçok beyaz cüce ve nötron yıldızı görüyoruz, bu yüzden bu da pek doğru olamaz.

Meseleyi anladınız. Bu tema üzerine birçok varyasyon var ama genel örüntü evrensel: tehlikeli gibi gözükken çok spekülatif senaryolarla ortaya çıkabiliriz ama yakından bakınca en tehlikeli olasılıklar başka değerlendirmeler tarafından saf dışı bırakılmışlar bile. Ama bilim insanları hassas olmayı sevdikleri ve birçok farklı değerlendirmeyi göz önünde bulundurdıklarından, bunların hepsinin hiç de olası olmadığını söylemeden önce korkutucu görünen senaryoları sevgiyle elden geçirmeye eğilimlidirler. “Hayır!” demeleri gereken her sefer, “Muhtemelen hayır, olasılıklar gerçekten çok düşük,” demeye eğilimli olurlar ki bunun etkisi aynı olmaz. (Parlak bir karşıörnek *The Daily Show* sırasında LHC’nin dünyayı yok etme olasılığı sorulan CERN kuramcısı John Ellis’in verdiği yanıtıdır: “Sıfır.”)

Buzdolabınızı açıp akşama makarna sosu yapmak üzere domates salçası kavanozuna uzandığınızı düşünün. Panikçi bir arkadaşınız siz daha kavanozun kapağını açmadan kolunuzdan yakalayıp, “Dur, kavanozu açtığında değişime uğramış bir mikrobu hızla yayılıp dünyadaki yaşamı sona erdirmeyeceğinden emin misin?” diye soruyor. Doğrusu, %100 kesinlikle emin olamazsınız. Gündelik yaşamımızda görmezden geldiğimiz her türden birçok mantıksızca düşük olasılıklı felaket senaryosu vardır. LHC’yi devreye almanın yerküreyi yok edecek bir zincirleme etkiyi başlatması olasıdır ama birçok şey daha olasıdır; önemli olan bunların ne kadar olası olduğudur ve bu durumda hiçbirisi değildir.

Kıyamet tellallarına karşı m¼cadelenin fizik camiasına yaradığı ortaya ıktı. Higgs bozonunun aranmasına duyulan ilgi benzersizdi. En iyi olasılıkla diğer bilim insanlarıyla soyut ve hayli teknik fikirleri tartışan bilim insanları dış d¼nyaya berrak ve inandırıcı mesaj oluşturmayı ¼ğrenmek zorunda kaldılar. Uzun vadede bu bilim için iyi haber.

Sosis yapmak

Birçoklarının dev paracak fiziği deneyleri konusunda sahip oldukları yanlış bilgilerin en b¼y¼klerinden biri, veri elde etmekle sonuçları açıklamak arasındaki yolculuktur. Bu kolay bir iş değildir. Bilimde, sonuçların açıklanıp resmileştirilmesinin geleneksel yolu hakemli dergilerde yayımlanan makalelerdir. Bu kuşkusuz ATLAS ve CMS için de geçerlidir ama deneylerin karmaşıklığı esasında yetkin b¼t¼n hakemlerin bizzat deneyleri gerçekleştirenler olmasını getirir. İşlerin bu haliyle başa çıkabilmek için, her deney yeni sonuçların kamuya açıklanması ¼ncesinde uyulacak aşırı katı ve talepkår bir prosed¼r oluşturmuştur.

LHC deneylerindeki binlerce işbirlikçi b¼y¼k ¼l¼de CERN alışanı değildir. alışan tipik bir fizikçi, her ne kadar yılın ¼nemli bir kısmını Cenevre’de geçiriyor olsa da d¼nyanın bir yerlerindeki bir ¼niversite ya da laboratuvarındaki bir ¼đrenci, profes¼r ya da doktora sonrası araştırmacıdır (Doktora sonrası araştırmacılık doktoraıyla bir fak¼ltede ¼đretim g¼revi arasındaki bir araştırma g¼revidir). Çoğunlukla, yayımlanabilir bir makalenin ilk adımı bu fizikçilerden birinin bir soru sormasıdır. Bu kesinlikle bariz bir soru olabilir: “Higgs bozonu diye bir şey var mı?” Daha speķ¼lasyona açık bir şey de olabilir: “Elektrik y¼k¼ gerçekten de sakınılıyor mu?” “¼ kuşaktan fazla fermion var mı?” “Y¼ksek enerjili paracak çarpışmaları minyat¼r kara delikler oluşturur mu?” “Ek uzay boyutları var mı?” Sorular yeni bir kuramsal ¼neri, var olan verilerdeki açıklanamayan bir ¼zellik ya da sadece makinenin yeni becerileri tarafından uyandırılabilir. Deneyciler, en azından faal bilim insanları sıfatlarıyla genellikle ayakları yere basan kişilerdir, bu y¼zden LHC’nin sağladığı verilerin doğurduğu soruları sormaya eğilimli olurlar.

Fikri oluşturan fizikçiler sorularının devamını getirmeye değer olup olmadığına karar vermek amacıyla dostları ve meslektaşlarının bazılarıyla görüş alışverişinde bulunabilirler. Öğrenciseler, genellikle kendi üniversitelerinde profesör olan danışmanlarına başvurabilirler; profesörseler, üzerinde çalışması için bir öğrencilerine devredebilirler. Gelecek vaat edermiş gibi duran bir fikir daha sonra her deneyde var olan “çalışma gruplarından” birine yansıtılır. Farklı çalışma grupları çeşitli ilgi alanlarına adanmıştır: “üst kuarklar” ya da “Higgs” veya “egzotikler.” (Egzotikler piyasadaki spekülatif kuramlardan bazıları tarafından öngörülen ya da hiç kimsenin öngörmediği parçacıkları kapsar.) Çalışma grupları fikir üzerine düşünüp taşınır, ardından gruba önderlik eden “örgütleyici” bu sorunun çözümlenmesinin sürdürülmeye değer olup olmadığına karar verir. Deneyciler, mükerrer çözümlemelerin engellenmesi amacıyla süregiden her çözümlemeyi listeleyen ayrıntılı web sayfaları tutar, internet ağı bu amaçla icat edilmişti.

Bir fikrin ilgili çalışma grubundan onay alması durumunda, çözümleme ilerler. Fizikçinin yaşamı artık bilgisayar başında çalışmayla genellikle video-konferans aracılığıyla gerçekleşen toplantılara katılmak arasında gidip gelir. Çözümleme yapmak bir deneycinin hiç de tek görevi değildir; donanım çalışması da vardır, devam eden deneyin başında “vardiya” tutmak, ders vermek ya da katılmak, konuşma yapmak, ödenek başvurularında bulunmak ve kuşkusuz üniversite yaşamının kaçınılmaz bir parçası olan komitelere katılmak ve bin türlü akademik anlamsızlığın peşinde koşmak da. Ara sıra deneycilerin ailelerini ziyaret etmelerine ya da güneşi görmelerine de izin verilir ama bu türden hafiflikler asgaride tutulur.

Bu noktada, veriler toplanmış ve dünya çapındaki sabit sürücülerde güvenli bir şekilde depolanmıştır; bir çözümlemecinin görevi bu veriyi yararlı fiziksel sonuçlara dönüştürmektir. Bu nadiren bir düğmeyi çevirmekten ibaret kalır. “Kesintilerin” yapılması, gürültülü ya da sorulan soruyla ilgisiz verilerin atılması gerekir. (Belki iki fıskiye içeren olaylara bakmak istiyorsunuzdur ama yalnızca toplam enerjisi 40 GeV’dan yüksek olanlara ve aralarındaki açı en azından 30 derece olanlara.) Sıklıkla ele alınan belli problemi çözmekte yardımcı olacak özel bir yazılım geliştirmek

gerekir. Veri kimi kuramsal beklentilerle karşılaştırılmaması durumunda çok yararlı olmaz, bu yüzden farklı modeller doğrultusunda verinin nasıl görünmesi gerektiğine dair öngörülerin hesaplanması için başka yazılımlar kullanılır. Verilere kesintiler uygulandıktan sonra bile değerli sinyalinizi boğmakla tehdit eden ardaan gürültüsünü tahmin etmek gereklidir, bu da hesaplamalarla başka ölçümler arasındaki git-gelleri içerir. Süreç esnasında görevli çalışma grubuna hem yazılı belgeler hem de video-konferans sunumlarıyla düzenli güncellemeler yapılır.

Er geç bir sonuç elde edilir. Bir sonraki görev işbirliğinin geri kalanını sonuçlarınızın doğru olduğuna ikna etmektir. Huysuz fizikçi kalabalığının başkasının haksız olduğunu kanıtlamaktan daha çok hoşuna gidecek bir şey bulamazsınız. Her proje bir bütün olarak işbirliğinin onayını almadan önce çalışma grubunun “ön onayını” almak zorundadır. Tek işi istatistiklerinizin doğru olup olmadığını denetlemek olan bir komite vardır. Nihai hedef hakemli bir dergide bir makale yayımlamaktır ama yazılı makale nihayetinde yayım komitesince “kutsanmadan” önce işbirliğinde dolaşıma çıkar. Ancak o zaman bir dergiye gönderilir.

Bilim insanı olmayanlar, bir makalenin yazarının fiilen makaleyi yazdığını varsaydıysalar, affedilebilirler. Kuşkusuz, makaleyi yazan bir yazardır ama çalışmaya önemli bir katkısı olan herkes yazarlar listesine eklenir. Deneysel parçacık fiziğinde gelenek işbirliğinin tüm üyelerinin deney tarafından üretilen her makaleye katkıda bulunduklarının tanınmasıdır. Doğru okudunuz: CMS ya da ATLAS’tan çıkan her makalenin üç binden fazla yazarı vardır. Dahası, yazarlar alfabetik sıraya göre sıralanır, bu yüzden dışarıdan bakan birinin çözümlemeyi kimin yaptığını ya da makaleyi fiilen kimin yazdığını anlaması kesinlikle olanaksızdır. Sıradışı olmadığını söyleyemeyiz ama işbirliğinin yayımladıkları her sonucun arkasında durmalarına yardımcı olur.

Genelde, yalnızca makale hazır olduğunda çözümlemenin sonuçları halka açıklanır ve işin içindeki fizikçilerin konu hakkında konuşmalarına izin verilir. Higgs bozonu araştırması tabii ki özel bir durumdur; yıllardır herkes bunun her iki deney için de büyük bir hedef olduğunu biliyordu, başlangıç altyapısı da zamanından önce oluşturulmuştu, bu da veriden açıklamaya olası en hızlı yolun benimsenmesini sağladı. Gene de deneyler verilerin

doğru çözümlenmiş olduğunu doğrulayana kadar bu sonuçların yayılmaması için her türlü çaba harcandı.

Bir fizikçiye ATLAS'ın elde ettiği sonuçları genelde CMS içinde bilinip bilinmediğini ve tersinin de geçerli olup olmadığını sordum. “Şaka mı ediyorsunuz?” dedi gülerek. “Atlas'ın yarısı CMS'in yarısıyla yatıyor. Tabii ki biliyorlar!” işlerine olan insanüstü bağlılıkları bir yana, fizikçiler de insan.

Hata var, hata var

Fabiola Gianotti ve Guido Tonelli'nin Higgs araştırması üzerine Aralık güncellemeleri 2011'de CERN'deki kamu ilgisini çeken tek seminer değildi. O yılın Eylül ayında İtalyan fizikçi Dario Auterio daha çok kötü ünlenecek çarpıcı bir sonuç açıkladı: ışık hızının üzerinde gidermiş gibi görünen nötrinolar. Sonuçlar OPERA deneyinden geliyordu, burada, CERN'de üretilen nötrinolar yerin altında 730 kilometre katettikten sonra İtalya'daki bir dedektör tarafından izleniyorlardı. Nötrinolar çok zayıf etkileşime girdikleri için, kilometrelerce kayalığın içinden ciddi bir yoğunluk kaybına uğramadan geçebilirler, böylece bu türden bir düzenek özelliklerini öğrenmek yolunda eşsiz bir pencere açmış olur.

Sorun çok açıktı: Hiçbir şeyin ışıktan hızlı olmaması gerekir. Einstein bunu bulmuştu ve bu modern fiziğin temel taşlarından birini oluşturan bir ilkedir. Evvelce sayısız kez hassas cihazlarla doğrulanmış bu ilkeyi destekleyen birçok sağlam sav var. Yıkılacak olsa, kuantum mekaniğinin gelişinden bu yana fizikteki en büyük buluş olurdu. Her şeye tamamen sıfırdan başlamamız gerekmezdi ama açıkça yeni doğa yasaları gerekecekti. Endişe uyandıracak bir sonuç, ışıktan hızlı gidebiliyorsak, zamanda geriye de gidebilecek olmamızdır ki bu derhal yeni bir espriler demetine yol açtı. “Barmen dedi ki, ‘biz burada leptonlara hizmet vermiyoruz.’ Bara bir nötrino girer.”

Çoğu fizikçi hemen kuşkulandı. *Cosmic Variance* dergisi içinde şunları yazmıştım: “Bu sonuç üzerine bilmeniz gerekenler şunlardır: 1. Doğruysa muazzam ilginç olur. 2. Muhtemelen doğru değildir.” OPERA işbirliği üyeleri bile buluntularının sonuçları konusunda kuşkuluydu ve fizik camiasından neden

yanlış olması gerektiğini anlamaları yolunda yardım istediler. Kuşkusuz, en güvenli bir şekilde sahiplenilen kuramsal inanışların bile tartışılmaz deneysel sonuçlar karşısında geri adım atması gerekir. Soru şuydu: Sonuçlar ne kadar güvenilirirdi?

OPERA buluntuları istatistiksel açıdan aşırı sağlamdı. Kuramla gözlem arasındaki uyumsuzluk altı sigmanın üzerindeydi, bir keşif ilan etmek için gerekenden daha güçlü. Ama kuşkucular vardı ve onlar haklıydı. Mart 2012’de ICARUS adlı farklı bir deney OPERA buluntularını tekrarlamaya çalıştı ama çok farklı bir sonuç elde etti: Nötrinolar ışık hızı sınırıyla tamamen uyumluydular.

Bu, bizi yoldan çıkarmayı amaçlayan garip bir düşük olasılıklı olaylar dizisi sonucu olmadık şekilde şanslı (ya da şanssız) olduğumuz o durumlardan biri miydi? Hiç de değil. OPERA işbirliği sonunda özgün çözümlemelerindeki önemli bir hata kaynağını buldu, ana saatlerini bir GPS alıcısına bağlayan bir kablo gevşemişti. Hatalı kablo dedektörlerinin ölçtüğü zamanlamada bir gecikmeye yol açmış bu da baştaki anormalliğe neden olmuştu. Arıza giderilince, olay düzeldi.

Buradaki yaşamsal ders, sigmaların her zaman yeterli olmadığıdır. İstatistik verilerinizin farksızlık varsayımıyla uyumlu olma olasılığının ne kadar yüksek olduğuna karar vermenizde yardımcı olur ama yalnızca verileriniz güvenilir olduğunda. Bilim insanları (elinizde yeteri kadar veri olmadığından ya da ölçümlerinizde içkin ama rastgele bir belirsizlik bulunduğu) “istatistiksel hatalardan” ya da (bilinmeyen bir nedenden ötürü veriler düzgün biçimde bir yana doğru kaydığı) “sistemsel hatalardan” söz ederler. İstatistiksel açıdan anlamlı bir sonuç elde etmiş olmanız bunun doğru olduğunu göstermez. Bu LHC’de Higgs bozonunu arayan bilim insanlarının çok ciddiye aldıkları bir derstir.

Olayın bir de daha belirsiz yanı var: OPERA fizikçileri sonuçları dünyaya açıklamakta, hatta bu konuda CERN’de bir basın toplantısı düzenlemekte haklı mıydılar? Her iki taftan da savlar açıklama yapıldığından beri gidip geliyor. Bir yanda, OPERA’nın önderleri iddialarının ne kadar şaşırtıcı olduğunu çok iyi biliyorlardı ve bir şeylerin yanlış olup olmadığını anlaşılabilmesi için diğer bilim insanlarının yardım edebilmesi ama-

cıyla haberi daha fazla yaymanın daha iyi olduğunu düşündüler. Diğer yandan, birçokları bu olay nedeniyle, öncelikle Einstein'ın yanlış olabileceğinin ortaya atılmasıyla, sonradan da bunun bir hata olduğunu kabul edilmesiyle bilimin kamusal imajının sarsıldığını düşündü. Tartışmalı bir durum söz konusuydu; haberlerin hızla yayıldığı kendi içinde bağlantılı bir dünyada, büyük işbirliklerinin şaşırtıcı buluşları uzun süre gizli tutmaları artık mümkün değilmiş gibi duruyor.

Web 2.0

CMS deneyindeki fizikçilerden ve *A Quantum Diaries Survivor* adlı blogun yazarlarından Tommaso Dorigo 2009'da Dünya Bilim Gazetecileri Konferansındaki konuşmasında cesur bir öngöründe bulundu: Higgs bozonunun nihai keşfinin dış dünyaya ilk duyurulması bir bloğa yapılan isimsiz yorum aracılığıyla olacaktı. Sonunda tam olarak haklı çıkmadı ama ucu ucuna.

Higgs bozonu öncesinde, Standart Modeldeki keşfedilen son temel parçacık olan üst kuark 1995'te Fermilab'daki Tevatron tarafından yakalanmıştı. Bu hemen hemen blogların ilk ortaya çıkmaya başladıkları zamana denk gelir; weblog teriminin kullanılması da 1997'yi bulmuştu. Facebook ya da twitter diye bir şey yoktu; şimdi umutsuzca çağdışı damgası yemiş olan MySpace bile 2003'ten önce yoktu. Tevatron'da çalışan fizikçiler başka fizikçilerle iştah açıcı dedikodular paylaşmış olabilirler ama büyük bir keşfin zamanından önce kamuya yansması diye bir tehlike söz konusu değildi.

İşler değişti. İnternette iletişimin kolaylaşmasıyla, herkes haberleri geniş bir şekilde yayabilir, ATLAS ve CMS işbirliklerinin her birinin de üç binin üzerinde üyesi var. Önderleri haberleri ne kadar denetim altında tutmak isterse istesin, her birinin mutlak şekilde büyük bir sonucu kendine saklaması olasılığı gerçekten çok düşüktür.

İtiraf edeyim ki ben de hevesli bir blog taraftarıyım ama insanların yayılmasını istemediği söylentilerin yayılmamasına çalışırım. Daha 2004 yılında *Preposterous Universe* adlı kişisel bir sitede blog işine başladım ve 2005'te şimdi artık *Discover* dergisi altında işleyen *Cosmic Variance* adlı grup bloguna geç-

tim.¹ Blogların güzelliği, yazarın istediği amaçla kullanılabilmesi. Çok çeşitli yazarlar bu özgürlüğü sonuna kadar kullanıyor; yalnızca blogların bilim insanları ve bilim yazarları tarafından yürütülen minik alt kültüründe, örnekler çenebaz ve samimi olanlardan sağlam ve matematiksel olanlara, aralarında katı haberlerden hiciv ve dedikoduya, her şeyi kapsıyor. *Cosmic Variance*'daki hedefimiz bilimdeki ilginç fikirleri ve keşifleri geniş bir okuyucu yelpazesıyla paylaşmak, bu arada merakımızı kurcalayan ne varsa bu konuda düşünüp ahkam kesmektir. En popüler yazılarımızdan bazıları LHC'ye odaklanmıştır, bunlara 2008'deki başlangıç ve 2012'deki Higgs seminerleri üzerine canlı yazılar yazmak için bir grup çabası da dahildir.

Benimle aynı blogda yazanlardan biri de Davis'deki California Üniversitesi'nde fizik profesörü ve CMS'de çalışan bir deneysel fizikçi olan John Conway'dir. (Bir diğeri de JoAnne Hewett'tir) Conway'in "Sıçrayış Avı" başlıklı ilk yazısı faal bir parçacık fizikçi olmanın neye benzediğine dair güçlü bir görüş sunar. Bazen veriler sizi şaşırtabilir ve dünyayı değiştirecek bir keşfe mi denk geldiniz yoksa istatistiksel bir dalgalanmanın kurbanı mı oldunuz, bunu anlamak her zaman kolay olmaz.

Conway Fermilab verilerinde (LHC henüz devreye girmemişti) kişisel gözdesi olan bir tau leptonun ürettiği kanalı kullanarak Higgs bozonunu aramalarının öyküsünü aktarır. Tevatron'daki CDF deneyindeki veriler üzerine kör bir çözümleme yapıyorlardı ve sonunda kutuyu açıp içinde ne olduğunu görme aşamasına geldiler ve yanıt... bir şeyler olduğuydu! İki tau üretme oranında küçük ama göz ardı edilemez bir sıçrama, 160 GeV kütlesine sahip bir Higgs bozonundan bekleyeceğiniz türden bir şey. Yalnızca 2,5 sigma ama bakmaya değer. Küçük sıçramaların çoğu kaybolup gider ama her gerçek keşif küçük bir sıçramayla başlar, bu yüzden bir insan nefes alıyorsa bu durumda heyecanlanır. "Ensemdeki kıllar fiilen ayaklandılar," diye anımsar.

Bunu izleyen yazıda, Conway sonraki çözümlemeden söz eder ve yalnızca sonradan öğrendiği şeyi açıklar: Fermilab'daki "D Zero" adıyla bilinen kardeş deneyde, CDF'de fazlalık görülen

1 Sean Carroll 2012 sonundan beri kendi blogunda yazılarına devam etmektedir: <http://www.preposterousuniverse.com/blog/> -ç.n.

yerde bir eksiklik görülmüştü. Bu yeni bir parçacık bulmuş olma olasılıklarını daha da düşürüyordu. Sonraki veriler oralarda dolanan yeni bir parçacık olması olasılığını desteklemiyordu. Ama bu öykü, bir deneysel fizikçinin yaşamının kaçınılmaz bir parçası olan o duygusal dört nala gidişe muhteşem bir örnektir.

Ne yazık ki herkes bunu böyle yorumlamadı. Talihsiz oranda okuyucu Fermilab'ın aslında Higgs bozonu ya da ona benzer bir şey bulduğunu ve Conway'ın de bilimsel bir makale yazacağı ya da bir basın toplantısı düzenleyeceği yerde bizim mütevazı bloğumuzda yazarak haberi yaymaya karar verdiği izlenimine kapıldı. Bu yanlış izlenim internet sayfamızdaki aşırı hevesli yorumcularla kısıtlı kalmadı; birçok gazeteci de bu olasılığa sarıldı ve bu da *The Economist*, *New Scientist* ve başka yerlerde yayımlanan öyküler doğurdu. Bu fizikçilerin alması gereken başka bir uyarıcı derstir. İnsanlar Higgs bozonu araştırması üzerine herhangi bir şey duymaya çok heveslidir; insanlarda keşfettiğimizden fazlasını keşfettiğimiz izlenimini uyandırmadan heyecanın yerinde kalması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Fizik paparazzisi

Dev parçacık hızlandırıcıları fizikte yenilikler için bakacağımız tek yer değildir. Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics (Karşı-madde Madde araştırması ve Işık-çekirdek Astrofiziği Yüğü) ya da kısaca PAMELA dünyanın alçak yörüngesindeki bir Rus (askerî olmayan) keşif uydusunun sırtına bindirilmiş bir İtalyan kozmik ışın deneyidir. Ana amaçlarından biri kozmik ışınlarda karşı-madde, esas olarak da pozitron ve karşı-proton aramaktır. Bazı karşı-maddeleri görmemiz şaşırtıcı olmaz; dış uzayda, LHC'de de olduğu gibi, ara sıra karşı-parçacıklar üreten yüksek enerjili süreçler yer alır. Şaşırtıcı olan PAMELA'nın beklenenden önemli ölçüde daha fazla pozitron gözlemlemiş olmasıdır. Bu nötron yıldızlarının atmosferlerindeki olaylar gibi bizim şu an için anlamadığımız kimi astrofiziksel süreçlerin var olduğunun işareti olabilir; ya da Standart Modelin ötesinde, kara maddenin fazladan pozitron yok edip üretmesi gibi bir fiziğin varlığının kanıtı. Çeşitli olasılıklar soruşturuluyor ama zaman ilerledikçe astrofiziksel seçenek öne çıkıyor.

Hatta, belki de daha şaşırtıcı olan, PAMELA'nın düşündürücü sonuçlarının nasıl ortaya döküldüğü. Sık sık bir işbirliğinde yayımlanıp dağıtılmaya henüz hazır olmayan ama bir konferans- ta meslektaşlara göstermek için yeterli ön sonuçlar olması doğaldır. 2008 Eylülünde Philadelphia'daki Uluslararası Yüksek Enerji Fiziği Konferansı'nda PAMELA konusunda yaşananlar da budur. PAMELA fizikçisi Mirko Boezio burada pozitron fazlası gösteren bir grafiği kısa süreliğine gösterdi, bu henüz hiçbir yayında yer almayan bir sonuçtu.

Yeterince kısa süre değilmiş. Grafik gösterilirken, dinleyiciler arasında yer alan Marco Cirelli adlı genç bir kuramcı hızlı davranıp dijital fotoğraf makinesiyle bunun bir fotoğrafını çekti. Geri döndüğünde, o ve çalışma arkadaşı Alessandro Strumia fazlalığı açıklayabilecek yeni bir kara madde modeli öneren bir makale yazdılar ve bunu, sonrasında tüm dünyaya yayıldığı <http://arxiv.org> adlı fizik arşiv sunucusuna yüklediler. Makalelerinde modellerinden kaynaklanan kuramsal öngörülerini konferans konuşmasının fotoğrafından çıkarttıkları verilerle karşılaştırdıkları grafikler yarattılar ve şu dipnotla sundular: “yayım politikalarına uymak açısından, çizimlerimizde gösterilen pozitron ve karşı-proton akılarına dair ön veri noktaları konuşma sırasında elde edilen bir fotoğraftan alınmadır.”

Yeni dünyaya hoş geldiniz. Burada kesinlikle bir gri alan söz konusu. İşbirliğinin bir üyesi, yayım için henüz hazır olmayan verilerin hiçbir şekilde kuramsal bir çözümlemede kullanılmaması gerektiğini söyleyebilir. Ama dinleyicilerden birisi de hazır olmayan verilerin halka açık konuşmalarda da kullanılmaması gerektiğini söyleyerek karşılık verebilir. PAMELA'nın önderi İtalyan fizikçi Piergiorgio Picozza verilerinin elde edilip bu şekilde kullanılmasından “çok çok rahatsız” olmuştu. Ama Cirelli konferansa katılmış olan PAMELA fizikçilerinden izin aldığı anda ısrar ediyordu: “[oradaki] PAMELA'cılara sorduk, sorun yok dediler.”

Facebook çağında birçok yeni yetmenin de öğrendiği gibi, modern dünyada kimileriyle paylaştığınız bilgiler herkesle paylaşılmış gibidir. Teknoloji, ne kadar resmî ya da güvenilir olduğuna bakılmaksızın, bilginin yayılmasını zahmetsiz hale getirmiştir. Joe Lykken'in başka bir söylenti hakkında belirttiği gibi,

“Blog öncesi, bu türden söylentiler sadece belki birkaç düzine fizikçiye yayılırdı. Şimdi, bloglarla, Higgs’i telaffuz edemeyecek Sicim Kuramcıları bile [bu] veriler üzerine içeriden bilgiye derhal ulaşabiliyorlar.”

Fısıltılar

Fısıltılar hep zararsız olmuyor. 2011’de, Peter Woit’in bloğu *Not Even Wrong* içinde isimsiz bir yorumcu Sau Lan Wu’nun Wisconsin’deki ekibinden bir ATLAS iç memosu sızdırdı. İçerikler, eğer gerçekse, patlayıcıydı: Higgs benzeri bozonun iki fotona bozunması üzerine güçlü kanıtlar. Ama doğru olamayacak kadar güzeldi; o sıralarda ellerinde bulunan görece az miktarda veriden bu kadar güçlü bir sinyal elde etmek için Higgs bozunma oranlarının Standart Model öngörülerinin otuz katı olması gerekiyordu. Olanaksız değil ama kimsenin beklediği bir şey de değildi. Şaşırtıcı değildir ki, ATLAS onaylanmış ölçümlerle ortaya çıktığında, sinyal ortadan kaybolmuştu.

Bu vaka blogların olumsuz yanlarından birini gösterir. Bunun gibi iç memolar büyük bir işbirliğinin kan damarlarıdır; bir çözümlemenin onaylanmış bir sonuca olgunlaşması yolunda yukarıda betimlenen sürecin bir parçası olarak her zaman yazılırlar. Doğrulanmasından çok önce kamuya açıklanırsa, ciddi bir yanlış anlaşılma tehlikesi söz konusu olur bu da nihayetinde arkasında durduğumuz sonuçlara karşı kamunun güveninin sarılmasıyla sonuçlanır. Wu kızgındı: “Böylesi bir sızıntı tamamen etik dışı ve sorumsuzcadır... Sızıntı iç çalışmaların yazılı biçimde işbirliği içinde dolaşıma sokulma özgürlüğünü zedelemiştir. Benim açımdan, bu aşırı üzücü bir olaydır.”

2012 Haziranı’nda, CMS ve ATLAS yıl içinde o zamana kadar toplayabildikleri verilere dikkatlice bakmaya başladılar. 2011 Aralık seminerlerinden herkes 125 GeV’da Higgs’e dair ipuçları olduğunu biliyordu, bu yüzden anlaşılabilceği gibi meraklar zirvedeydi. Çözümlemeler başlar başlamaz, söylentiler uçuşmaya başladı. Uzun zamandır, Higgs araştırması üzerine güncellemelerin Temmuz’da Melbourne’da düzenlenmesi planlanan ICHEP içinde yapılması planlanıyordu. CERN Melbourne’u beklemeyip bunun yerine hemen öncesinde Cenevre’de özel

seminerler düzenleneceğini açıkladığında dedikodular hareketlendi. Büyük bir şey açıklamaya niyetli değillerse, neden böyle yapıyorlardı?

İşler o kadar kötüye gitti ki, Fabiola Gianotti *New York Times* muhabiri Dennis Overby'a gönderdiği bir e-posta mesajında yalvardı, "Lütfen bloglara inanmayın." Ama Blogcular her telden çalışıyordu ve bazıları da dalgayı büyüteceklerine kesmeye çalışıyordu. Northwestern'de bir fizikçi ve CMS üyesi olan Michael Schmitt, kendi bloğu *Collider Blog* içinde şunları yazmıştı:

Sadakatim kendi işbirliğime, özellikle de çözümlemeyi iletmeye ve sonuçları doğrulamaya çalışanlara olduğu kadar tepede strateji belirlemeye ve zor kararlar alanlara karşıdır. Bir blogdaki küçük bir sıçrama, tüm bu kişilerde yol açacağı sıkıntıya değmez.

İnkâr edilemeyecek gerçek şudur ki, içeride altı bin kişiyle, birileri baklayı ağzından çıkartacaktır, daha baklalar toplanıp sayılmamış olsa da. En sık karşılaşılan blog karşıtı yakınmalardan biri sonuçların zamanından önce değil daha henüz mevcut değilken açıklanmasıdır; çözümleme zaman alır ve genellikle de bir konuşma yapılana ya da bir makale yayıma sunulana kadar hararetle devam eder.

Bu arada, başkaları da bu heyecanı ele alıp biraz eğlenmek için bir fırsata dönüştürdüler. 20 Haziran'da Twitter'daki çeşitli kullanıcılar Higgs üzerine hicivli tweetler dolaştırmaya başladılar. Hatta, #Higgs Rumors hashtagi kısa süreliğine Twitter'da "gözde konu" oldu, bu genellikle *Jersey Shore* ya da Lady Gaga'ya bahsedilen bir onurdur. Bir bilim yazarı ve blog yazarı olan Jennifer Ouellette (aynı zamanda eşim olur) en iyi tweetlerden bazılarını bir blogda topladı:

@drskyskull: Higgs bozonunun bir defasında sırf öldüğünü seyretmek için birini vurduğunu duydum. #Higgs Rumors

@StephenSerjeant: hem ATLAS hem de CMS Higgs avında Chuck Norris tarafından geçildiler. #Higgs Rumors

@treelobsters: Yaz gündönümünde, bir Higgs bozonunu bir ucunda dengeleyebilirsiniz. #Higgs Rumors

@tomroud: Tanrı parçacığı aslında bir ateist. #Higgs Rumors

O sıralarda benim bulduklarımın en güzeli şuydu: “LIFE kahvaltılığı reklamlarından Küçük Mikey Higgs bozonuyla birlikte kola içtiği için öldü. #Higgs Rumors.” Bu muhtemelen her şeyden çok benim komedi becerimi (ve yaşımı) ortaya çıkartıyor.

Hollywood meydanları

Los Angeles bir sanayi kentidir ve sanayi de eğlencedir. 2007 başlarında, buraya taşınmamın üzerinden çok zaman geçmeden sonra, sıradışı bir telefon aldım. Arayan Imagine Entertainment’dı, Ron Howard ve Brian Grazer’ın işlettiği prodüksiyon şirketi (*Apollo 13*, *A Beautiful Mind*, *The Da Vinci Code*). Film yapımcıları Dan Brown’ın kitabına dayanan *Angels & Demons* filminin hazırlık aşamasındaydılar, filmde de CERN’de geçen önemli sahneler söz konusuydu. Beverly Hills’deki ofislerine uğrayıp parçacık fiziği üzerine sohbet edip edemeyeceğimi sordular.

Programıma sığdırabileceğimi söyledim. Bu, benim az bilinen bir gerçekle ilk tanışmamdır: Hollywood bilimi sever.

Filmlerle televizyon programlarının feci bilimsel yanlışlar yaptıkları ve genelde bilim insanlarını ya asosyal aptallar ya da dünyaya hükmetmeye eğilimli deli dâhiler olarak gösterdikleri yolundaki alışıldık basmakalıbın tam tersi geçerliydi. Kuşkusuz bunlara da birçok örnek var ama çoğu yazar ve yönetmende anlatmak istedikleri öyküleri iyileştirmek amacıyla düzgün bilim kullanmaya da bir ilgi mevcut. Howard ve Grazer kozmoloji, karşı-madde ve Higgs bozonuna samimi bir ilgi duyuyorlardı ve fiziği filme dahil etme konusunda sohbet ettiğimiz bir yemek paylaştık. Daha sonraları eşim Jennifer, bilim insanlarıyla Hollywood arasındaki etkileşimleri iyileştirmeye çalışan Ulusal Bilimler Akademisi’nin bir girişimi olan Bilim ve Eğlence Değişiminin ilk direktörü oldu. Değişim aracılığıyla Ridley Scott, Michael Mann ve Kenneth Branagh gibi film yapımcılarıyla karşılaşma fırsatım oldu; hepsi de ek boyutlar, zaman yolculuğu ve Büyük Patlama üzerine bir şeyler öğrenmek istiyorlardı. Büyük bütçeli Hollywood filmleri dokümanter ya da bilim adına kamu hizmeti bildirileri olmayı amaçlamaz; öykünün nasıl anlatılacağı her zaman önceliklidir ve bilim insanlarından gelen öneriler her zaman nihai ürüne dahil olmayabilir.

Ama beyazperdede masallar anlatan birçok saygın profesyonel altta yatan bilimsel keşifleri takdir ederler.

Diğer yandan, bilim de kendi davasını savunmak için Hollywood'a gitmeye karşı değildir. 2008 yılında ATLAS'da çalışmak için CERN'de zaman geçiren bilim yazarı Kate McAlpine "Large Hadron Rap" başlıklı bir YouTube videosu yayınladı. Performansta LHC deneylerinin önünde dans eden fizikçiler görünüyor, McAlpine de ardalandaki tempoya uyumlu şekilde fizik temalı sözleri olan bir rap şarkısı seslendiriyor:

*Yirmi yedi kilometre tünel yeraltında
Protonları dolandırmak için tasarlanmış
İsviçre ve Fransa'yı kateden bir daire
Altmış ülke bilimin ilerlemesine katkıda bulunuyor
İki proton ışını etrafını dönüyor, halkada yolculuk ediyor
Dedektörlerin bağrında çarpışana kadar
Ve çok küçük bir yere tıkıştırılmış tüm bu enerji
Kütle oluyor, vakumdan yaratılan parçacıklar
Ve sonra...*

Yedi milyon kişi seyrettiğine göre, videonun etkili olduğu açık. Dünyanın gördüğü herhangi bir saçma konuda YouTube videosu eksik değil; bir nedenle, bu diğerlerinin önüne çıkmış. Bu insanların, komik bir şekilde sunulduğunda esrarlı bilimsel sorunlara da ilgi gösterebileceklerinin bir işareti.

Bu doğrultuda en ihtiraslı proje Johns Hopkins Üniversitesi'nde bir parçacık fizikçisi olan David Kaplan'ın eseridir. Kaplan'ın gündüz işi LHC ve diğer deneylerde teste tabi tutulabilecek modeller inşa etmektir ama uzun süredir film yapımına ilgi duymaktaydı. Bir lise öğrencisi olarak akademik açıdan hevesiz olduğunu ve üniversiteye başvurmadığını bile anımsar. Kız kardeşi, ona söylemeden onun adına California Chapman Üniversitesi'ne bir başvuru göndermiş. Herkesi şaşırtarak, başvurusu kabul edilmiş ve bir yılını orada film anadalında geçirmiş. Bunu meşrebine göre bulmamış ve sonunda UC Berkeley'ye transfer olup fizik okumuş. Kısmen Berkeley'deki notlarının çok düşük olması nedeniyle kabul edilmeyeceğini düşündüğünden, kısmen de ona bir referans mektubu yazacak kimse bulamayaca-

ğını düşündüğünden lisansüstüne hemen başlamamış. Bunun yerine Kaplan Seattle'a taşınmış ve Washington Üniversitesi fizik öğrencilerine dışarıdan ders vererek hayatını kazanmış. Yeteri kadar öğrenci onu UW'deki lisansüstü öğrencileriyle olumlu anlamda karşılaştırdınca, sonunda oradaki Doktora programına kabul edilmiş. İyi biten her şey iyidir; şimdi o fiziği Standart Modelin ötesine götürmeye çalışan yeni genç parçacık fizikçileri kuşağının önderlerinden biridir.

LHC çağı yavaşça bize doğru gelirken, Kaplan zamandaki bu anın eşsiz anlamından etkilendi. Bunun bilim tarihinde bir ya hep ya hiç anı olduğuna dair düşüncelerini arkadaşlarıyla paylaştı; LHC ilginç bir şey bulursa, bu bizi yeni bir keşifler güzergâhına sokacaktı. Bulamazsa, modern parçacık fiziğinin olağanüstü yüksek maliyetleri bunun inşa edilen son parçacık hızlandırıcısı olduğu anlamına gelebilirdi. Kaplan bu yüksek pey sürülen dramın titizlikle belgelenmesi gerektiğine kani oldu. Parçacık fizikçileriyle, hem doğanın nasıl işlediğine dair bazı fikirler üzerine kariyerler inşa edip bunların doğrulanması ya da buruşturulup atılmasını görmek isteyen deneyimlilerle hem de LHC'nin ortaya çıkartıp çıkartmadıklarıyla yüzleşmek zorunda kalacak olan gençlerle mülakatlar gerçekleştirecek ve bunu bir kitap haline getirecekti.

Sorun, bilimsel makaleler konusunda bile Kaplan'ın muazzam çalışkan biri olmasıydı. Çözüm barizdi: Bir kitap yazacağına, bir film yapacaktı. *Particle Fever* (Parçacık Ateşi) doğmuştu.

Yeni bir öğretim görevlisi olarak Kaplan, Alfred P. Sloan Vakfından küçük bir burs elde etmişti. Genellikle böylesi burslar bilgisayarlar, yolculuk masrafları ya da lisansüstü öğrencilerinden belli bir yardım almakta kullanılır. Aksine, Kaplan bir TV yönetmeninin fikriyle ilgilenmesini sağladı ve bu ikisi parayı, normal boyutlarda bir dokümanter yaratmak için gerekli parayı toplamakta kullanılacak beş dakikalık klip çekmek için harcadılar. Özgün bütçeleri 750.000 dolardı (sonradan yükseldi) ve gerçek çalışma başladı: para toplamak, editörler ve yazarlarla anlaşmak, para toplamak, fizikçilerle mülakatlar gerçekleştirmek ve para toplamak. CERN'deki fizikçilere küçük yüksek çözünürlüklü kameralar verdiler, onlar da 2008'deki başlangıç ve sonrasındaki kaza gibi can alıcı olayları kaydettiler. Kaplan da projeye önemli oranda

zaman harcadı. Ücret almadı ve bir noktada işi sürdürebilmek için ailesi ona 50.000 dolar borç vermek zorunda kaldı.

Proje yoğun ilgi gördü. Johns Hopkins'ın gelişme bürosu üniversitenin yönetim kuruluna filmin bir klipini gösterdi, aralarından biri derhal destekte bulundu. Birleşik Devletler'deki temel araştırmaların büyük bölümünü destekleyen ve bilim insanlarını sürekli kamusal destek çalışmalarına katılmaları için zorlayan Ulusal Bilim Vakfı araştırmacılarından birinin kamusal destek çalışmalarını ciddiye aldığını görmekten heyecan duydu ve önemli bir destek sağladı. George Lucas ve Francis Ford Coppola'yla çalışmış olan ve birçok Oscar kazanmış olan saygın Hollywood editörü Walter Murch filminden büyüledi ve normal fiyatının çok altında bir ücretle çalışmayı önerdi.

Tüm süreç esnasında, Kaplan'ın hedefi bilim insanlarını, evreni herkesin evvelce anladığından biraz daha fazla anlamaya iten idealist ateşi yakalamaktı. Duygusal peyler yüksekti; fizik deneysel bir bilimdir ve dünyanın en parlak kuramcıları da önerdikleri kuramların doğanın seçtiği güzergâh olmadığı anlaşıldığında pek bir şey elde edemezler. Kaplan'ın sözcükleriyle,

Nihayetinde, bu inanılmaz kahramanca bir çabadır ve farklı egolarla, yoğunlukla ve belki de aşırı özgüvenle yüklüdür. Ama anladığınız, insanların kendi kendilerini kandırıyor olduklarıdır. Bilim insanları, olabildiğince fazla çalışabilmek ve devam edebilmek için beyinlerinde bir dünya yaratırlar, ama bunun tam bir başarısızlık olabileceğini de bilirler. Tüm kariyerleri tamamen alakasız hale gelip çöpe atılabilir.

2012 yılı ortası itibarıyla *Particle Fever* tamamlanmak üzereydi ve ekip Ocak 2013'te Sundance Film Festivali için seçilmeyi umuyor. Uygun biçimde, çılgınca ihtiraslılar ve LHC'yi kitlelere eriştirecek olası geniş bir salon açılışı umuyorlar. Bu başarılı olursa kuşkusuz LHC çağının şafağında fizikçilerin hem heyecanına hem de asabiyetine tanıklık edecek eşsiz bir belge yaratmış olacaklar.

David Kaplan da bir kez daha tam zamanlı olarak kendini fiziğe verebilecek. Bu süreç ne kadar ilginç ve yenilikçi olursa olsun, bu yakınlarda iş değiştirme tehlikesi söz konusu değil:

Bir film yapmak feci bir deneyim. O kadar mantıksız ki, bir de ego var, insanlar hiçbir anlamı olmayan şekilde savlar öne sürüyorlar. Nefret ediyorum... Fiziği seviyorum.

NOBEL RÜYALARI

Burada, “Higgs” mekanizmasının nasıl icat edildiğinin büyüleyici öyküsünü aktarıyoruz ve tarihin bunu nasıl anımsayacağı üzerine düşünüyoruz.

Sene 1940, Almanya Danimarka'yı henüz istila etmiş. Kuantum mekaniğinin kurucularından ve Kopenhag Kuramsal Fizik Enstitüsü'nün direktörü Niels Bohr'un elinde ne pahasına olursa olsun Nazilerden gizlemesi gereken iki parça kaçak eşya var: Nobel Ödülü'nün kazanılmasına eşlik eden iki altın madalya. Bunları yaklaşan ordudan nasıl uzak tutabilirdi?

Bohr 1922'de Nobel'i kazanmıştı ama madalyalar onun değildi; daha önce, Finlandiya'daki direniş kuvvetlerine finansman sağlamak üzere kendi madalyasını mezada koymuştu. Bunlar (üzerlerinde isimleri kazanmış olan) madalyalarını Nazilerin elinden kurtarmak amacıyla yasa dışı bir şekilde ülke dışına kaçırmış olan Max von Laue ve James Franck'a aitti. Bohr arkadaş kimyacı George de Hevesy'ye başvurdu, onun da aklına parlak bir fikir geldi: madalyaları asitte çözdüreceklerdi. Altın kolay çözülmez, bu yüzden bilim insanları aqua regia'ya [kral suyu ya da altın suyu –ç.n.] başvurdular, bu nitrik asitle hidroklorik asidin karışımından oluşan hayli korozif bir sıvıydı, “asil” metalleri çözdürmesiyle ünlüydü. Aqua regia'ya yerleştirilen Nobel madalyaları bir öğleden sonrasında kademeli şekilde çözüldüler, atomlarına ayrıldılar ve karışımın içinde asılı kaldılar. Ortalığı karıştırıp kuşkulu saklı hazineler arayan askerler,

benzer yüzlerce şişenin arasına karışmış masum görünüşlü iki şişe görecekerlerdi.

Hile işe yaradı. Savaş sonrasında bilim insanları de Hevesy'nin karışımından çıkartarak altını kurtardılar. Bohr metali Stockholm'deki İsveç Kraliyet Bilimler Akademisi'ne ulaştırdı, onlar da von Laue ve Franck'ın madalyalarını yeniden döktüler. 1943'te İsveç'e kaçan de Hevesy de 1944'te Nobel Kimya Ödülü'nü aldı ama kaçak mal saklamakta yeni teknikleri bulduğu için değil, kimyasal tepkimeleri izlemede izotopları kullandığı için.

Bariz olmadıysa söyleyelim, insanlar Nobel Ödülü'nü çok ciddiye alırlar. On dokuzuncu yüzyılın sonunda, dinamitin kâşifi kimyacı Alfred Nobel her yıl verilmek üzere Fizik, Kimya, Fizyoloji ya da Tıp, Edebiyat ve Barış ödülleri oluşturdu. (1968'de başlayan Ekonomi ödülünü başka bir örgüt düzenlemektedir.) Nobel 1896'da öldü ve vasiyetinin uygulayıcıları önemli servetinin %94'ünü ödüllerin verilmesi için bağışladığını görünce çok şaşırdılar.

O zamandan beri, Nobel Ödülleri bilimsel tanınmanın doruğu olarak kabul edilmiştir. Bu bilimsel "başarıyla" aynı şey değildir, Nobellerin hayli belirgin kıstasları vardır ve ödüllerin gerçekten önemli bilimsel keşiflerle ne kadar uyduğu konusunda da bitmez tükenme tartışmalar yaşanır. Nobel'in özgün vasiyeti ödüllerin "önceki yıl insanlığa en büyük katkıda bulunanları" ve fizik ödülü özelinde de "fizik alanında en önemli 'keşif' ya da 'icad' gerçekleştiren kişiyi" hedeflemesini öngörür. Bir dereceye kadar bu talimatlar göz ardı edilir; ilk ödüllerden bazılarının sonradan hatalı olduğu anlaşılan buluşlara verilmesinin ardından artık hiç kimse ödüllerin önceki yıl gerçekleşen işlere verildiğini iddia etmiyor. Yaşamsal önemde olan, bir "keşifte" bulunmanın dünyanın önde gelen bilim insanlarından biri olarak tanınmakla aynı şey olmaması. Bazı keşifler bir şekilde kazara, daha sonra alandan ayrılan kişiler tarafından gerçekleştirilir. Bazı bilim insanları da yaşamları süresince muhteşem çalışmalar gerçekleştirir ama Nobel düzeyine yükselen tek bir çalışmaları yoktur.

Nobel seçimlerini kısıtlayan başka kıstaslar da vardır. Ödüller ölümünden sonra verilmez ama ödül sahibi ödül belirlendikten sonra ama açıklanmadan önce ölürse ödül verilir. Fizik için

önemli olan, herhangi bir yılda üç kişiden fazlasına verilmez. Örneğin Barış ödülünün aksine, Fizik ödülü bir örgüt ya da işbirliğine verilmez; üç ya da daha az kişiye verilir. Bu Büyük Bilim alanında büyük bir zorluktur.

Kuramsal katkılara gelince, akıllı olmak hatta haklı olmak yetmez. Hem haklı olmanız hem de kuramınızın deneylerce doğrulanması gerekir. Stephen Hawking'in bilime en önemli katkısı kara deliklerin kuantum mekaniğinin etkileri nedeniyle ışınlam yayıyor olduğunun idrak edilmesidir. Fizikçilerin büyük çoğunluğu haklı olduğuna inanır ama şu aşamada bu tamamen kuramsal bir sonuçtur; buharlaşan bir kara delik gözlemlenmedi ve eldeki teknolojilerle de bunu gerçekleştireceğimiz umut vaat eden bir yol yok. Muhtemelen Hawking inanılmaz etkileyicilikteki katkılarına karşın hiç Nobel Ödülü alamayacak.

Dışarıdan bakanlarda, bazen araştırma yapmanın amacının Nobel Ödülü'nü kazanmak olduğu izlenimi uyanır. Bu doğru değildir; Nobel bilimdeki önemli anları yakalar, ama bilim insanları birbiri üzerine biriken büyüklü küçüklü birçok katkıyı içeren zengin bir ilerleme mozaığının varlığını kabul ederler. Gene de kabul edelim ki, Nobel'i kazanmak önemlidir ve fizikçiler kuşkusuz günün birinde hangi keşiflerin bunu hak edeceğinin hesabını tutarlar.

Kuşkusuz Higgs bozonunu keşfetmenin Nobel Ödülü'ne layık olacak türde bir gelişme olduğu tartışılmaz. Başlamışken, başlangıçta Higgs'i öngören kuramı icat etmek de kuşkusuz ödüle değerdir. Ama bu illaki de bir ödülün verileceği anlamına gelmez. Kim kazanabilir? Nihayetinde, önemli olan ödüller değil bilimdir; ama Higgs bozonunun ardındaki fikirlerin büyüleyici tarihine ve fizikçilerin bunu aramaya nasıl koyulduklarına bakmak için bize bir bahane verir. Bu bölümün hedefi kesin bir tarih anlatmak ya da hangi ödülü kimin hak ettiğini gerekçelendirmek değil. Tam tersi: Fikirlerin zaman içinde nasıl geliştiğine bakarsak, Higgs mekanizmasının, bilimdeki bütün büyük fikirler gibi nihai yanıtı giden birçok yaşamsal önemde adımı içerdiği görülecektir. Bir ödülü hak eden üç (ya da daha az) insanla hak etmeyen birçokları arasına parlak bir çizgi çekmek, haber değeri yüksek görünse de gelişmenin gerçekliğine çok büyük haksızlık olur.

Bu bölümde gelişmenin tarihini yerine oturtmaya çalışacağız ama bu kadar kısa bir anlatı mecburen eksik kalacaktır. Ama tarih için, ayrıntılar genellikle önemlidir. Dolayısıyla kitabın geri kalanıyla karşılaştırıldığında bu bölüm teknik ayrıntılara biraz daha fazla girecek. Biraz büyüleyici fizik ve zorlu insani dramı atlamak sizi üzmezse, burayı atlayabilirsiniz.

Süperiletkenlik

Sekizinci Bölümde simetrilerle doğanın kuvvetleri arasındaki derin bağlantıyı inceledik. Bir “yerel” ya da “ayar” simetrisi yani uzayın her noktasında bağımsız olarak işleyen bir simetri varsa, bu illaki de bir bağlantı alanıyla gelir ve bağlantı alanları da kuvvetleri doğurur. Hem kütleçekim hem de elektromanyetizma böyle işlerler ve 1950’lerde Yang ve Mills bu fikri doğanın diğer kuvvetlerine de uygulamak için bir yol önerdiler. Wolfgang Pauli’nin şiddetle belirttiği gibi, sorun altta yatan simetrinin hep kütsüz bozon parçacıklarıyla ilişkili olmasındaydı. Simetrilerin gücü kısmen de buradan gelir: Parçacıkların sahip olabilecekleri özelliklere zorlayıcı kısıtlamalar getirirler. Örneğin elektromanyetizmanın altında yatan simetri elektrik yükünün kesinlikle sakınılmasını gerektirir.

Ne var ki kütsüz parçacıklar tarafından yönetilen kuvvetler, o sıralarda herkesin bildiği kadarıyla, sonsuz mesafelere yayılır ve saptanmaları çok kolay olmalıdır. Kütleçekim ve elektromanyetizma bariz örneklerdir ama çekirdek kuvvetleri farklı gibi duruyordu. Bugün yeğin ve zayıf etkileşimlerin de kütsüz parçacıkların farklı nedenlerle bizden gizlendiği Yang-Mills türü kuvvetler olduklarını kabul ediyoruz: Yeğin kuvvette gluonlar kütsüzdür ama hadronların içinde kapalıdır, zayıf kuvvete gelince, W ve Z bozonları dolaysız simetri bozulması nedeniyle kütleli hale gelirler.

1949’da Amerikalı fizikçi Julian Schwinger simetrilere dayanan kuvvetlerin her zaman kütsüz parçacıklar tarafından taşınacağı yolunda bir sav öne sürmüştü. Ama konu üzerine düşünmeyi sürdürdü ve 1961’de savının o kadar da sağlam olmadığını fark etti: ayar bozonlarının kütle sahibi olmasına yer bırakan bir gedik vardı. Bunun fiiliyatta nasıl olabileceğini bilemiyordu ama önceki

hatasına dikkat çeken bir makale yazdı. Schwinger fizik araştırmalarında olduğu kadar kişisel tarzının da zarif ve hassas olmasıyla ünlüydü. Sin-Itiro Tomonaga'yla birlikte 1965'te Nobel Ödülü'nü paylaştıkları Richard Feynman'la bir tezat oluşturuyordu. Feynman gürültücü samimi kişiliği ve fiziğe sezgisel yaklaşımıyla tanınırken, Schwinger eksiksiz titizliğe ve kuralcılığa sahipti. Geleneksel aklın iyice kabul görmüş bir parçasındaki bir hataya dikkat çeken bir makale yazdığına, ciddiye alınıyordu.

Sorun ortadaydı: Kuvvet taşıyan bozonların kütle sahibi olmalarını sağlayan neydi? Yanıt biraz da beklenmeyen bir kaynaktan geldi: parçacık fiziğinden değil, malzemelerin ve özelliklerinin incelemesinden oluşan yoğun madde fiziğinden. Özellikle, LHC'deki mıknaatıslar gibi elektriğe direnç göstermeyen malzemeler olan süperiletkenler kuramından ödünç alınan sezgilerden.

Elektrik akımı bir ortamdaki elektronların akısıdır. Sıradan bir iletkende, elektronlar atomlarla başka elektronlara toslarlar bu da akıya direnç oluşturur. Süperiletkenler, sıcaklık yeterince düşük olduğunda akımın engellenmeden aktığı malzemelerdir. İlk iyi süperiletken kuramı Sovyet fizikçiler Vitaly Ginzburg ve Lev Landau tarafından 1950'de oluşturulmuştur. Özgül bir alan türünün süperiletkene yayıldığını ve bunun da normalde kütesiz fotona kütle kazandırmaya yaradığını önerdiler. İllaki de doğanın yeni bir temel alanının olduğunu değil, elektronların, atomların ve elektromanyetik alanların birleşik bir hareketini düşünüyorlardı, bir ses dalgasının bir temel alanın titreşiminden değil, havada birbirlerine toslayan atomların ortak hareketinden kaynaklanması gibi.

Her ne kadar Landau ve Ginzburg süperiletkenlikten bir tür alanın sorumlu olduğunu düşünüyorlarsa da bu alanın ne olduğunu belirtmemişlerdi. Bu adımı 1957'de süperiletkenliğin "BCS kuramını" geliştiren Amerikalı fizikçiler John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer attılar. BCS kuramı yirminci yüzyıl fiziğinin kilometre taşlarından biridir ve kesinlikle bir kitabı hak eder. (Bu kitap o kitap değil.)

BCS Cooper'ın bir fikrini, çok düşük sıcaklıklarda parçacık çiftlerinin bir araya gelebileceklerini ele aldı. Landau ve Ginzburg'un önerdiği o esrarlı alanı oluşturan işte bu "Cooper çiftleriydi." Tek bir elektron çevresindeki atomlara toslayıp

sürekli dirençle karşılaşırken, bir Cooper çifti öyle bir akıllıca şekilde bir araya gelir ki, her elektronun tabi olduğu itme diğerine eşit ve aksi bir çekme uygular (ya da tersi). Bunun sonucunda, çiftleşmiş elektronlar süperiletkende etkilenmeden kayıp giderler.

Bu fotonların süperiletkenin içinde fiilen kütleli olduğu olgusuyla doğrudan ilişkilidir. Parçacıklar kütesizken, enerjileri hızlarıyla doğrudan orantılıdır ve sıfırla tasavvur edebileceğiniz herhangi bir rakam arasında değişir. Aksine, kütleli parçacıklar sahip olabilecekleri asgari enerjiyle başlarlar: $E = mc^2$ olarak verilen, durağan haldeki enerjileri. Hareket halindeki elektronlar malzemedeki atomlar ve diğer elektronlar tarafından iteklendiklerinde elektrik alanları hafifçe titreşir, bu da normalde fark edemeyeceğiniz çok düşük enerjili fotonlar yaratır. İşte elektronların enerji kaybedip yavaşlamalarını ve akımı düşürmelerini sağlayan bu sürekli foton yayımıdır. Landau-Ginzburg ve BCS kuramlarında fotonlar kütle kazandıklarından, bunları yapmak için gerekli asgari bir enerji vardır. Yeteri kadar enerjiye sahip olmayan elektronlar foton yapamazlar, dolayısıyla da enerji kaybedemezler: Cooper çiftleri malzemenin içinden sıfır dirençle kayarlar.

Elektronlar, tabii ki fermiondurlar, bozon değil. Ama Cooper çiftleri oluşturmak üzere bir araya geldiklerinde sonuç bir bozon oluşturur. Bozonları, madde alanları olup uzayda yer kaplayan fermionların aksine üst üste binebilen kuvvet taşıyıcısı alanlar olarak tanımlamıştık. Ek Bir içinde ele aldığımız gibi, alanlar aynı zamanda bozonlarla fermionların ayırt edilmelerini sağlayan ve “spin” adı verilen bir özelliğe sahiptirler. Tüm bozonların tam sayı spinleri vardır: 0, 1, 2... Fermionlar ise tam sayı artı yarım spine sahiptir: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$... elektron $\frac{1}{2}$ spine sahip bir fermiondur. Parçacıklar bir araya geldiklerinde spinleri toplanır ya da çıkartılır; bu yüzden iki elektrondan oluşan bir çiftin spini ya 0 olur ya da -1, tam bozon oluşturacak bir değer.

Bu giriş aslen kuantum mekaniksel bir şekilde bir arada hareket eden çok türde parçacık üzerine zengin bir öyküsü olan Landau-Ginzburg ve BCS kuramlarına karşı hayli haksızlık eder. Ama amaçlarımız açısından, alınacak ders basittir: uzaya yayılan bir bozon alanı fotonlara kütle kazandırabilir.

Kendiliğinden simetri bozulması

Bu son ifade Higgs fikrine hayli yakın görünür. Ama bir bilmece yerinde duruyor: Fotonların bir süperiletken içinde kütle sahibi oldukları fikrini elektromanyetizmanın altta yatan simetrisinin fotonları kütesiz olmaya zorladığı inancıyla nasıl uzlaştıracağız?

Bu sorunlarla, aralarında Amerikalı fizikçi Philip Anderson, Sovyet fizikçi Nikolay Bogolyubov ve Japon-Amerikalı fizikçi Yoichiro Nambu da bulunan birçok kişi uğraştı. Anahtarın, simetrinin orada olduğu ama süperiletkende sıfır dışı bir değer kazanan bir alan tarafından *gizlenmesi* olduğu ortaya çıktı. Bu olguya eşlik eden jargona göre, simetri “kendiliğinden bozulmuştur” deriz: Simetri altta yatan denklemlerde mevcuttur ama bu denklemlerin bizim ilgilendiğimiz tikel sonuçları pek simetrik gözükmezler.

Yoichiro Nambu, 2008’de Nobel Ödülü kazanmasına ve yıllar boyunca başka ödüllerle onurlandırılmış olmasına karşın, fizik dışında görece tanınmamış bir kişidir. Çok yazık, çünkü katkıları o daha iyi tanınan meslektaşlarınıninkilerle karşılaştırılabilecek düzeydedir. Parçacık fiziğinde kendiliğinden simetri bozulmasını ilk anlayanlardan biri olmakla kalmaz, kuarkların renk sahibi olduklarını ve gluonların varlığını öneren ilk kişi olmasının yanında, bazı parçacık özelliklerinin parçacıkların aslında minik sicimler olduğunun tasavvur edilmesiyle açıklanabileceğine ilk dikkat çeken ve dolayısıyla da Sicim Kuramını başlatan da o olmuştur. Kuramsal fizikçiler Nambu’nun başarılarını çok takdir eder ama onun yönelimi, spot ışıklarından kaçmak yönünde olmuştur.

Chicago Üniversitesi’nde öğretim görevlisi olduğum sıralarda Nambu’nun ofisi benimkinin bulunduğu koridordaydı. Pek etkileşimimiz olmadı ama olduğunda şaşmaz şekilde zarif ve nazikti. Onunla en önemli karşılaşmamız, bir gün kapımı çaldığında gerçekleşti, kuram grubu bilgisayarlarındaki, öngörülemez zamanlarda devre dışı kalan e-posta sistemi konusunda ona yardım edebileceğimi sanıyordu. Pek yardımcı olamadım ama durumu filozofça karşıladı. Chicago’daki başka bir kuramcı olan Peter Freund Nambu’yu bir “sihirbaz” olarak nitelendirir: “Aniden şapkasından bir dizi tav-

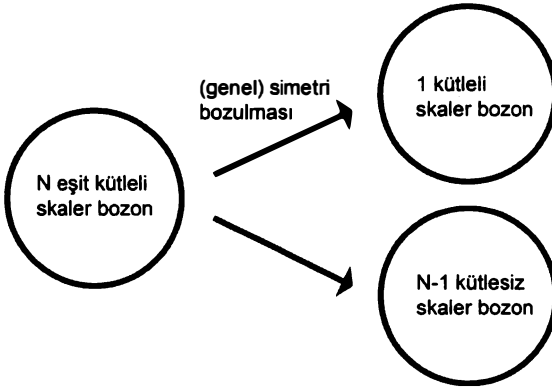
şan çıkartır ve siz ne olduğunu anlayamadan, tavşanlar yepyeni bir kurulumda diziliverirler ve bir bakarsınız o pufuduk tüylü kuyruklarında olanaksız dengelemişler.” Ama çok gelişmiş etiket duygusu kısa süreliğine bölüm başkanı olduğunda ona ihanet etmişti: Herhangi bir soruya açıkça hayır demeye çekindiğinden, olumsuz görüşünü evet demeden önce duraklayarak gösteriyordu. Taleplerinin aslında kabul görmediğini fark ettiklerinde bu meslektaşlarında belli bir şaşkınlığa yol açıyordu.

BCS kuramının önerilmesinin sonrasında, Nambu olguyu bir parçacık fizikçisinin perspektifinden incelemeye koyuldu. Kendiliğinden simetri bozulması tarafından oynanan kilit role parmak bastı ve bunun daha geniş uygulanabilirliği üzerine düşünmeye başladı. Nambu’nun buluşlarından biri de (kısmen İtalyan fizikçi Giovanni Jona-Lasinio’yla işbirliği halinde) bir süperiletkenin içinde olmanız bile kendiliğinden simetri bozulmasının nasıl gerçekleşebileceğini göstermekti. Boş uzayda, sıfır olmayan değerde bir alanın varlığında da gerçekleşebilirdi, Higgs alanının açık bir habercisi. İlginçtir, bu kuram aynı zamanda bir fermion alanının nasıl kütesiz olarak başlayıp simetri bozulması süreci esnasında kütle kazandığını da gösterir.

Parlak olmasına karşın, Nambu’nun kendiliğinden simetri bozulması önerisinin bir bedeli vardı. Onun modelleri fermionlara kütle kazandırmakla birlikte, aynı yeni bir kütesiz bozon parçacığı öngörüyorlardı, tam da parçacık fizikçilerinin savuşturmaya çalıştıkları şey, çünkü çekirdek kuvvetlerinin yarattığı böyle bir parçacık görmemişlerdi. Bunlar ayar bozonu değildi, çünkü Nambu yerel değil genel simetrilerin kendiliğinden bozulmasını düşünüyordu; bunlar yeni bir tür kütesiz parçacıklardı. Hemen ardından, İskoç fizikçi Jeffrey Goldstone bunun sadece bir can sıkıntısı olmadığını öne sürdü: Genel bir simetriyi kendiliğinden bozmak her zaman kütesiz parçacıkları doğuruyordu, bunlara artık “Nambu-Goldstone bozonları” deniyor. Pakistanlı fizikçi Abdus Salam ve Amerikalı fizikçi Steven Weinberg o zaman bu savın artık “Goldstone kuramı” olarak bilinen kusursuz bir ispat gibi duran haline getirilmesinde onunla işbirliğinde bulundular.

Herhangi bir bozulan simetri kuramına sorulması gereken soru, “simetriyi bozan alan hangisidir” olacaktır. Bir süperilet-

ken içinde bu görevi elektronların bileşik durumları olan Cooper çiftleri üstlenir. Nambu-Jona-Lasinio modelinde, benzer bir etki bileşik nükleonlarla gerçekleşir. Ama Goldstone'un 1961 makalesiyle başlayarak fizikçiler, işlevi boş uzayda sıfır olmayan değerler olarak simetrileri bozmak olan bir dizi yeni temel bozon alanı önerme fikrinden rahatsız olmamaya başladılar. Gereken bu tür alanlar "skaler" alanlar olarak bilinir, bu da asli bir spinlerinin olmadığını söylemenin bir yoludur. Öte yandan, bozon olmalarına karşın kuvvet taşıyan ayar alanları 2 spine sahip graviton dışında 1 spine sahiptirler.



Şekil 20: Bir genel simetri kendiliğinden bozulursa olanlar. Simetri bozulması olmadan, belli bir N sayısında eşit kütleli skaler bozonlar olacaktır. Simetri bozulduktan sonra, biri dışında hepsi kütsüz Nambu-Goldstone bozonu olurlar. Geriye kalan kütlelidir.

Simetri bozulmuş olmasaydı, Goldstone'un modelindeki alanların hepsi, simetrinin gerekleri yüzünden kütleli skaler bozonlar gibi kesinlikle aynı şekilde davranacaklardı. Simetri bozulduğunda, alanlar ayrışır. Bir genel simetri durumunda (tüm uzayda tek bir dönüşüm), ki Goldstone'un düşündüğü buydu, bir alan kütleli kalırken, diğerleri kütsüz Nambu-Goldstone bozonları olur, Goldstone'un kuramı budur.

Uzlaşma

BU kötü haberd. Sanki, çekirdek kuvvetlerini taşıyabilecek farazi Yang-Mills bozonlarına kütle kazandırmak için kendili-

ğinden simetri kaybı kullanmakta BCS ve Nambu'yu izleseniz bile, kullandığınız teknik dahi deneylerde görülmeyen başka türden bir bozon doğuruyordu.

Neyse ki, bu bilmecenin çözümü bilmece ortaya çıkar çıkmaz biliniyordu. En azından Bell laboratuvarlarından Phil Anderson biliyordu ve bu bilgiyi dünyayla paylaşmak için elinden geleni yaptı. 1977'de Nobel'i kazanmış olan Anderson dünyanın önde gelen yoğun madde fizikçilerinden biri olarak kabul edilir. Yoğun maddenin bir alan olarak entelektüel statüsünün yüksek sesli bir savunucusu oldu; 1972 tarihli ve "More is Different (Fazla Farklıdır)" başlıklı ünlü makalesi, birçok parçacığın bileşik davranışını incelemenin en azından bizatihi parçacıkların uyduğu altta yatan yasaları incelemek kadar ilginç ve temel olduğu fikrinin yayılmasına yardımcı oldu. Çekimser Nambu'nun aksine, Anderson her zaman aklına gelenleri söylemeye hevesliydi ve bunu sık sık da kışkırtıcı bir şekilde yapıyordu. Deneme derlemesinin alt başlığı "Düşünceli bir geçimsizin notları" idi ve arka kapaktaki yaşam öyküsü bizi şöyle bilgilendiriyordu: "Baskıya girildiği sırada yüksek profilli konularda birçok bilimsel tartışmaya dahil olmuştu ve bu tartışmalarda fikirleri, şu anda pek popüler olmasalar da muhtemelen sonunda haklı çıkacaktır."

Her ne kadar Nambu BCS kuramından ilham aldıysa da o ve Jona-Lasinio'nun önerdikleri boş uzayda kendiliğinden simetri bozulması modeli bir yerel (ayar) simetrisi değil, genel bir simetri içeriyordu. Bağlantı alanlarına ve dolayısıyla da doğanın kuvvetlerine yol açanlar yerel simetritlerdir. Genel simetritler farklı etkileşimlerin varlıklarını ya da yokluklarını anlamamıza yardımcı olur ama yeni kuvvetlere yol açmazlar.

Anderson bir parçacık fizikçisi değildi ama Nambu-Goldstone bozonlarının arkasındaki temel fikirleri anlıyordu; ki bunlar 1958'deki BCS kuramı üzerine çalışmasında önemli (ve belki de asli) bir rol oynuyorlardı. Simetri bozulmasının dinamik sonuçlarını daha 1952'de işlemişti; bugün bu sezginin fiziğe en büyük katkısı olduğunu düşünüyor. Anderson aynı zamanda kendiliğinden simetri bozulmasının her zaman kütsüz parçacıklarla ilişkili olmasının doğru olamayacağını da biliyordu çünkü kendiliğinden simetri bozulması BCS modelinde de olmuştu ve bu modelde hiç kütsüz parçacık yoktu.

Böylece, 1962’de, Schwinger’in bir yıl önceki kabulünden güç alarak Anderson parçacık fizikçilerine kütsüz parçacık tehdidinden nasıl kaçınılacığını açıklamaya çalışan (1963’te yayımlanan) bir makale yazdı. Bu zarif bir çözümdü: Başlangıçtaki kütsüz kuvvet taşıyan parçacıklar ve kendiliğinden simetri bozulmasının doğurduğu kütsüz Nambu-Goldstone bozonları tek bir kütleli kuvvet taşıyan parçacık oluşturmak üzere *bir araya gelirler*. Bu “iki yanlış bir doğru yapar” olarak da bilinir.

Anderson bu çözümlemenin önemi konusunda açıktır:

O zaman, süperiletkenlik benzetmesi de düşünöldüğünde muhtemeldir ki şimdi artık, sıfır kütleli Yang-Mills ayar bozonları ya da sıfır kütleli Goldstone bozonlarıyla ilgili zorluklar işine katılmadan Nambu türünde bir dejenere vakum kuramının yolu açılmıştır. Bu iki bozon türünün “birbirlerini götürmesi” ve geriye yalnızca sonlu kütleli bozonlar kalması mümkün görünmektedir.

Ama bu çözümlemeye karşın parçacık fizikçileri mesajı almadılar. Ya da aldılar ama inanmadılar. Anderson’ın savı bir ayar simetrisinin kendiliğinden bozulması durumundaki alanların özellikleriyle ilgiliydi ama simetri bozulmasını gerçekleştiren temel bir alanı olan açık bir model oluşturmamıştı. Goldstone’un kuramının sonuçlarından kaçınıldığını göstermişti ama kuramın kabullerinde yanlış gidenin ne olduğunu hassasiyetle açıklamamıştı.

Daha da önemlisi, yoğun madde sistemlerinde içinde bulunduğunuz malzemeye göre hızınızı ölçmek kolaydır. Ama boş uzayda tercih edilen bir durağanlık çerçevesi yoktur; görelilik bize tüm hızların eşit yaratıldığı güvencesini verir. Goldstone kuramının ispatlarında görelilik yaşamsal bir rol oynuyordu. Birçok parçacık fizikçisi için, Goldstone’un sağlam bir şekilde kanıtlanmış bir kuramının olması gerçeği, Anderson’ın aksine örneklerine baskın çıkıyordu ve farklılıkları uzlaştırmak için göreliliğe başvurdular. 1963’te Harvardlı fizikçi Walter Gilbert bu savı açıkça ortaya koyan bir makale yazdı. (Gilbert parçacık fiziğini bırakıp biyolojiye geçme süreci içindeydi. Meslek değişikliği beceri eksikliğinden kaynaklanmıyordu; 1980’de nükleotidler üzerine çalışmasıyla Nobel Kimya Ödölünü paylaştı.) Abraham Klein ve Benjamin

Lee'nin 1964'teki bir makaleleri Goldstone kuramından görelilikçi olmayan bağlamda nasıl kaçınılabileceğini inceliyor ve benzer bir akıl yürütmenin görelilik için içine girdiğinde de aynı şekilde işleyeceğini öneriyordu ama savları kesin gibi görülmedi.

Anderson da boş uzayda kendiliğinden simetri bozulması mefhumunu fazla ciddiye almakta, bizi hâlâ meşgul eden bir nedenle temkinliydi. Boş uzayda sıfır dışı bir değeri olan bir alanınız varsa, bu alanın enerji taşımamasını bekleriz. Bu pozitif ya da negatif miktarda enerjiye sahip olabilir ama sıfır olması için özel bir neden yoktur. Einstein uzun zaman önce bize öğretti ki, boş uzaydaki enerjinin, yani vakum enerjisinin kütleçekim üzerinde önemli bir rolü vardır, (enerjinin pozitif ya da negatif olmasına bağlı olarak) evrenin genişlemesini iter ya da çeker. Bir kâğıda karalayacağınız basit bir hesap, sözünü ettiğimiz enerjinin uzun süre önce fark etmiş olmamızı gerektirecek kadar büyük olduğunu gösterir ya da daha doğrusu, bunu fark etmek için buralarda olmamamız gerektiğini. Çünkü evren patlayacak veyahut Büyük Patlamanın hemen sonrasında gene çökecekti. Bu kuramsal fizikteki en yakıcı sorunlardan biri olmayı sürdüren “kozmolojik sabit sorunudur.” Bugünlerde boş uzayda çok küçük miktarda pozitif enerji olmasının çok muhtemel olduğuna inanıyoruz, bu da evrenin hızlanmasına neden olan “kara enerjidir” ve 2011 Nobel Fizik Ödülü'ne vesile olmuştur. Ama bu kara enerjinin sayısal değeri beklemeye hakkımız olandan çok daha azdır, bu yüzden esrar devam ediyor.

1964 Englert ve Brout

Her fizikçi “iyi fikir” denilen o ender metayı ele geçirdiğinde, atlatılma korkusuyla yaşar, yani aynı fikrin başkasının aklına gelip kendisinden evvel yayımlanması korkusuyla. Akla gelebilecek fikir sayısı düşünüldüğünde, bunun nadiren gerçekleştiğini düşünebilirsiniz. Ama fikirler rastgele ortaya çıkmaz; bütün bilim insanları konuşmalar, makaleler ve gayriresmî sohbetlerden oluşan bir iletişim mozaığının içinde yaşar ve hayatlarında hiç karşılaşmamış iki ya da daha fazla kişinin aynı sorunlar üzerine düşünüyor olması çok sık görülür. (On yedinci yüzyılda

hem Isaac Newton hem de Gottfried Leibniz kalkülüsü önceden görüşmeden icat etmeyi becermişlerdi.)

1964'te, Beatles'ın Amerika'yı fırtına gibi katettiği yıl, üç bağımsız fizikçiler grubu, yerel simetrilerin kendiliğinden bozulmasının nasıl hiçbir kütsüz bozon üretmeyip yalnızca kısa erimli kuvvetlere yol açan kütsüz bozonlar ürettiklerini gösteren çok benzer öneriler ortaya attılar. İlk ortaya çıkan, Belçika'daki Université libre de Bruxelles'den François Englert ve Robert Brout'un makalesiydi. Ardından İskoçya'daki Edinburgh'dan Peter Higgs'in ardı ardına iki makalesi geldi. Sonra da Amerikalılar Carl Richard Hagen ve (Walter Gilbert'in doktora öğrencisi olan) Gerald Guralnik, İngiliz Tom Kibble'la bir makale yazmak üzere bir araya geldiler. Üç grup da birbirlerinden bağımsız çalışıyordu ve her üçüne de şimdi "Higgs mekanizması" adını verdiğimiz şeyi icat etmek atfedilebilir. Ama tam olarak başarının kime atfedileceği halen tartışmalıdır.

Englert ve Brout makalesi kısa ve özlüydü. İki fizikçi 1959'da, Englert Cornell'e doktora sonrası Brout'un yanında çalışmak üzere geldiğinde tanışmışlardı. Tanıştıkları ilk gün dışarı birer içki içmeye çıkmışlar, bu birkaç içkiye dönüşmüştü ve ikisi derhal kaynaşmışlardı. Englert 1961'de orada öğretim görevlisi olarak işe başlamak üzere Belçika'ya döndüğünde, Brout ve karısı da Brüksel'e geçici bir ziyaret ayarlamış, kısa süre sonra da oraya yerleşmeye karar vermişlerdi. Brout 2011'de ölene kadar da yakın arkadaş ve işbirlikçi olarak kalmışlardı.

Tartışmaları iki alan üzerineydi: kuvvet taşıyan ayar bozonları ve boş uzayda sıfır dışında bir değer edinen iki simetri bozan skaler alan dizisi. Bu Goldstone'un genel simetri bozulması üzerine çalışmasına benzer bir düzendi, ayrıca ek olarak yerel simetrinin gerektirdiği bir ayar alanı ilavesi vardı. Ama skaler alanların özelliklerine fazla dikkat harcamamışlar, bunun yerine ayar alanlarına ne olduğuna odaklanmışlardı. Feynman diyagramlarını kullanarak, altta yatan simetriyi ihlal etmeden kütle edindiğini gösteriyorlar, bu kesinlikle göreliliğin gereklerine uyuyor ve Gilbert'in kaygılarıyla çalışıyordu. Tüm bunlar anlaşıldığı kadarıyla Anderson'ın bir yıl önceki makalesi üzerine bir bilgileri olmadan gerçekleşmişti.

1964: Higgs

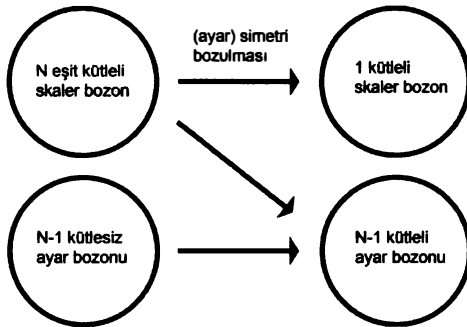
Peter Higgs, Londra University College'den doktorasını aldıktan sonra 1960'da doğduğu İskoçya'ya dönüp Edinburgh Üniversitesi'nde ders vermeye başlamıştı. Anderson'ın çalışmasından haberi vardı ve bir görelilikçi kuram içinde Goldstone'un kuramından nasıl kaçınılacağını açıkça göstermekle ilgileniyordu. 1964 Haziranı'nda, Higgs Birleşik Devletler'in önde gelen fizik dergisi *Physical Review Letters*'in (PRL) son sayısını açmış, Gilbert'in makalesiyle karşılaşmıştı. Sonrasında şöyle anımsıyordu: "Sanırım tepkim 'bok' demek oldu, çünkü Nambu programına kapıyı kapar gibiydi." Ama Higgs teslim olmadı. Schwinger'ın ayar bozonlarının simetri sıkıntıları nedeniyle kütsüz olması gerektiği yolundaki geçerli savda bir boşluk bulunduğunu anımsadı ve boşluğun kendiliğinden bozulan simetrilere de uygulanmasının mümkün olabileceğini düşündü. Bunların önemli konular olduğunu idrak ettiğinden, Higgs hızla *Physical Review Letters*'in Avrupa muadili olan *Physics Letters* içinde yayımlanan kısa bir makale yazdı. Burada, ilk kez olarak, göreliliğe tamamen bağlı kalınsa bile Goldstone'un kuramının ardındaki kabullerden nasıl kaçınılabileceği açıkça gösteriliyordu.

Bu ilk makalede Higgs'in sözünü etmediği, kütsüz bozonların fiilen yok edildiği özgül bir modeldi. İkinci makalede tam da bunu sağladı, kuvvet taşıyan bir ayar alanına bağlanmış Goldstone tarzı bir simetri bozan skaler alan çiftinin davranışını inceleyerek, ayar alanının tek bir kütleli ayar bozonu yapmak üzere Nambu-Goldstone bozonunu yuttuğunu gösterdi. Bu ikinci makaleyi de gene *Physical Letters*'a gönderdi ama bu kez makalesi reddedildi. Bu Higgs'i şaşırtmıştı, "Kütleli ayar bozonları mümkündür" diyen makaleyi yayımlayan derginin "İşte kütleli ayar bozonları için fiili bir model" diyen makaleyi neden yayımlamadığını anlayamıyordu. Ama Higgs teslim olmayı gene reddetti; modelin fiziksel sonuçları üzerine birkaç paragraf daha ekleyip bu kez Birleşik Devletler'deki *Physical Review Letters*'a gönderdi ve kabul gördü. Buradaki hakemler ki sonradan Higgs bunun Nambu olduğunu öğrenecekti, henüz yayımlanmış olan Englert ve Brout makalesine bir atıf eklenmesini önerceklerdi.

İkinci makalesi reddedildikten sonra Higgs'in yaptığı eklenmeler arasında, modelinin ayar bozonlarını kütleli yapmakla kal-

mayıp kütleli bir skaler bozonu da öngördüğü yolunda bir yorum da vardı, bu şimdi “Higgs bozonu” olarak bilip sevdiğimiz şeyin ilk açık belirmesiydi. Goldstone’un bozulan genel simetri modelinin bir dizi kütleli Nambu-Goldstone bozonunun yanında artık bir kütleli skaler de öngördüğünü anımsayın. Yerel simetri durumunda, olası kütleli skaler bozonlar ayar alanları tarafından yutulur ve bunlar kütleli hale gelirler. Ama Goldstone’un kuramındaki kütleli skaler alan Higgs’in kuramında da mevcuttur. Englert ve Brout bu diğer parçacığı ele almamışlardı ama sonradan düşününce görülüyor ki, (Anderson’ın çalışmasında da olduğu gibi) bu onların denklemlerine içkindir.

Biraz ilerlersek, Standart Modeldeki Higgs mekanizmasının gerçek dünyadaki uygulamasında, simetri bozulması öncesinde işe dört skaler bozon ve üç kütleli ayar bozonuyla başlarız. Simetri boş uzayda sıfır dışı bir değer edinen skalerler tarafından bozulduğunda, skaler bozonların üçü ayar bozonları tarafından yutulur. Elimizde üç kütleli ayar bozonu kalır: W’ler, Z ve bir de kütleli skaler, yani Higgs. Başka bir ayar bozonu kütleli olarak işe başlar ve öyle de devam eder, bu da fotondur. (Foton aslında özgün ayar bozonlarından bazılarının bir karışımıdır ama iş bu kadarıyla da yeterince karıştı.) Bir anlamda, Higgs bozonlarının dörtte üçünü 1980’lerde, kütleli W’leri ve Z’yi bulduğumuzda keşfetmiştik.



Şekil 21: Bir yerel (ayar) simetrisi kendiliğinden bozulduğunda olanlar, bu evvelce ele alınan genel olanla karşılaştırılabilir. Şimdi simetrik durumda kütleli skalerler kadar kütleli ayar bozonları da bulunur; simetrinin bozulması sonrası kütleli olacak bozonlar ayar bozonları tarafından yutulur ve bunlar kütleli hale gelirler. Geriye kalan tek kütleli skaler bozon hâlâ oradadır. Bu Higgs’tir.

Her ne kadar kimileri ayar bozonlarının kütleli hale geldiği Higgs mekanizmasını ilk önerenin Anderson mu, Englert ve Brout mu yoksa Higgs mi olduğunu tartışabilse de şimdi doğanın nasıl işlediğinin kanıtı olarak kullandığımız Higgs bozonundan ilk söz edilmesinde Higgs güçlü bir iddiada bulunabilir. (Başkaları da önceki makalelerin Higgs bozonundan söz etmiş olabileceğini ama etmediğini, çünkü çalışmanın gerisi gerçekleştiğinde bunun varlığının bariz olacağını iddia edebilirler ve etmişlerdir de.) 1966 tarihli bir devam makalesinde, Higgs bu bozonun özelliklerini daha ayrıntılı bir biçimde incelemiştir. Ama eğer makalesinin özgün hali *Physics Letters* tarafından reddedilmemiş olsaydı, bozona hiç dikkat çekmemiş de olabilirdi.

Higgs, Anderson'ın 1963 makalesinin pekâlâ farkındaydı. Anderson'ın hakkını teslim etme eğilimindedir ama Anderson'ın yeterince ilerlemediği görüşündedir: "Anderson temelde benim yapmış olduğum iki şeyi yapmalıydı. Goldstone kuramındaki boşluğu göstermeliydi ve bunun gerçekleştiğini göstermek için basit bir görelilikçi model üretmeliydi. Gene de Higgs mekanizması denen şey üzerine ne zaman bir konferans versem Anderson'la başlarım, o doğruyu bulmuştu, ama hiç kimse anlamadı."

1964: Guralnik, Hagen ve Kibble

Guralnik, Hagen ve Kibble kendi makalelerini Englert ve Brout ile Higgs'in makaleleri yayımlandıktan sonra ama hemen sonra tamamlamışlardı. GHK makalesi MIT'te birlikte lisans öğrencisi olan ve ilk makalelerini lisansüstü için Hagen MIT'te kalıp Guralnik nehir yukarı Harvard'a taşındıktan sonra birlikte yazan Guralnik ile Hagen arasındaki uzun zamandır devam eden tartışmalardan doğdu. Bu tartışmalar Guralnik Londra'daki Imperial College'da doktora sonrası bir öğretim görevi alınca tomurcuklandı, Abdus Salam da burada bir öğretim görevlisiydi ve kendiliğinden simetri bozulması hararetli tartışma konularından biriydi. Kibble da burada görevliydi ve Guralnik'le ikisi sık sık Goldstone kuramından kurtulmanın yolları üzerine konuşuyorlardı. Hagen'in bir ziyareti üçlünün sonuçlarını bir makale haline getirmeleri için dürtüyü sağladı.

Daha sonra anımsadıklarına göre, 1964 Ekimi'nde Hagen ve Guralnik "fiilen yazıyı PRL'e gönderilmek üzere zarfa yerleştiriyorlardı ki, Kibble elinde Higgs'in iki ve Englert ile Brout'un bir makalesi odaya girdi." Englert-Brout makalesi 26 Haziran 1964'te sunulmuş ve Ağustos'ta yayımlanmıştı; Higgs'in iki makalesi 27 Temmuz ve 31 Ağustos'ta sunulmuş ve sırasıyla Eylül ve Ekim'de yayımlanmıştı; GHK makalesi 12 Ekim'de sunulmuş, Kasım'da yayımlanmıştı. İlk tepkileri o zamana kadar kuşkanmadıkları bu çalışmaların ilgili olduğuydu ama "atlatılmış" sayılacakları duygusuna kapılmadılar. GHK Englert-Brout ve Higgs'in ayar bozonlarının kendiliğinden simetri bozulması yoluyla kütle edinmeleri sorununa başarılı bir yaklaşımda bulunduğunu düşünüyordu ama Goldstone kuramında tam olarak neyin yolunda gitmediği konusuna doğrudan girmemişlerdi ki, İngiliz-Amerikan üçlünün merkezi kaygısı buydu. Englert-Brout'un çeşitli titreşen alanlara ne olduğunu ele alışlarının biraz bulanık olduğunu düşünüyorlardı, Higgs'in makaleleri de tamamen klasikti ve kuantum mekaniğinin dilinde yazılmamıştı.

Bunu akılda tutarak GHK makalelerini zarfından çıkartıp biraz evvelki çalışmalara bir gönderme eklediler: "Örneğimiz olarak, Englert ve Brout tarafından kısmen çözülen ve Higgs'in klasik kuramıyla bazı benzerlikler taşıyan bir kuramı ele aldık." Fikirlerin neredeyse eşzamanlı keşfi hayli yaygın olduğundan, fizik literatüründe bir adet yerleşmişti: Sizinki tam olarak sonuçlanmadan başka bir makale ortaya çıkarsa, sonuna şu açıklamayla ona göndermede bulunan bir not eklerdiniz: "Bu çalışma tamamlanırken, ... tarafından hazırlanmış ilgili bir makale elimize geçti." GHK bunu açıkça yapmayı ihmal etmişti ama hiç kimse rakip çalışmalardan haberleri olduğunda kendi makalelerinin büyük ölçüde tamamlanmış olduğundan kuşku duymadı. Hem yeterince farklıydı hem de diğerleri ortaya çıktığından o kadar az sonra sunulmuştu ki, Englert-Brout ve Higgs makalelerinin üzerine inşa edilmiş olması mümkün değildi.

Guralnik, Hagen ve Kibble ayar simetrisinin kendiliğinden bozulması sorununu kuantum mekaniği açısından kapsamlı bir şekilde ele aldılar. Goldstone kuramının varsayımlarının nasıl atlatılacağı sorununa titizlikle eğildiler. Ama Higgs bozonunu pek doğru ele alamadılar. Gerçek Higgs'in kütleli olması bekle-

nirken, GHK tercih olarak kütlesini sıfır olarak belirledi. Bu parçacık üzerine açık ifadeleri şöyleydi: “Yoklamayla kuramda kütlesiz bir parçacık olduğu görülüyorsa da bunun diğeri (kütleli) uyarımlardan tamamen bağının kopmuş olduğu kolaylıkla görülür ve Goldstone kuramıyla hiçbir ilişkisi yoktur.” Ele aldıkları modelde bu ifadeler doğrudur ama yalnızca bağlaşımları ve kütleyi elle sıfıra eşitledikleri için; gerçek dünyada Higgs’in kütleli olmasını ve diğeri parçacıklarla bağlanmasını bekleriz.

Aynı yönde ilerleyen bir ekip daha vardı ama onlar biraz daha sonraydı (birkaç ay). O dönemde, Sovyetler Birliğı ile Batı arasında bilimsel iletişim çeşitli bürokratik engeller tarafından örseleniyordu. Bu yüzden, 1965’te, her ikisi de o sıralarda on dokuz yaşında bulunan fizikçiler Alexander Migdal ve Alexander Polyakov ayar kuramlarında kendiliğinden simetri bozulması üzerine düşündüklerinde, 1964 makalelerinin hiçbirinden haberleri yoktu. Bağımsız çalışmaları bir kuşkucu hakemler engeline takıldı ve 1966’ya kadar ortaya çıkamadı.

Tüm bu eşzamanlı etkinliğe karşın, birçok fizikçi yerel simetrilerin kütlesiz parçacıklardan kurtulmanın bir yolunu sağlayacağı konusunda kuşkuculuklarını sürdürdüler. Higgs Harvard’da bir konferans verdiği sırada başından geçenleri aktarır; orada, kuramcı Sidney Coleman öğrencilerini “Goldstone’un kuramından daha akıllı olduğunu zanneden bu soytarıyı paralamaları” için kışkırtmıştı. (Öykünün doğruluğuna kefil olabilirim, çünkü yıllar sonra Coleman’dan kuantum alan kuramı dersi aldığımda, olayı kendisi aktarmıştı.) Ama Englert, Brout, Higgs, Guralnik, Hagen ve Kibble’ı destekleyen önemli bir olgu vardı: Haklıydılar. Kısa sürede fikirleri, şimdi artık Standart Modele dahil edilmiş olan büyük zaferlerden birinde kullanıma sokulacaktı.

Zayıf etkileşimler

Tüm bu farklı türlerdeki kendiliğinden simetri bozulması tartışmaları kuantum alan kuramı içindeki temel sorularla ilgilidir: Ne olabilir ve hangi koşullarda? Betimlenen olguların gerçek dünyada önemlerinin olup olmadığını ileride göreceğiz. Ama zayıf etkileşimler anlayışımızda kalıcı bir yer kazanmaları uzun sürmedi.

Zayıf etkileşimler üzerine umut vaat eden ilk kuram 1934'te Enrico Fermi tarafından geliştirilmişti. Fermi kısa süre önce Wolfgang Pauli tarafından önerilen yeni nötrino fikrinden yararlanarak bir nötron bozunması modeli geliştirmişti, şimdi bunun zayıf etkileşimler vasıtasıyla gerçekleştiğini söylüyoruz. Yedinci Bölümde ele aldığımız gibi, Fermi'nin hesaplamaları aynı zamanda kuantum alan kuramının erken dönem başarılarından biriydi.

Fermi'nin kuramı verilerle de iyi uyuşuyordu ama yalnızca fazla zorlanmadığında. Kuantum alan kuramındaki hesaplamaların çoğunluğu önce yaklaşık bir yanıt bulmak sonra da bu yanıtı gıdım gıdım ilerletmekten oluşur, bu da esas olarak daha karmaşık Feynman diyagramlarının katkılarının işin içine katılmasıyla gerçekleşir. Fermi kuramında, özgün yaklaştırım çok güzel bir iş başarmıştır ama bir sonraki katkının (ki bunun çok küçük bir düzeltme olması gerekiyordu) sonsuz büyüklükte olduğu görüldü. Bu bir sorundur, yirminci yüzyıl boyunca parçacık fizikinin üzerine gölgesi düşen büyük bir sorun. Sonsuz yanıtlar kuşkusuz doğru değildir, bu yüzden bunlar kuramınızın o kadar da iyi olmadığını gösterir. Bir kuram verilerle uyumlu olmalıdır ama aynı zamanda da matematiksel açıdan anlamlı olmalıdır.

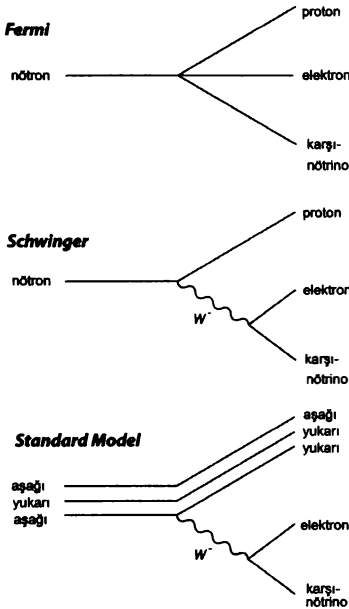
Sonsuz yanıtlar sorunu zayıf etkileşimlerle kısıtlı da değildi: Elektromanyetizmaya da bulaşmıştı ki bunun kuantum alan kuramları içinde en basit ve anlaşılması kolay olanlardan biri olması gerekiyordu. Ama orada, sonsuzlukların zaptedilebileceği ortaya çıktı. Bunu gerçekleştiren süreç “renormalizasyon”¹ olarak bilinir ve Feynman, Schwinger ve Tomonaga'ya Nobel'i kazandıran da budur.

Kimi alan kuramları renormalize edilebilirdir, sonlu sonuçlar elde edebilmek için yerleşik bazı matematiksel yöntemler vardır ama bazıları da edilemezler. Modern kuantum alan kuramında, bir kuram renormalize edilemiyorsa, bunu öylesine kaldırıp atmıyoruz. Bunun en iyi koşullarda, belki yalnızca çok düşük enerjilerde geçerli olan bir yaklaştırım olduğunu ve belki de yüksek enerjilerde sonsuzlukları zaptedecek yeni bir fizikğin ortaya çıkabileceğini kabul ediyoruz. Ama uzun bir süre renormalize edilemezlik bir kuramın kusurlu olduğunun bir işareti

1 “yeniden boyutlandırma” olarak da çevrilmektedir –y.n.

olarak kabul edildi. Fermi'nin zayıf etkileşimler kuramının renormalize edilemez olduğu anlaşıldı; çok zorlandığında sonsuz sonuçlar veriyor ve daha iyi bir kuram geliştirilmedikçe bunları halletmenin bir yolu yok.

Daha karmaşık simetrilerin doğanın kuvvetlerini oluşturacak bağlantı alanları üretebileceğine dair Yang-Mills fikrinden etkilenen Julian Schwinger bu fikri zayıf etkileşimlere uygulamayı denedi. Ama tabii ki birincil bir sorun vardı: Yang-Mills bozonlarının kütesiz olmaları gerekiyordu, bu da uzun erimli bir kuvvet akla getirir, halbuki zayıf etkileşim açıkça kısa erimlidir. Schwinger bu sorunu bir kenara bıraktı: bir Yang-Mills modeliyle yola çıktı ve kuvvet taşıyan bozonlardan ikisini elle kütleli yaptı. Bu şimdi artık W^+ ve W^- olarak bildiğimiz bozonların ilk ortaya çıkışlarıydı. (En azından ilklerden biri. Leon Lederman'ın sözleriyle: "Fermi kuramının daha sonraki sürümleri, özellikle de Schwinger'inkiler, ağır W^+ ve W^- leri zayıf kuvvet taşıyıcılar olarak ortaya attı. Birçok başka kuramcı da yaptı bunu. Bakalım: Lee, Yang, Gell-Mann... başarıyı herhangi bir kuramcıya atfetmek istemiyorum, çünkü %99'u bozulacak.")



Şekil 22: Zayıf etkileşimler üzerine, nötron bozunmasıyla örneklenen değişen görüşler. Fermi'nin kuramında, bir nötron doğrudan bir proton, bir elektron ve bir de karşı-nötrinoya bozunur. Schwinger bir yüklü W^- bozonunun nötron tarafından yayıldığını, sonra da bir elektron ve bir de karşı-nötrinoya bozunduğunu önermişti. Haklıydı ama şimdi nötronun üç kuarktan oluştuğunu ve W^- yayarken birinin aşağıdan yukarı dönüştüğünü biliyoruz.

Yang-Mills bozonlarının kütesiz olmaları zaten kuramın dayandığı simetriden kaynaklanıyordu. Schwinger bozonlara kütle verdiğinde bu simetrimin bozulduğunu ima ediyordu ama bu durumda bu *açık* bir bozulmaydı, simetrimin boş uzayda sıfır dışı bir değere sahip bir alan tarafından gizlendiği bir *kendiliğinden* bozulma değil (bu henüz icat edilmemişti). Bir alan nedeniyle bozulmamıştı, Schwinger öyle dediği için bozulmuştu. Tahmin edebileceğiniz gibi, bu bir şekilde doğaçlama inşa modeli birbirine kattı. Bir kere, elektromanyetizmanın renormalize edilebilirliği yaşamsal bir biçimde kuramın altında yatan simetriye dayanır ve bu simetriyi görmezden gelmek Schwinger'ın modelini renormalize edilemez hale getirmişti. Sonunda idrak edildi ki bir kütleli ayar bozonları kuramı sadece ve sadece kütleler kendiliğinden simetri bozulmasından kaynaklanıyorlarsa renormalize edilebilir olurlar; ama buna daha yıllar vardı.

Gene de Schwinger kuşkulu bir kuramın peşinde sırf inatçılığından sebat etmedi. Dehanın bir özelliği de pek iyi çalışmıyor görünmelerine rağmen hangi fikirlerin peşinde koşmanız gerektiğini sezebiliyor olmanızdır. Schwinger'ın modelinin hoş bir özelliği, aslında üç ayar bozonu öngörüyor olmasıydı: iki yüklü W bozonu ki bunlara kütle verilmişti ve tek bir yüksüz ayar bozonu ki bunun kütesiz olmasına izin vardı. Hepimiz yüksüz kütesiz ayar bozonunu biliyoruz tabii ki: bu bir foton. Schwinger bu yaklaşımın elektromanyetizma ile zayıf etkileşimleri birleştirme vaadini de tutması mefhumundan cesaret alıyordu, bu fizikte ileri doğru önemli bir adım olacaktı. Modelin doğurduğu sorunlara karşın devam etmesini sağlayan muhtemelen buydu.

Çok fazla gitmesi gerekmedi. Schwinger'ın makalesi 1957'de çıktı ve aynı yıl zayıf etkileşimlerin pariteyi ihlal ettiği keşfedildi. Sekizinci Bölümden (ve Ek Birden) anımsayacaksınız ki, parçacıklar spinlerine bağlı olarak ya sol-elli ya da sağ-elli olurlar. Parite ihlali zayıf etkileşimlerin sol-elli parçacıklarla bağlandığını ama sağ-elli olanlarla bağlanmadığını ima eder. Yalnızca sol-elli parçacıklarla ilgili Yang-Mills simetrisi icat etmek mümkündür ama elektromanyetizmanın pariteyi ihlal *etmediğini* biliyoruz, sola da sağa da aynı muameleyi yapıyor. Bu keşif Schwinger'ın zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri birleştirmeye umutlarını boşa çıkartacak gibiydi.

Elektrozayıf birleşme

Bazen, bir profesör olarak yapılması gereken teslim olmak değildir; sorularınızı bir lisansüstü öğrencisine devretmektir. Ne mutlu ki, Schwinger'ın elinde çok yetenekli genç bir öğrencisi vardı: Sheldon Glashow; ona elektromanyetizma ile zayıf etkileşimi birleştirme görevini verdi. Glashow'un coşkulu ve karizmatik bir kişiliği vardı ve bir fizikçi olarak hızla bir fikirden diğerine sıçramaktan hoşlanıyordu. Bu eğilim birleşme araştırmasında ona çok yararlı oldu, çünkü bir kuram önerip sonra hızla bir diğerine geçmeye hep hazırdı. Birkaç yıl boyunca aralıklı bir şekilde konu üzerine düşündükten sonra sonunda "elektrozayıf birleşme" olarak adlandırılacak olan şey için umut vaat eden yol buldu.

Öne çıkan nokta pariteydi: elektromanyetizma bunu koruyor, zayıf etkileşimler ihlal ediyordu. Nasıl birleştirilebilirlerdi? Glashow'un fikri, iki farklı simetri öne sürmektir: biri sol-elli ve sağ-elli parçacıklara aynı şekilde davranıyordu, diğeri farklı şekillerde. Şimdi, bunun ileri doğru bir adım olduğunu düşünmüyor olabilirsiniz; iki farklı simetri kulağa pek birleşik gibi gelmiyor. Glashow'un modelinin sırrı, her iki simetrisinin de bozuluyor olmasıydı ama öyle bir bozuluyorlardı ki, belli bir bileşimleri bozulmuyordu.

İki dişli çark düşünün. Her biri birbirlerinden bağımsız olarak hareket edebilir; bu Glashow'un özgün iki simetrisi gibidir. Ama bunları bir araya getirin, her iki çarkın dişleri birbirlerine geçer. Şimdi hâlâ hareket edebilirler ama artık ayrı ayrı değil, birlikte hareket etmeleri gerekir. Öncekine göre daha az özgürlük vardır. Glashow'un modelinde, bozulmayan simetri çarkları birlikte hareket ettirebilme becerisi gibidir, bozulan simetriyse bunların farklı hızlarda hareket edememeleri gibidir. Glashow'un bozulmayan simetrisine karşılık gelen kütsüz, yüksüz ayar bozonu da tabii ki fotondur.

Bu fikir hem zayıf hem de elektromanyetik etkileşimlerin bilinen özelliklerini uyuşturuyor gibiydi. (Ayar bozonlarının kütlelerinin elle verilmesi ve kuramın renormalize edilememesi problemleri hâlâ sürüyordu.) Ama bilinenlerden yeni bir ayar bozonu öngörmesiyle ayrılıyordu: yüksüz ama kütleli, şimdi artık Z olarak adlandırdığımız bir şey. O sıralarda böylesi bir parçacık için bir kanıt yoktu bu yüzden model fazla dikkat çekmedi.

Glashow'un elektromanyetizma ile zayıf etkileşimi birleştirme girişimi sırasında bir araya getirdiği bileşenler biraz keyfi görünseler de bunlarda açıkça anlamlı bir şeyler de vardı: Okyanusun diğer yanında, Britanya'da, Londra'daki Imperial College'da neredeyse aynı kuram Abdus Salam ve John Ward tarafından oluşturuluyordu. Her iki fizikçi de kendi başlarına hayli başarılıydılar. Britanya'da doğmuş ama Avustralya ve Birleşik Devletler'de uzun yıllar geçirmiş olan Ward kuantum elektrodinamiğinin öncülerinden biriydi. Fizik âleminde muhtemelen daha çok kuantum alan kuramındaki, yerel simetrileri zorlayan matematiksel ilişkiler olan "Ward Özdeşlikleri" dolayısıyla tanınır. Henüz İngiliz yönetimi altında Hindistan'la bir aradayken Pakistan'da doğmuş olan Salam sonrasında siyaseten etkin olacak ve gelişmekte olan dünyada bilimin desteklenmesinin taraftarlığını yapacaktı. Sık sık işbirliğine giriyorlardı ve en ilginç çalışmalarından bazılarını birlikte, kuvvetleri birleştirme konusunda gerçekleştiriyorlardı.

Salam ve Ward, Glashow'unkine çok benzeyen bir mantık yürüterek biri pariteyi ihlal eden diğeri de etmeyen iki farklı simetrisi olan ve kütsüz bir foton ile üç kütsüz ayar bozonu öngören bir model icat ettiler. Makaleleri 1964'te, muhtemelen Glashow'un önceki çalışmasından habersiz olarak yayımlandı. Glashow gibi, onlar da modellerinde simetrileri elle bozuyorlardı. Glashow'un aksine, bunu yapmak için bir mazeretleri yoktu: Fiilen tam zamanlı olarak kendiliğinden simetri bozulmasına odaklanmış olan Guralnik, Hagen ve Kibble'ın çalıştığı aynı koridorda çalışıyorlardı.

Bunu yapamamış olmalarının nedeni kısmen Ward'un doğal ketumluğuydu. Kitabı *The Infinite Puzzle*² içinde, Frank Close Gerald Guralnik'in anlattığı açıklayıcı bir öyküyü aktarır:

Yerel bir pub'da Guralnik ve Ward yemek yiyorlardı ve Guralnik saklı simetri üzerine henüz tamamlanmamış olan çalışması üzerine konuşmaya başladı. "Pek ileriye gitmemiştim ki [Ward] lafımı kesti. Yayımlanmamış fikirlerim konusunda neden özgür olmamam gerektiği, çünkü çalınabilecekleri ve genellikle üzerlerinde çalışmam sona ermeden yayımlanabile-

2 *Sonsuzluk Yapbozu*, çev: Irmak Kamceç, Alfa Bilim, 2014 -ç.n.

cekleri üzerine bir konferansa başladı.” Bu öğüt üzerine, Guralnik Ward’a Salam’la olan çalışmaları üzerine soru sormaktan vazgeçti.

Yayımlanmamış çalışmalar üzerine böylesi tedbirli bir yaklaşım benimsense dahi, en ağız sıkı fizikçiler bile *yayımlanmış* çalışmalar üzerine konuşmaktan çekinmez. Ama hangi nedenle olursa olsun, Salam ve Ward Guralnik, Hagen ve Kibble’ın ne önerdiğini aradan yıllar geçmeden öğrenemediler. Sonunda Salam Tom Kibble’la olan konuşmaları sonucu çalışmadan haberdar oldu ve yıllar sonra bile bundan “Higgs-Kibble mekânizması” olarak söz ediyordu.

Hepsini bir araya getirmek

Bilmecenin son parçaları 1967’de bir araya getirildi. Steven Weinberg Bronx Bilim Lisesi’nde Sheldon Glashow’un sınıf arkadaşıydı ama 1979’de Salam’la Nobel Fizik Ödülü’nü paylaşmalarıyla sonuçlanacak olan kuramsal fizik çalışmalarında doğrudan işbirlikleri hiç olmadı. Bugün Weinberg Fizik camiasının saygın bir duayeni, birçok etkili kitabın yazarı olmasının yanında *The New York Review of Books* ve başka yerlerde düzenli makaleleri yayımlanıyor. Süperiletken Süper Çarpıştırıcının da önemli destekçilerinden biriydi, hatta 1982’de yerleştiği Texas’da yapılacak olmasa bile bunu desteklerdi.

1967’de Weinberg MIT’de genç bir profesördü, her gün kampüse kırmızı bir Camaro’yla gelirdi. Kendiliğinden simetri bozulmasına derinliğine dalmıştı ama bunu yeğîn etkileşimi anlamaya çalışırken kullanıyordu. Kibble’ın yakın tarihli bir makalesinden ilham alan Weinberg, o sıralarda bunu bilmiyordu ama, Glashow, Salam ve Ward tarafından daha önce ele alınanlara çok benzeyen bir simetriler dizisiyle uğraşıyordu. Sorun şuydu ki, karşısına habire kütlelessiz, yüksüz ayar bozonları çıkıyordu ve yeğîn etkileşimde böyle bir şey yok gibiydi.

O yılın Eylül ayında, Weinberg birdenbire, yanlış sorunu düşündüğünü fark etti. Sorunlu yeğîn etkileşimler modeli zayıf ve elektromanyetik etkileşimlerin kuramı olarak pek güzel işliyordu. Asap bozucu kütlelessiz bozonlar bir özellikti, bir aksaklık değil: bu fotondur. “Leptonlar Kuramı” başlıklı kısa bir makalede

Weinberg, parçacık fiziği alanındaki her modern lisansüstü öğrencisinin Standart Modelin “elektrozayıf” kesimi olarak derhal tanıyacağı şeyi bir araya getirdi. Atıflarda Glashow’un makalesini zikretti ama Salam ve Ward’un yazdıklarından henüz haberi yoktu. Kibble’in fikirlerinden yararlanarak, W ve Z bozonlarının kütleleri için doğrudan bir öngöründe bulunabildi, bu Glashow ile Salam ve Ward’ın yapamadıkları bir şeydi.

Çünkü onlar kütleleri elle girmişlerdi. Weinberg kuramdaki tüm fermionların yanında ayar bozonlarının da kütle edindikleri mekanizmayı açıkladı. Hatta modelin belki de renormalize edilebilir olduğuna dikkat çekti ama o sıralarda ikna edici bir şekilde savunamıyordu. Tutarlı bir elektrozayıf birleşme kuramı nihayet toparlanmıştı.

Neredeyse kesinlikle aynı zamanda, Kibble ve Salam nihayet simetri bozulması konusundaki karşılıklı ilgilerini idrak ettiler ve Kibble kuramı Salam’a açıkladı. Salam Ward ile birlikte önerdikleri birleştirilmiş modeli simetri bozucu skaler bozonları da içerecek şekilde elden geçirebileceğini anladı ve Imperial’deki kısıtlı bir dinleyici kitlesine fikirleri üzerine konferanslar verdi. Bilinmeyen nedenlerle, Salam bu fikirleri hemen kâğıda dökmedi; bir fizikçi olarak aşırı verimliydi, ama o günlerde ana ilgi alanı atomaltı kuvvetler değil kütleçekimdi. Dolayısıyla, Salam-Ward modeline bir Higgs mekanizması ekleme önerisi ancak bir yıl sonra, bunları bir konferans konuşmasının metnine dahil ettiğinde ortaya çıktı (burada Weinberg’ün makalesine de atıfta bulunuyordu).

Weinberg ve Salam’ın ayrı ayrı makalelerinin etkisi, Kurt Vonnegut’un bir kez farklı bir bağlamda söylediği gibi, dört metre çapındaki bir gözlemenin beş santimden düştüğünde doğurduğu etkinin aynısı oldu. Akademide, özellikle de bilimde bir araştırmanın etkisini nicelendirmenin en somut yolu buna başka makalelerde kaç kez atıfta bulunulduğunu saymaktır. 1967-1971 arasında Weinberg’ün makalesine bir avuç başka makalede atıfta bulunuldu. İki yazar hemen sonrasındaki yıllarda kendileri bile bu fikirleri büyük ölçüde devam ettirmediler. Ama 1971’de bu yana, Weinberg’ün makalesi 7500’ün üzerinde atıf aldı, bu da kırk yılda dört günde birin üzerinde bir ortalama yapar.

1971’de ne olmuştu? Şaşırtıcı birtakım deneysel sonuçlar mı alınmıştı? Hayır, şaşırtıcı bir kuramsal sonuç alınmıştı: Martinus “Tini” Veltman gözetiminde çalışan Hollandalı genç bir lisansüstü öğrencisi olan Gerard ‘t Hooft kendiliğinden bozulan ayar simetriteleri içeren kuramların, ayar bozonları kütleli olsalar bile renormalize edilebilir olduğunu kanıtlamıştı. Diğer bir deyişle, ‘t Hooft elektrozayıf kuramın matematiksel bir anlamı olduğunu göstermişti. Bu hem Weinberg hem de Salam tarafından varsayılmıştı, alandaki birçok kişi kuşkuluydu, bu da bu fikirlerin o ana kadar karanlıkta kalmalarını kısmen de olsa açıklar. Sidney Coleman’ın dediği gibi, ‘t Hooft, “Weinberg ve Salam’ın kurbağalarının büyülenmiş bir prens olduğunu ortaya çıkartmıştı.” Gerard ‘t Hooft o günden bu yana fizikteki en yaratıcı ve parlak zihinlerden bir olarak saygınlık kazanmıştır. O ve Veltman 1999’da elektrozayıf kuram ve kendiliğinden simetri bozulması üzerine çalışmaları karşılığında Nobel Fizik Ödülü’nü kazanmışlardır.

Şaşırtıcı deneysel sonuçların gelmesi de gecikmedi. Glashow, Salam-Ward ve Weinberg modellerinin ana yenilik olarak önerileri ağır bir yüksüz bozonun, Z’nin varlığıydı. W bozonunun etkileri iyi biliniyordu: yayıldıklarında, bir fermionun kimliğini değiştiriyorlardı (örneğin, nötron bozunması sırasında bir aşağı kuarkı yukarı yapıyorlardı). Z varsa, parçacıkların kimliklerini korudukları bir zayıf etkileşim sürümü anlamına gelirdi; örneğin bir nötrino bir atom çekirdeğini dağıtabilirdi. 1973’te CERN’in Gargamelle dedektöründe tam da bu türden şeyler gözlemlendi ve Glashow, Salam ve Weinberg’ün 1979 Nobel Ödülü’nü paylaşmaları için sahneyi hazırladı. (Ward dışarıda bırakılmıştı ama her yıl en fazla üç kişi ödülü paylaşabilir.) W ve Z bozonları da dolaylı etkilerinin aksine, birkaç yıl sonra Carlo Rubbia onları bulana kadar keşfedilmediler.

Geriye bir tek Higgs bozonunu keşfetmek kalıyordu.

İsim oyunu

Fizikçiler de insandır. Tipik dürtüleri Richard Feynman’ın “bir şeyleri bulmuş olma zevki” olarak adlandırdığı şeydir ama bir kez ilginç bir şey buldular mı, çalışmalarının takdir edilme-

sinden hoşlanırlar. Bu kitap boyunca, fizik camiasında neredeyse evrensel kabul gören bir uygulama doğrultusunda ayar bozonlarına kendiliğinden simetri bozulması yoluyla kütle kazandırılmasından “Higgs mekanizması,” bu modelin öngördüğü skaler parçacıktan da “Higgs bozonu” olarak söz ettim. Ama açıktır ki, Higgs’in katkısı önemli de olsa, hiç de yalnız değildi. Neden bu ad verildi ve ne denmesi gerekiyordu?

İlk başta “Higgs bozonu” adının nereden çıktığını kimse bilmiyor; Higgs’ten kaynaklanmadığı kesin. Parçacık fiziği kaynakları 1977’de trajik bir araba kazasında kaybettiğimiz yetenekli bir fizikçi olan Koreli-Amerikalı Benjamin Lee’yi işaret ediyor. Lee ayar simetrilerinin kendiliğinden bozulmasını Higgs’le olan konuşmalarından öğrenmişti, söylentiye göre 1972’de Fermilab’da etkileyici bir konuşma yaptı ve orada ardı ardına “Higgs mezonundan” söz etti. Bu ‘t Hooft’un devrimci sonuçlarının hemen sonrasındaydı, herkesin bu fikirler üzerine bilgi almak için çırpındığı zamanlar. Fizikçiler de insan olduğu için, tembellik edip konuya bağlanan ilk sözcüklere takılırlar, bu yüzden çok takip edilen bir konuşma bir adlandırmayı yayıverir.

Başka bir iddia da Weinberg’ün 1967 makalesiyle ilgilidir. Özgün makaleler 1964’te yayımlandığında, ayar kuramlarında kendiliğinden simetri bozulması üzerine düşünen o kadar da fizikçi yoktu; ‘t Hooft’un 1971’deki geliştirmesinin ardından, birçokları arayı kapatmaya çalıştı ve Weinberg’ün makalesi iyi bir başlangıç noktasıydı. Higgs mekanizmasını ele aldığı anda, Higgs’in üç makalesinin yanında Englert ve Brout’unki ile Hagen, Guralnik ve Kibble’inkine de atıfta bulunuyordu. Ama atıf listesinde (Higgs’in ikinci makalesinin yayımlandığı) *Physical Review Letters* ve (Englert ve Brout makalesinin yayımlandığı) *Physics Letters* arasındaki bir karışıklıktan dolayı Higgs daha önce görülüyordu. Böylesi küçük hatalardan uzun erimli sonuçlar doğar.

Belki de daha önemlisi, “Higgs bozonu” bir parçacık için güzel bir isim. Kaynaklandıkları “mekanizmaya” değil de bozon parçacıklarına yakından ilk dikkat çeken Higgs’in makaleleri olmuştu ama bu da adlandırmayı açıklamak için yeterli değildi. Ama şunu da sorabiliriz, alternatifi nedir? İlk günlerde, bir kişinin adından kaynaklanmayan bir isim koyma fırsatı vardı. Belki

de “radyal bozon” ya da “relicon” çünkü bu bozon simetri bozulması sürecinden arta kalan tek kalıntıdır.³ “Elektrozayıf bozon” da olabilirdi ama bunun W ve Z ile karıştırılma tehlikesi var bu yüzden “elektrozayıf skaler bozon” daha uygun olurdu.

Ama böylesi bir inşanın yokluğunda (ki zaten bu öneriler de pek parlak değildir) bir adlandırma usulü belirleyip tarihin hakkını teslim etmek de zordur. Higgs “bana atfen adlandırılan bozon” der ve bazen de “ABEGHHK’tH mekanizmasından” söz eder, yani evde hesap tutanlar için, Anderson, Brout, Englert, Guralnik, Hagen, Higgs, Kibble ve ‘t Hooft. Fermilab’dan Joe Lykken ‘t Hooft’un yerine Nambu koyup “HEHKBANG” demişti, bu en azından telaffuz edilebilir bir kısaltma olurdu, ama daha çekici değil. Zaten kendisi de “aptalca olurdu,” demiştir.

Nihayetinde kabul etmek gerekir ki bir parçacığın adı sadece bir etikettir. Bir fikrin gelişiminin kapsamlı ve adil bir tarihi değildir ve böyle alınmaması da gerekir. Bunu “Higgs bozonu” olarak adlandırıp hakkı teslim edilmesi gereken tek kişinin Higgs olduğunu iddia etmememiz gerekir. (Modern parçacık fiziğindeki fon temini krizine bakarsanız, korkarım isim hakları kolaylıkla 10 milyar dolara satılabilir. “McDonald’s bozonu,” ne dersiniz?

Tarihin hükmü

Öyküyü yinelersek, Nambu ve Goldstone kendiliğinden simetri bozulması anlayışımızın yerleşmesine yardımcı oldular ama onlar genel simetrilere odaklanmışlardı. Anderson ayar simetritlerinin farklı olduğunu, özellikle de arkada kalıntı kütle-siz parçacık bırakmadıklarına dikkat çekti ama açıkça görelilikçi bir model inşa etmedi. Bu bağımsız olarak Englert ve Brout tarafından, Higgs tarafından ve Guralnik, Hagen ve Kibble tarafından yapıldı. Üçü de az farklı yollar benimsediler ama aynı sonuçları elde ettiler ve her üçü de aynı derecede zikredilmeyi hak ettiler. Bu fikrin matematiksel olarak anlamlı olduğunu kanıtlayan ‘t Hofft da.

Geleneksel olarak, bilim dallarında Nobel Ödülü gruplara değil bireylere verilir ve her yıl da en fazla üç kişiye. Adayların

3 relic İngilizce kalıntı anlamına gelir -ç.n.

yer kapmaya çalıştıklarından kuşku yok, en azından sessizce. ‘t Hooft ve Veltman elektrozayıf kuramın renormalizasyonu üzerine çalışmaları için zaten Nobel kazandılar. Anderson Nobel’i tamamen farklı bir iş için kazanmıştı ama gerçekçi olursak, bu onun ikinci bir ödül için şansını hayli azaltmıştır (ilk olmak gibi güçlü bir argümanı olsa bile). Robert Brout 2011’de vefat etti ve ölmüş kişilere Nobel verilmiyor.

2004’te, bazen Nobel’in ardından en prestijli ikinci fizik ödülü olarak betimlenen Wolf Fizik Ödülü Englert, Brout ve Higgs’e verildi ama Guralnik, Hagen ve Kibble’a verilmedi. 2010 yılında Fransa’da düzenlenen bir “Higgs Avı” toplantısında, tanıtıcı poster doğrudan “Brout, Englert ve Higgs”den söz ederken, GHK’yı tamamen dışarıda bıraktı. Bu belli bir tepkiye yol açtı, İngiliz-Amerikan takımının destekçileri konferansı boykot etmekle tehdit ettiler. Organizatör Gregorio Bernardi eleştirilere çok şaşırdı ve “İnsanlar bunu çok ciddiye aldılar, böyle bir şey beklemiyorduk,” dedi. Bu hiç de samimi görünmedi; herkesçe “Higgs” olarak bilinen bir bozonun adına Englert ve Brout’un adını da ilâştirecek kadar hakları teslim etmeye meraklıysanız, Guralnik, Hagen ve Kibble (ya da destekçileri) kızdığında şaşır-mamanız gerekir. 2010 yılında Amerikan Fizik Birliği Sakurai Kuramsal Fizik Ödülü’nü Hagen, Englert, Guralnik, Higgs, Brout ve Kibble’a verdiğinde tatsızlık kısmen giderildi; sıralama böyleydi, bu özellikle kimse şikâyet edemesin diye ayarlanmıştı. (Anderson haklı olarak şikâyet edebilirdi.)

Anderson’ın hüznünlü bir şekilde belirttiği gibi, “Tarihin ayrıntılarıyla doğru yazılmasını istiyorsanız, kendiniz yazmalısınız.” Geçen yıllarda, Guralnik, Higgs, Kibble, Brout ve Englert hep 1964’teki çalışmalarını anımsatan şeyler yazdılar ve kendi katkı-larını perspektifine oturtmaya çalıştılar. Modern çağda olduğumuzdan, herkesin katkıda bulunabileceği çevrimiçi ansiklopedi *Wikipedia*’da bir tartışma alevlendi. 2009 Ağustosunda, yalnızca “Mary at CERN” olarak bilinen bir kullanıcı “1964 PRL Simetri Bozulması Makaleleri” başlıklı bir kayıt düştü. “Kendiliğinden Simetri Bozulması,” “Higgs Mekanizması,” vs gibi ayrı başlıklar zaten vardı; bu yeni makale doğrudan hakkın nasıl teslim edilmesi gerektiğine odaklanıyordu. Makalelerin hepsini ele alıyor olmasına karşın, bu yeni başlığın kimi desteklemeyi hedeflediği açıkça

görülyordu: “Şöyle bir sav da öne sürülebilir, her ne kadar birkaç ay önce yayımlanmış olsalar da Higgs ile Brout-Englert problemin yalnızca yarısını çözmüşlerdi, ayar bozonunu kütlelendirmek. Guralnik-Hagen-Kibble, birkaç ay sonra yayımlanmış olsa da daha bütünlüklü bir çözüm sunar, ayar parçacığını kütlelendirmek ve aynı zamanda Goldstone’un kuramının etkisizleştirici etkisinin nasıl bertaraf edilebileceğini göstermek.” Ama *Wikipedia*’da birinin yazdığını bir başkası düzeltebilir; şu andaki düzeltme biraz daha tarafsızdır.

Benim, Higgs bozonu fikrini bulduğu için birisine Nobel verilecekse bunun kim olması gerektiğine dair bir tercihim yok, bir öngörüm de yok. Ödüller bilim için iyidir, çünkü başka koşullarda tanıtılmayacak ilginç çalışmalara dikkat çekerler. Ama bilim bunun üzerine değildir; en başta mekanizmanın keşfine yardımcı olmanın keyfi, Nobel komitesinin vereceği herhangi bir ödülde çok daha kıymetlidir.

Gerçek hayal kırıklığı, herhangi bir deneycinin fiilen bozonu keşfettiği için bir Nobel talebinde bulunabileceğini düşünmenin zorluğundadır. Bu sadece bir sayı sorunu: O kadar çok insan o kadar farklı yollardan katkıda bulundu ki, iki ya da üç kişinin bundan sorumlu olarak seçilmesi mümkün değil. Kuşkusuz bir şekilde Nobel’e değer olan bir iş varsa, bu da LHC’nin başarıyla inşasıdır, bu yüzden de Lyn Evans iyi bir aday olur. Nobel vakfının işbirliklerinin bilim ödüllerinden herhangi birini alamayacakları yolundaki geleneğini gevşetmesi için herhalde çok geç olmuştur. Bu kural değişikliğini gerçekleştirecek kişinin Nobel Barış Ödülü’nü alması gerekir.⁴

4 Bu kitabın ilk yayımlanmasından sonra, 2013 Nobel Fizik Ödülü “Atomaltı parçacıkların kütlelerinin kökenini anlamamıza katkıda bulunan ve yakın zamanda CERN’in Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki ATLAS ve CMS deneylerinde öngörülen temel parçacığın keşfiyle doğrulanan mekanizmanın kuramsal keşfi için” Belçikalı François Englert ve Britanyalı Peter Higgs’e verildi. Yukarıda da belirtildiği gibi, Englert’in çalışma arkadaşı Robert Brout 2011 yılında vefat ettiğinden, ödüle ortak olamadı –ç.n.

BU UFKUN ÖTESİNDE

*Burada, Higgs bozonunun ötesinde ne olduğunu ele alıyoruz:
Yeni kuvvetlerin, simetrilerin ve boyutların dünyası mı?*

On yaşında, yıldızlar Vera Rubin'i büyülemeye başlamıştı. İlgişi hiç azalmadı ve üniversiteye başvurduğunda, astronomi okumak istemesi çok doğaldı. Ama 1940'lardaydılar ve kadınların bilime girmesi pek de hoş karşılanmıyordu. Bir noktada, Swarthmore College'in kayıt memuruyla konuşurken, adam ona başka bir ilgi alanı olup olmadığını sordu. O da resim yapmaktan da hoşlandığını söyleyiverdi. Bunun üzerine kayıt memuru fırsatı değerlendirip "Astronomik nesnelerin resimlerini yapabileceğiniz bir meslek seçmeyi hiç düşündünüz mü?" diye sordu. Rubin sonunda Vassar College'a girdi ama soru da etkisini göstermişti. Daha sonra şöyle anımsar: "Bu daha sonra ailemizde bir slogan haline geldi: Yıllar boyu, birinin işlerinde bir aksaklık yaşandığında, kendi aramızda 'Astronomik nesnelerin resimlerini yapabileceğiniz bir meslek seçmeyi hiç düşündünüz mü?' dedik."

Rubin sebat etti, Cornell ve Georgetown Üniversitelerinde lisansüstü çalışmalarını sürdürdü. Yol kolay değildi; lisansüstü eğitim kataloğunu istemek için Princeton'a yazdığında, astronomi bölümünün lisansüstü kadın öğrenci kabul etmediğine dikkat çekerek kataloğu göndermeyi reddettiler. (Bu politika sonunda 1975'de terk edildi.)

Bir bilim insan olarak başarılı olmanın sırlarından biri, başkalarının bakmadığı yerlere bakmaktır. Giderek daha büyük

teleskoplar ortaya çıktıkça, birçok astronom bakışlarını uzak galaksilerin merkezlerine, yıldızlarla ve etkinliklerle dolu yerlere yönelttiler. Rubin bunların dışındaki eteklerine yoğunlaşmayı seçti ve uçlarda yavaşça yörüngelerinde hareket eden seyrek yıldızlarla gazları inceledi. Bu teknik, bir galaksinin toplam kütesinin hesaplanması için bir yol sağlar: İçeride ne kadar madde varsa, dıştaki yıldızların kütleçekim alanı da o kadar yüksek olur ve yörüngelerinde daha hızlı hareket ederler.

Rubin ve çalışma arkadaşı Kent Ford şaşırtıcı bir şey buldular. Bir galaksinin merkezinden uzaklaştıkça, yıldızların giderek daha yavaş hareket etmesini bekleriz, tıpkı güneş sistemindeki uzak gezegenlerin güneşin çevresinde daha yavaş dönmeleri gibi. Kütleçekim alanı daha düşüktür, bu yüzden direnecek daha az kuvvet vardır ve bu da bir yörüngeyi sürdürmek için daha düşük hızların yeterli olmasını sağlar. Ama Rubin ve Ford çok farklı bir şey buldular: Bir galaksinin yoğun merkezi bölgesinden uzaklaştıkça, yıldızlar aynı hızda hareket ediyordu. Bunun sonucu kabullenmesi zor da olsa, açıkltı: Bir galakside bizim gözlemlediğimizden çok daha fazla madde vardı ve bunun da çoğu görünür yıldızların aksine, merkezden uzakta yer alıyordu.

Rubin ve Ford'un denk geldikleri bugün modern kozmolojinin merkezinde yer alan şaşırtıcı bir olgudur: kara madde.

Onlar ilk değildi; daha 1930'larda İsviçreli-Amerikalı astronom Fritz Zwicky Coma galaksi kümesinde teleskoplarımızla gözlemleyebildiğimizden çok daha fazla madde olduğunu kanıtlamıştı, Hollandalı astronom Jan Oort da yerel galaksiler grubunda açıkça görülenden çok daha fazla madde olduğunu göstermişti. Fakat uzun süre maddenin yalnızca "bulunamadığı" umuldu; yalnızca sıradan maddeydi ama bizim kolaylıkla göremediğimiz bir biçimde. Galaksiler, kümeler ve bir bütün olarak evren hakkında daha fazla şey öğrendikçe, iki sayıyı hassaslıkla ayrı ayrı ölçmeyi başardık: Evrendeki toplam madde miktarı ve toplam "sıradan madde" miktarı, ki buna atomlar, toz, yıldızlar, gezegenler ve Standart Modelde bilinen her türden parçacık dahildir.

İki sayı örtüşmüyorlar. Evrendeki sıradan maddenin toplam miktarı toplam maddenin yaklaşık beşte biri kadar. Büyük çoğunluğu kara madde ve kara madde Standart Modeldeki parçacıklardan herhangi birisi olamaz.

Higgs bozonu Standart Model bilmecesindeki son parça ama kuşkusuz Standart Model yolun sonu değil. Kara madde oralarda bir yerlerde anlaşılması gereken çok fazla fizik olduğunun sadece bir belirtisi. Heyecan verici bir olasılık, Higgs'in bildiklerimiz ve bilmeyi umduklarımız arasında bir köprü görevi görmesi. Higgs'in özelliklerini dikkatlice inceleyerek, bizimkinin ötesindeki kara dünyalara ışık tutmayı umuyoruz.

Erken evren

Kara madde üzerine biraz daha dikkatli düşünelim, çünkü bu Standart Modelin ötesindeki fizik için en güçlü kanıtların kimilerini sağlıyor ve bu yeni fiziği daha iyi anlamamızda Higgs'in nasıl devreye girebileceğinin önemli bir örneğini oluşturuyor. Karanlık maddenin yaşamsal önemdeki bir özelliği, bunun kah-verengi cüceler, gezegenler ya da yıldızlararası toz benzeri (atom filan gibi) sıradan maddenin bir "kara" biçimi olamayacağıdır. Çünkü sıradan maddenin miktarı üzerine, erken evrendeki süreçlerden hareketle gayet iyi ölçümlerimiz var.

Kara maddeyi anlamak için, nereden geldiğini düşünmemiz gerekir. Temelde bir süper-fırın olan bir deneysel cihazımız olduğunu düşünün: içinde malzemeyle kapalı bir kutu, bir de sıcaklığı istediğiniz kadar sıcak ya da soğuk yapabileceğiniz bir anahtar. Sıradan bir fırın 260 dereceye kadar ısınabilir, bu da parçacık fiziği ölçüleriyle 0,04 elektronvolt eder. Bu sıcaklıkta moleküller yeniden dizilebilirler (biz buna "pişme" diyoruz) ama atomlar bütünlüklerini korurlar. Birkaç elektronvolt ya da daha yukarı çıkarsak, elektronlar çekirdeklerinden kopartılırlar. Milyon elektronvoltlara (MeV) geldiğimizde, çekirdekler de dağılır ve elimizde serbest protonlar ve nötronlar kalır.

Yüksek sıcaklıklarda bir şey daha olur: parçacıklar arasındaki çarpışmalar o kadar enerjili olur ki, yeni parçacık/karşı-parçacık çiftleri yaratabilirsiniz, tıpkı bir parçacık çarpıştırıcıda olduğu gibi. Sıcaklık bir parçacık artı onun karşı-parçacığının toplam kütesinden yüksekse, böylesi çiftlerin bol bol üretilmesini bekleriz. Yani, yeterince yüksek sıcaklıklarda, başlangıçta kutunun içinde neyin olup olmadığının bir önemi kalmaz; elimizde olan, kütleleri içerideki sıcaklıktan düşük tüm parçacık-

larla dolu sıcak plazmadır. (Hem kütle hem de sıcaklığın GeV olarak ölçülebildiğini anımsayın.) Sıcaklık 500 GeV olursa, kutumuz Higgs bozonlarıyla, tüm kuarklar ve leptonlarla, W ve Z bozonlarıyla filan kaynar, burada, yeryüzünde henüz keşfetmediğimiz yeni parçacıklardan hiç söz etmiyorum. Sıcaklığı kademeli bir şekilde düşürürsek, bu yeni parçacıklar kendi karşı-parçacıklarıyla çarpışarak yok olup kademeli bir şekilde ortadan kaybolacaklar ve elimizde sadece başlangıçtaki parçacıklar kalacaktır.

Erken evren aşırı sıcak fırınımızın içindeki plazmaya çok benzer, yaşamsal önemde fazladan bir unsurla: Uzay inanılmaz bir hızla genişlemektedir. Uzayın genişlemesinin iki önemli etkisi olur. Birincisi, sıcaklık düşer, yani fırınımızın çok yüksek başlayan sıcaklık düğmesi hızla kapatılmış gibi olur. İkincisi, genişleyen uzayda parçacıklar birbirlerinden uzaklaşırken maddenin yoğunluğu da hızla düşer. Bu ikinci özellik erken evrenle bir fırın arasındaki yaşamsal önemde bir farklılıktır. Yoğunluk düştüğü için, özgün plazmada üretilen parçacıklar yok olma fırsatı bulamayabilir; bunlardan biri için ona karşılık gelen karşı-parçacığı bulmak fazla zor olabilir.

Sonuç olarak, ilksel plazmadan bu parçacıkların bir kalıntı fazlalığını elde edebiliriz ve bu fazlalığın tam olarak ne olacağını, parçacıkların kütlelerini ve etkileşme hızlarını biliyorsak, hesaplayabiliriz. Parçacıklar, Higgs bozonunun olduğu gibi istikrarsızsa kalıntı fazlalık hayli önemsizdir, çünkü parçacıklar bozunup gider. Ama istikrarlıysalar, elimizde kalırlar. Erken evrenden arta kalan bir istikrarlı parçacığın bugün kara maddeyi oluşturduğunu tasavvur etmek kolaydır.

Standart Modelde bu oyunu atom çekirdeğiyle oynayabiliriz. Yaşamsal bir fark, karşı-maddeden daha fazla maddeyle başlamış olmamızdır, bu yüzden madde hiçbir zaman yok olup gitmez. Hayli yüksek bir sıcaklıkta, diyelim 1 GeV civarında başlayalım. Plazma protonlar, nötronlar, elektronlar fotonlar ve nötrinolardan oluşacaktır; tüm diğer daha ağır parçacıklar bozunmuş olacaktır. Sıcaklık, protonlarla nötronların derhal ayrılmadan çekirdek oluşturamayacakları kadar yüksektir. Ama evren genişleyip soğudukça Büyük Patlamadan birkaç saniye sonra çekirdekler oluşmaya başlar. Sadece birkaç dakika sonra,

yoğunluk o kadar azalmıştır ki çekirdekler artık çarpışmaz ve bu tepkimeler sona erer. Elimizde belli bir protonlar ve hafif elementler bileşimi kalmıştır: döteryum (ağır hidrojen, bir proton, bir nötron), helyum ve lityum. Bu süreç “Büyük Patlama nükleosentezi” olarak bilinir.

Bu elementlerin görelî çokluğunun kesin hesaplamalarını, bir tek girdi parametresiyle yapabiliriz: protonlarla nötronların başlangıç çoklukları. O zaman ilksel element çokluklarını gerçek evrende gördüklerimizle karşılaştırabiliriz. Yanıt hassasiyetle uyuyor ama yalnızca özgül bir proton ve nötron yoğunluğu için. Bu mutlu sonuç umut verici, çünkü erken evren üzerine düşünme tarzımızın temelde doğru yolda olduğunu gösteriyor. Protonlarla nötronlar sıradan maddedeki kütleinin çok büyük çoğunluğunu oluşturduğundan, bugün hangi biçimi almış olursa olsun, evrende ne kadar sıradan madde olduğunu biliyoruz. Bu da var olan tüm maddeye karşılık gelmeye yeterli değil.

WIMP’ler

Kara madde konusunda umut vaat eden bir strateji nükleosentezle oynadığımız oyunun aynısını oynamak ama çok daha yüksek sıcaklıklarla başlayıp karışma yeni bir parçacık, kara madde olacak bir parçacık eklemektir. Kara maddenin kara olduğunu biliyoruz, yani yeni parçacık elektriksel olarak nötr olmalıdır. (Yüklü parçacıklar elektromanyetizmayla etkileşen parçacıklardır bu yüzden ışık vermeye eğilimlidirler.) Ve hâlâ ortalıkta olduğunu biliyoruz, demek ki istikrarlı olmalıdır ya da en azından evrenin yaşından daha uzun bir yaşam süresine sahiptir. Daha ayrıntılı bir şeyler de biliyoruz: Kara madde kendi kendisiyle çok yeğîn bir etkileşime girmez. Girseydi, galaksilerin merkezlerine yerleşir, verilerden anlaşıldığı kadarıyla büyük kabarık haleler oluşturmazdı. Yani kara madde yeğîn çekirdek kuvvetini de hissetmiyor. Doğanın bilinen kuvvetleri arasında, kara madde kuşkusuz kütleçekimi hissediyor, zayıf çekirdek kuvvetini de hissediyor da olabilir, hissetmiyor da.

Farklı bir yeni parçacık tasavvur edelim: bir “Zayıf Etkileşen Kütleli Parçacık,” ya da WIMP (Weakly Interacting Massive Particle). (Kozmologlar yeni adlar uydurmaya gelin-

ce, hayli yüz­süz olurlar.¹⁾ “Zayıf etkileşen” derken, “çok etkileşmiyor” demek istemiyoruz; parçacık fiziğini zayıf etkileşimini hissediyor demek istiyoruz. Basitlik adına, WIMP’in zayıf etkileşimlerle ilgili, W ve Z bozonları ya da Higgs gibi diğer parçacıklarla uyumlu bir kütle­ye sahip olduğunu varsayalım. 100 GeV civarı diyelim ya da en azından 10-1000 GeV arasında. Böylesi bir parçacığın nasıl etkileşime girdiğine dair diğer ayrıntılar yüksek hassasiyetli hesaplamalar için gereklidir ama sadece bu temel özellikler kaba hesaplar yapmak için yeterli olur.

Sonra böylesi bir WIMP’in öngörülen çokluğunu kara madde­nin fiili çokluğuyla karşılaştırırız. Şaşırtıcı bir şekilde, bulduklarımız çok güzel uyuşurlar. Başka hangi parçacıkların var olabileceği ve WIMP’in tam olarak nasıl yok olduğu gibi konularda biraz oynama mesafesi var ama kaba uyum çarpıcı. Zayıf boyutta etkileşimli istikrarlı parçacıklar, çok da zorlamaya gerek kalmadan, kara maddeyi açıklayacak kalıntı çokluğuna sahipler.

Bu ilginç rastlantı “WIMP mucizesi” olarak bilinir ve birçok parçacık fizikçisine kara maddenin sırrının W/Z/Higgs bozonuyla benzer kütle ve etkileşime sahip yeni parçacıklarda yattığı umudunu vermiştir. Tüm bu parçacıklar tabii ki hızla bozunurlar bu yüzden WIMP’in istikrarlı kalmak için iyi nedenleri olmalı ama bunları icat etmek zor olmasa gerek. Birçok başka inandırıcı kara madde kuramı vardır, bunlara Steven Weinberg ve Frank Wilczek tarafından icat edilen ve Higgs’in çok hafif bir kuzeni gibi duran, “axion” adı verilen parçacık da dahildir ama WIMP modelleri açık arayla en popüler olanlardır.

Kara maddenin bir WIMP olması olasılığı, Higgs’in de bunlarla etkileşime girecek olması nedeniyle kimi heyecan verici deneysel olanaklara kapı açıyor. Gerçekten de WIMP kara maddenin olası modellerinin birçoğunda (muhtemelen çoğunluğunda ama sayması zor) kara maddeyle sıradan madde arasındaki en güçlü bağlanma bir Higgs bozonu değişimiyle olacaktır. Higgs dünyamızla evrendeki maddenin çoğunluğu arasındaki bağlantı olabilir.

1 Kısaltmada kullanılan wimp sözcüğü İngilizcede pısrık, korkak anlamlarına gelir –ç.n.

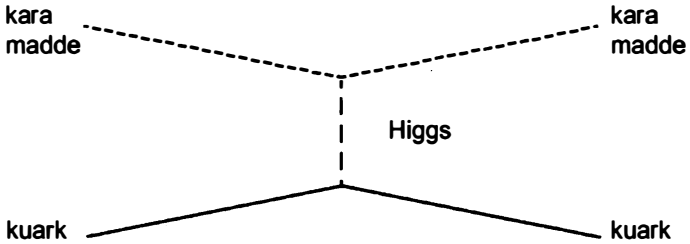
Higgs geçidi

Bu özellik, Higgs değişimi yoluyla etkileşim, Standart Modelin ötesindeki fizik kuramlarının birçoğunda ortaktır. “Saklı sektör” olarak bilinen yerde bir dizi yeni parçacık var ve bunlar şimdiye kadar incelediğimiz parçacıklarla fark edilebilir bir etkileşime girmiyorlar. Higgs bilinen fermionlara ve ayar bozonlarına göre biraz daha sosyal, bu da yeni parçacıklarla etkileşime girmesi daha olası demek oluyor. Higgs’i keşfetmiş olmamızın anlamının hem büyük bir projenin tamamlanması, yani Standart Modelin inşası ama aynı zamanda da yenisinin, yani bu modelin ötesindeki saklı dünyaları bulmanın başlangıcı olması buradan kaynaklanıyor. Wilczek ve işbirlikçisi Brian Patt bu olasılığı Standart Modelle saklı madde sektörleri arasındaki “Higgs geçidi” olarak adlandırmışlardı.

Dokuzuncu Bölümde Higgs’in saptanmasını konuşurken Higgs’in bir sanal parçacıklar döngüsünün aracılığıyla iki fotona bozunmasına dikkat çekmiştim. Böyle bir sürecin gerçekleşmesinin fiili hızı bu döngüde belirebilecek tüm farklı parçacıklara bağlıdır, yani hem Higgs’e hem de fotonlara bağlanabilecek parçacıklara. Dolayısıyla, bu bozunmayı titizlikle ölçer ve bekledimizden daha hızlı gerçekleştiğini görürsek, bu yeni parçacıkların varlığı lehine, bunları görmüyor olsak da güçlü bir kanıt olur. 2011 ve 2012 başlarından LHC verileri, aradaki fark önemli olmasa da Standart Modelin öngördüğünden daha fazla foton üretildiğini işaret ediyor gibidir. Bu kuşkusuz, daha fazla veri toplandıkça, üzerinde durulması gereken bir şeydir.

WIMP senaryosunda, kara madde her yerdedir, hatta tam şimdi oturduğunuz yerde. Yerel çevremizde, kabaca her kahve fincanı boyundaki uzay hacminde bir kara madde parçacığı olmasını bekleriz. Ama parçacıklar hayli hızlı hareket ediyorlar, normalde saniyede yüzlerce kilometre. Bunun sonucunda, her saniye bedeninizden milyarlarca WIMP geçiyor. Ama çok zayıf etkileşime girdikleri için hiç fark etmiyorsunuz; WIMP’lerin çoğu hiç etkileşime girmeden içimizden geçip gidiyor. Ama etkileşimler çok az olsa da sıfır değiller. Bir WIMP, Higgs bozonu değişimi yaparak bedeninizin içindeki proton ya da nötronların içerdiği kuarklardan biriyle çarpışabilir. Fizikçiler Katherine

Freese ve Christopher Savage mantıklı modellerde, her yıl tipik bir insan bedenindeki atomlarla yaklaşık on kara madde parçacığının etkileşime girdiğini hesaplamışlardır. Tek tek etkileşimlerin etkisi hayli göz ardı edilebilir bir şeydir, bu yüzden bir kara madde karın ağrısından endişe etmeyin.



Şekil 23: Bir kara madde parçacığının bir Higgs bozonu değişimi yoluyla bir kuarkı dağıtmasının Feynman diyagramı betimlemesi.

Ama bu tür etkileşimleri kara madde aramasında kullanabiliriz. LHC’de olduğu gibi, yaşamsal önemde bir iş sinyalleri arda lan gürültüsünden ayırmaktır. Bir çekirdeğe toslayabilecek tek şey kara madde değildir; radyoaktivite ve kozmik ışınlar da bunu hep yaparlar. Bu yüzden fizikçiler yeraltının derinliklerine, bu rahatsız edici ardalardan olabildiğince yalıtılacakları maden kuyularına ve özellikle bu iş için inşa edilmiş tesislere giderler. Buralarda dedektörler inşa edip sabırla oradan geçip bir çekirdeğin zedeleyen bir kara madde parçacığının zayıf sinyalini beklerler. İki tür dedektör popüler olmuştur: Kriyojenik dedektör bir kara madde parçacığı düşük sıcaklıktaki bir kristalin içindeki çekirdekle çarpıştığında oluşan sıcaklığı kaydeder, sıvı asal gaz dedektörü de bir kara madde parçacığı sıvı ksenon ya da argonla etkileşime girdiğinde ışıldamayla oluşan ışığı ölçer.

Yeraltının derinliklerine inip ortamdaki kara madde parçacıklarıyla etkileşimleri arama stratejisi “doğrudan saptama” olarak bilinir ve süregiden yüksek öncelikli bir araştırma ufku dur. Şimdiye kadar birkaç deney olası modellerden bazılarını saf dışı bıraktı bile. Higgs bozonunun kütlesini bilmek WIMP özellikleri için kuramsal öngörülerini bu deneylerin görmesi olası işaretlerle ilişkilendirilmesine yardımcı olacaktır. Zaten yüksek

olan ve giderek yükselen hassasiyetlerle, önümüzdeki beş yıl içinde sonunda nihai olarak kara maddeyi saptarsak kimse şaşır-mayacaktır. Zaten bulamasa da şaşırmayacaklar; doğa hep sürprizler hazırlar.

Doğaldır ki, “doğrudan saptama” diye bir teknik varsa, bir de “dolaylı saptama” diye farklı bir teknik olacaktır. Buradaki fikir, bizim galaksimizde ya da başkalarındaki WIMP’lerin birbirle-riyle çarpışıp yok olmalarını beklemektir. Böylesi bir etkileşim-de üretilecek parçacıklar arasında gamma ışınları (yüksek ener-jili fotonlar) olacaktır ve bunlar uydu gözlemevleri kullanılarak aranabilir. Şu anda, NASA’nın Fermi Gamma-ışını Uzay Teleskopu gökyüzünü tarıyor, gamma ışınlarını gözlemliyor ve yüksek enerjili olguların veri tabanını düzenliyor. Bir kez daha, sinyali gürültüden ayırmak zordur. Astronomlar bu türden çok sayıda geleneksel astrofizik olayından ayırt etme umuduyla yok olan kara maddenin ne tür gamma ışını sinyali üreteceğini anla-maya çalışıyorlar. Kara maddenin Higgs bozonu aracılığıyla başka parçacıklara bozunacağına yok olup Higgs bozonu üret-meleri olasılığı da var, bu senaryo doğaldır ki “Uzayda Higgs” olarak adlandırılmıştır.

Son olarak burada, LHC’de kara madde yaratmayı düşünebi-liriz. Higgs kara maddeye bağlanıyorsa, kara madde de fazla ağır değilse, Higgs’in bozunabileceği yollardan biri de doğrudan WIMP’e olur. Tabii ki WIMP’i saptayamayız çünkü çok zayıf etkileşirler; üretilse bile doğrudan dedektörün dışına uçacaktır, tıpkı nötrinoların yaptığı gibi. Ama gözlemlenen Higgs bozu-numlarını toplayıp beklenen sayıyla karşılaştırabiliriz. Beklendiğinden daha az olursa, bu bazen Higgs’in görünmez parçacıklara bozunduğu anlamına gelebilir. Böylesi parçacıkla-rın neler olduğunu çözmek, tabii ki, zaman alabilir.

Doğal olmayan bir evren

Kara madde Standart Modelin ötesinde bir fiziğe gerek duy-duğumuzun somut kanıtıdır. Bu fizikçilerin uğraşmaya alışık oldukları, kuramla deneyin açık bir anlaşmazlığıdır. Yeni bir fiziğin gerekli olduğunun farklı türden bir kanıtı daha vardır: Standart Model içinde ince ayar.

Standart Model gibi bir kuramı nitelendirmek için ilgili alanların (kuarklar, leptonlar, ayar bozonları, Higgs) ama aynı zamanda da kuramın parametreleri olarak işlev gören çeşitli sayıların değerlerinin bir listesini çıkartmalısınız. Buna parçacıkların kütlelerinin yanında her etkileşimin gücü de dahildir. Örneğin elektromanyetik etkileşimin gücü “ince yapı sabiti” adı verilen bir sayı tarafından sabitlenir, bu fizikte sayısal olarak $1/137$ ’ye eşit olan ünlü bir niceliktir. Yirminci yüzyılın ilk yıllarında kimi fizikçiler ince yapı sabitinin değerini açıklayacak akıllı bir sayısal formül bulmaya çalışmışlardı. Bugünlerde, bunun sadece Standart Modelin girdilerinin bir parçası olduğunu kabul ediyoruz ama temel etkileşimlerin daha birleştirilmiş bir kuramının bunu ilk ilkelerden hesaplamamızı sağlayacağı umudu da kaybolmuş değil.

Her ne kadar tüm bu sayılar gidip ölçmemiz gereken nicelikler olsa da fizikçiler halen bunların alacakları “doğal” değerler olabileceğine inanıyorlar. Çünkü, kuantum alan kuramının bir sonucu olarak, ölçtüğümüz sayılar birçok farklı sürecin karmaşık bileşimlerini oluşturuyor. Esas olarak, nihai sonucu elde etmek için çeşitli türlerden sanal parçacıkların farklı katkılarını toplamamız gerekiyor. Üzerinden bir foton sıçratarak bir elektronun yükünü ölçtüğümüzde, devreye giren sadece elektron olmaz; o elektron bir dalgadaki titreşimdir ve başka alanlardaki her türden kuantum dalgalanmasıyla çevrelenmiştir, bunların tümü bir araya gelip “fiziksel elektron” olarak algıladığımız şeyi oluşturur. Her sanal parçacık düzeneği nihai yanıtı özgül miktarda bir katkıda bulunur ve bazen de bu miktar çok büyük olabilir.

Dolayısıyla, belli bir niceliğin gözlemlenen değerinin onun yaratılmasına etki eden tek tek katkılardan çok daha küçük olması şaşırtıcı olmaz; bu, büyük pozitif katkılarının büyük negatif katkılarla toplandığını ve minik bir nihai sonuç oluşturdıklarını gösterir. Kuşkusuz bu olasıdır; ama beklenen bu değildir. Bir parametreyi beklediğimizden çok daha küçük ölçersek, bir ince ayar sorunu olduğunu ilan ederiz ve kuramın “doğal olmadığını” söyleriz. Nihayetinde elbette, neyin doğal olduğuna doğa karar verir, biz değil. Ama kuramımız doğal değilmiş gibi duruyorsa, bu daha iyi bir kurama gerek duyduğumuzun bir işaretidir.

Çoğunlukla, Standart Modelin parametreleri hayli doğaldır. Öne çıkan iki istisna vardır: Higgs alanının boş uzaydaki değeri ve boş uzayın, “vakum enerjisi” olarak da bilinen enerji yoğunluğu. Her ikisi de olmaları gerekenden çok daha düşüktür. Her ikisinin de boş uzay ya da “vakumun” özellikleriyle ilgili olduğuna dikkat edin. Bu ilginç bir olgudur ama kimse problemi çözmekte bundan yararlanamamıştır.

İki sorun da birbirlerine benzerler. Hem Higgs alanının hem de vakum enerjisinin değeri için, canınızın istediği herhangi bir değeri belirleyerek başlayıp sonra da üzerine sanal parçacıkların etkilerinin ilave katkısını hesapladığınızı tasavvur edebilirsiniz. Her iki durumda da sonuç nihai sonucu giderek daha büyük bir hale getirmektir. Higgs alanı değerinin durumunda, kabaca bir tahmin normalde olduğunun yaklaşık 10^{16} , yani on katrilyon katı olduğunu söyler. Doğrusunu söylemek gerekirse, ne “olması gerektiği” konusunda fazla hassas olamayız, çünkü bütün etkileşimlerin birleşik bir kuramına sahip değiliz. Tahminimiz, sanal parçacıkların Higgs alanını daha büyük bir hale getirmek istediği olgusundan kaynaklanır ve mantık çerçevesinde ne kadar yukarı çıkabileceğinin bir sınırı vardır, buna “Planck ölçeği” diyoruz. Bu, yaklaşık 10^{18} GeV düzeyindeki, kuantum kütleçekimin önemli hale geldiği ve uzay-zamanın herhangi bir kesin anlama sahip olmaya son verdiği enerji düzeyidir.

Higgs alanının boş uzaydaki beklenen değeriyle gözlemlenen değeri arasındaki muazzam fark “hiyerarşi problemi” olarak bilinir. Zayıf etkileşimleri nitelendiren (Higgs alanı değeri, 246 GeV) ve kütleçekimi nitelendiren (Planck ölçeği, 10^{18} GeV) enerji ölçekleri aşırı farklı sayılardır; sözünü ettiğimiz hiyerarşi budur. Bu haliyle yeterince garipken, bir de sanal parçacıkların kuantum mekaniği etkilerinin zayıf ölçeği Planck ölçeğine çıkartmak istediğini anımsamamız gerekir. Neden bu kadar farklıdır?

Vakum enerjisi

Hiyerarşi problemi yeterince kötü değilmiş gibi, vakum enerjisi problemi daha da kötüdür. 1998’de, uzak galaksilerin hızlarını inceleyen astronomlar şaşırtıcı bir keşifte bulundular: evren

genişlemekle kalmıyor, hızlanıyordu da. Galaksiler sadece bizden uzaklaşmıyorlardı, giderek daha hızlı uzaklaşıyorlardı. Bu olgu için olası farklı açıklamalar var ama çok basit bir tanesi elimizdeki verilere de çok iyi uyuyor: 1917’de Einstein tarafından “kozmolojik sabit” olarak ortaya atılan vakum enerjisi.

Vakum enerjisi fikri belli bir tamamen boş uzay hacminin ne kadar enerji içerdiğini bize söyleyen bir doğa sabiti olmasına dayanır. Yanıt sıfır değilse, ki böyle olması için bir neden yoktur, bu enerji evreni dışarı doğru itmeye çalışır bu da kozmik hızlanmaya yol açar. Bunun böyle olduğu yolundaki keşif 2011 yılında Saul Perlmutter, Adam Riess ve Brian Schmidt’e Nobel Ödülü’nü kazandırmıştır.

Brian lisansüstü döneminde ofis arkadaşımdı. Son kitabım olan *From Eternity to Here*² içinde, o güzel günlerde girdiğimiz bir iddianın öyküsünü aktarmıştım; yirmi yıl içinde evrendeki maddenin toplam yoğunluğunu bilemeyeceğimizi söylemişti, ben bileceğimizden emindim. Kısmen onun çabaları sonucu, şimdi artık evrenin yoğunluğunu bildiğimize kani olduk ve ben de 2005 yılında Harvard’daki Quincy House’un çatısındaki dokunaklı bir seremoniyle kazandığım bir şişe eski porto şarabını aldım. Daha sonra, dünya çapında bir astronom ama uslanmaz kötümser bir kâhin olan Brian LHC’de Higgs bozonunu bulamayacağımıza dair benimle bahse girdi. Bu yakınlarda bu bahiste de yenilgiyi kabul etti. İkimiz de yaşlandığımızdan, bahis de bu doğrultuda yükselmisti; Brian’ın yenilgisinin bedeli, sık sık uçarak biriktirdiği uçuş millerini benim ve eşim Jennifer’ın Avustralya’ya onu ziyarete giderken yaptığımız uçak yolculuğu için kullanmak oldu. En azından Brian bu konuda ünlü kişilerle aynı kaderi paylaştı; Stephen Hawking de Gordon Kane’le Higgs bozonunun bulunamayacağı konusunda 100 dolar bahse girmişti ve o da ödemeyi kabul etti.

Astronomların gözlemlerini açıklamak için çok fazla vakum enerjisine gerek yok; yalnızca santimetre küpte bir elektronvoltun on binde biri. Higgs alanı değerinde olduğu gibi, vakum enerjisinin ne büyüklükte olduğunu kaba taslak hesaplayabiliriz. Yanıt, bir santimetre küpte 10^{16} elektronvolt çıkar. Bu gözlemle-

2 Türkçesi: *Zamanın Kozmolojik Tarihi*, çev. M. Moralı (Alfa, İstanbul 2018) –ç.n.

nen değerin 10^{120} katı, o kadar büyük bir sayı ki, buna bir ad takmaya kalkışmadık bile. Hiyerarşi problemi kötü ama vakum enerjisi problemi sayısal olarak çok daha kötü.

Vakum enerjisini anlamak, günümüz fiziğinin önde gelen çözülmemiş sorunlarından biri. Tahmin edilen vakum enerjisini o kadar büyük yapan birçok katkıdan biri de boş uzayda sıfır olmayan bir değerle oturan Higgs alanının (pozitif ya da negatif) çok fazla enerji taşıyor olması gereği. Bu Phil Anderson'ın şimdi artık Higgs mekanizması olarak adlandırdığımız şeyden endişelenmesinin nedenlerinden biridir; boş uzaydaki bir alanın büyük enerji yoğunluğu bu boş uzayın fiilen sahip olduğu görece küçük enerji yoğunluğuyla uyumsuz gibi duruyor. Bugün bunu Higgs bozonu açısından oyun bozan olduğunu düşünmüyoruz, çünkü vakum enerjisine daha da büyük olan birçok başka katkısı da var, bu yüzden sorun Higgs'in katkısından çok daha derinlere kadar iniyor.

Vakum enerjisinin tam olarak sıfır olması ve evrenin kesinlikle sabit olmayıp yavaşça bozunan bir enerji biçimi tarafından yayılmaya zorlanıyor olması da mümkündür. Bu fikir "kara enerji" başlığı altına giriyor ve astronomlar bunun doğru olup olmadığını test edebilmek için ellerinden gelen her şeyi yapıyorlar. Kara enerji için en popüler model Higgs'e çok benzeyen ama inanılmaz küçük kütleyle sahip yeni bir skaler alan biçimi olmasıdır. Bu alan kademeli bir şekilde sıfıra inecek, ama bu milyarlarca yıl sürecektir. Bu arada, enerjisi kara enerji gibi davranacaktır, uzaya düzgün bir şekilde yayılmış ve zaman içinde yavaşça değişen.

LHC'de saptadığımız Higgs bozonu doğrudan herhangi bir şekilde vakum enerjisiyle ilişkili değildir ama dolaylı bağlantılar söz konusudur. Bu konuda daha fazla şey bilirse, vakum enerjisinin neden bu kadar az olduğunu ya da yavaşça değişen bir kara enerji bileşeninin nasıl olabileceğini daha iyi anlayabiliriz. Küçük bir olasılık ama bu kadar inatçı bir sorun karşısında, küçük olasılıkları da ciddiye almalıyız.

Süpersimetri

Elektrozayıf kuramın başarısının verdiği önemli derslerden biri, simetrinin dostumuz olduğudur. Fizikçiler olabildiğince

fazla simetri bulmaya kendilerini adanmıştır. Bu doğrultuda belki de en ihtiraslı girişim, özellikle özgün olmasa da uygun bir adla önümüze çıkar: süpersimetri.

Standart Modelin kuvvetlerinin altında yatan simetrilerin tümü birbirine çok benzeyen parçacıkları birbirleriyle ilişkilendirir. Yeğin etkileşimlerin simetrisi farklı renkten kuarkları ilişkilendirirken, zayıf etkileşimlerin simetrisi yukarı kuarkları aşağı kuarklarla, elektronları elektron nötrinolarla ve benzer şekilde tüm diğer fermion çiftlerini ilişkilendirir. Aksine, süpersimetri fermionları bozonlarla ilişkilendirmek gibi ihtiraslı bir adım atar. Elektronlarla elektron nötrinolar arasındaki simetri elmalarla portakalları karşılaştırmaya benziyorsa, fermionları bozonlarla bağlantılandırmak muzlarla orangutanları karşılaştırmaya benzer.

İlk bakışta böylesi bir proje pek umut vaat etmiyor. Bir simetrinin bulunduğunu söylemek, belli bir ayrımın önemli olmadığını beyan etmektir; kuarkları “kırmızı,” “yeşil” ve “mavi” diye etiketleriz ama hangi rengin hangisi olduğu önemli değildir. Elektronlarla elektron nötrinolar kuşkusuz farklıdır ama bunun nedeni zayıf etkileşim simetrisinin boş uzayda dolanan Higgs alanı tarafından bozulmasıdır. Higgs orada olmasaydı, elektronla elektron nötrinin (sol-elli kısımları) birbirlerinden ayırt edilemeyecekti.

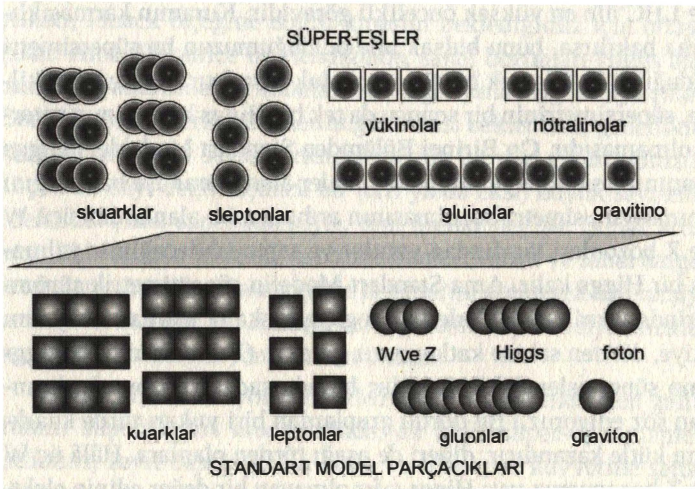
Standart Modelin fermionlarıyla bozonlarına baktığımızda, tamamen ilgisiz görünürler. Kütleleri farklıdır, yükleri farklıdır, bazı parçacıkların zayıf ve yeğin kuvvetlerden etkilenmeleri bazılarının da etkilenmemeleri farklıdır, parçacıkların toplam sayısı bile farklıdır. Burada gizlenen bariz bir simetri yoktur.

Ama fizikçiler sebat göstermeye eğilimlidir ve sonunda Standart Modelin tüm parçacıklarının süpersimetriyle ilişkili oldukları yeni “süper-eşlere” sahip oldukları fikrini buldular. Bu süper-eşlerin hepsinin çok ağır oldukları varsayılıyor, dolayısıyla henüz hiçbirini saptayamadık. Bu akıllıca fikri kutlamak üzere, fizikçiler şirin bir adlandırma usulü yarattılar. Elinizde bir fermion varsa, bunun bozon süperortağı için başına “s-” ekleyin; elinizde bir bozon varsa, fermion süperortağı için sonuna “-ino” ekleyin.

Böylece, süpersimetride “selektron,” “skuark” vb adları olan yeni bir dizi bozon ve “fotino,” “gluino” ve “higgsino” adına bir dizi yeni fermion olur. (Dave Barry’nin söylemekten hoşlandığı gibi, yemin ederim ki bunu ben uydurmuyorum.) Süper-eşler

özgün parçacıklarla aynı genel özelliklere sahipler, yalnızca kütleleri çok daha fazladır ve fermionlarla bozonlar yer değiştirmiştir. Böylece, bir “süst” bir üst kuarkın bozonsu ortağı olup hem yeğın hem de zayıf etkileşimlerden etkilenir ve $+2/3$ yüke sahiptir. İlginçtir, özgöl süpersimetri modellerinde süst genellikle en hafif bozonsu eştir ama üst en ağır fermiondur. Fermionsu süper-eşler birbirleriyle karışmaya eğilimlidir, bu yüzden W bozonlarıyla yüklü Higgs bozonlarının eşleri karışarak “yükino”³ olurlar; Z, foton ve nötr Higgs’in eşleri de karışarak “nötrolino” olurlar.

Süpersimetri şimdilik tamamen spekülâtif bir fikirdir. Çok güzel özellikleri var ama lehine hiçbir doğrudan kanıta sahip değiliz. Gene de özellikler o kadar güzel ki, Standart Modelin ötesindeki parçacık fiziği için fizikçilerin en popüler tercihi oldu. Ne yazık ki, altta yatan fikir çok basit ve zarif olmasına karşın, süpersimetrinin gerçek dünyada bozulacağı çok açık; yoksa parçacıklarla süper-eşlerin kütleleri aynı olurdu. Süpersimetriyi bir bozarsak, basit ve zarif olmaktan uzaklaşıp tanrının belası bir kargaşa haline gelir.



Şekil 24: Standart Model parçacıkları (aşağıda) ve süper-eşleri (yukarıda). Bozonlar daire, fermionlar da karedir. Her kuark ve skuarkın üçer kopyasıyla

3 Özgün İngilizcesinde, “yükino” için “yük” anlamındaki İngilizce sözcük olan “charge” kökünden “chargino” kullanılmıştır –ç.n.

gluonlarla gluinoların sekiz kopyası renkleri temsil eder. Süpersimetrik Standart Modelde normalindeki bir yerine beş Higgs bozonu vardır. W bozonlarıyla yüklü Higgs bozonlarının süper-eşleri karışıp yükinoları (charginos) oluştururlarken, Z, foton ve nötr Higgs bozonlarının süper-eşleri de karışıp nötralinoları oluşturur.

“Minimal Süpersimetrik Standart Model” diye bir şey var, bu muhtemelen gerçek dünyaya süpersimetri eklemenin en az karmaşık yolu; elle belirlenmesi gereken 120 yeni parametreyle geliyor. Bu da özgül süpersimetrik modeller inşa etmekte muazzam bir özgürlüğün olduğu anlamına geliyor. Genellikle, olayı izlenebilir hale getirmek amacıyla insanlar parametrelerin çoğunu sıfır ya da en azından eşit kabul ediyor. Pratik bir konu, tüm bu özgürlüğün süpersimetrinin ne öngördüğü konusunda özgül ifadelerde bulunmayı zorlaştırması. Belli verili deneysel kısıtlar çerçevesinde, genellikle henüz saf dışı bırakılmamış bazı parametre dizilerini bulmak mümkün.

Higgs’in aranmasının dışında, süpersimetri aranması herhalde LHC’nin en yüksek öncelikli görevidir. Kuramın karmaşıklığına bakılırsa, bunu bulsak bile bulduğumuzun bu süpersimetri olduğunu belirlemek büyük bir zorluk olacaktır. İlginç bir şekilde, süpersimetrinin bir sonucu da tek bir Higgs bozonunun yeterli olmamasıdır. On Birinci Bölümden Standart Modeldeki Higgs alanının eşit kütleyle sahip dört skaler alan olarak işe başladığını anımsayın; simetri bozulmasının ardından bu alanlardan üçü W ve Z bozonları tarafından yutulur ve saptayabileceğimiz yalnızca bir Higgs kalır. Ama Standart Modelin süpersimetrik sürümlerinde teknik nedenlerle başlangıçtaki skaler alanların sayısını ikiye, dörtten sekize katlamamız gerekir. (Buna fermionsu higgsino süper-eşler dahil değildir; burada sadece bozon alanlarından söz ediyoruz.) Bu dörtlü gruplardan biri yukarı türde kuarklara kütle kazandırır, diğeri de aşağı türden olanlara. Hâlâ üç W ve Z bozonumuz var; Higgs sıfır olmayan bir değer edinip elektrozayıf simetriyi bozduğunda skaler alanlardan üçü yutulur ve bu da bize serbestçe dolaşan beş farklı Higgs bozonu bırakır. Doğru: Süpersimetrinin basit bir sonucu normaldeki bir yerine beş Higgs bozonuna sahip olmamızdır. Birinin artı elektrik yükü vardır, diğerinin de eksi yükü, diğer üçü nötrdür.

Beş Higgs bozonu deneyçiler için çalışma demektir. LHC fizikçilerinin 125 GeV'ta yeni bir parçacık bulduklarını ilan ederken bu kadar temkinli olmalarının nedenlerinden biri de budur; bu *bir* Higgs bozonu olabilirdi ama *o* Higgs bozonu olması şart değildi. İnsanlar süpersimetrik modeller inşa etmeye çalıştıklarında, bir Higgs'i diğerlerinden daha hafif yapmak kolaydır, bu yüzden belki de biz onu keşfettik. Ama en hafif Higgs'in hayli hafif olmaya eğilimli olması genel bir özelliktir, genellikle de 115 GeV ya da daha düşük. Bunu 125 GeV'A kadar iteklemek mümkün olabilir ama bazı doğal gözükmeyen eğip bükme gerektirir. Daha fazla veriye acil ihtiyaç var, hem keşfedilmiş olan parçacığı daha iyi kavramak hem de daha fazlasını aramak için.

Keşfedecek fazladan parçacıklar olması fizikçileri mutlu eder ama bu bir kuram olarak süpersimetriye avantaj sağlamaz. İşte size daha elle tutulur bir avantaj: hiyerarşi probleminin çözümüne yardımcı olur.

Hiyerarşi problemi, sanal parçacıkların etkisinin Higgs alanını yukarı, Planck ölçeğine doğru itmesini beklediğimiz için ortaya çıkar. Ama dikkatlice incelendiğinde, sanal bozonları Higgs alanının bir yana, sanal fermionların da diğer yana ittiği ortaya çıkar. Genelde, bu etkilerin birbirlerini götürmesi beklenmez; genellikle, rastgele büyük bir sayıdan rastgele büyük bir sayı çıkarttığınızda küçük bir sayı değil, üçüncü bir (artı ya da eksi) büyük sayı elde edersiniz. Ama süpersimetriyle, tüm bunlar değişir. Şimdi artık kesinlikle eşleşen fermion ve bozon alanları vardır ve sanal dalgalanmalarının etkileri hassasiyetle birbirlerini götürerek hiyerarşiyi yerinde bırakabilir. Bu fizikçilerin süpersimetriyi ciddiye almalarının birincil motivasyonlarından biridir.

Başka bir motivasyon da WIMP kara madde fikrinden gelir. Tutarlı süpersimetri modellerinde, en hafif süper-eş tamamen istikrarlı, zayıf ölçeğe yakın kütle ve etkileşim kuvvetine sahip bir parçacıktır. Bu parçacığın elektrik yükü yoksa, yani bu bir nötralino'ysa, kara madde için kusursuz bir aday olur. Farklı süpersimetri modellerinde kalıntı nötralino çokluğunu hesaplamak amacıyla çok kuramsal çalışma yapıldı. Tam da o kadar çok yeni parçacık ve etkileşim olduğundan, geniş bir yelpazede çokluk değerleri olasıdır ama doğru kara madde yoğunluğuna ulaş-

ma zor olmaz. LHC’de ulaşılabilecek enerjilerde süper-eşler mevcutsa, gösterişli bir parçacık fiziği-kozmoloji sentezine ulaşabiliriz. Yüksekleri hedeflemek iyidir.

Sicimler ve ek boyutlar

Sicim Kuramı tüm zamanların en basit fikirlerinden biridir. Doğanın temel bileşenlerinin noktasal parçacıklar olacağına, küçük, titreşen sicimler olduğunu tasavvur edin. Bu kavram 1968 ve 1969’da, dağılan parçacıklardaki kimi matematiksel ilişkilerin parçacıkların yerine sicimlerin konması durumunda basitçe açıklanabileceğini birbirlerinden bağımsız bir şekilde öneren Yoichiro Nambu, Holger Nielsen ve Leonard Susskind’in bireysel makalelerine kadar geriye götürülebilir. Sicim parçaları ya da halkaları yeterince küçük olmaları durumunda bize parçacık gibi görünebilirler. “Sicimler neden yapılmıştır?” diye sormamanız gerekir, tıpkı “elektronlar neden yapılmıştır?” diye hiç sormamış olduğunuz gibi. Sicim maddesi her şeyin yapıldığı temel maddedir.

Özgün Sicim Kuramları yalnızca bozonları betimliyordu ve görünüşte ölümcül bir hatadan mustarıptiler: Boş uzay istikrarsızdı ve hızla bir enerji bulutuna çözünüyordu. Bunu düzeltmek için, sicim öncülerinden Pierre Ramond, André Neveu ve John Schwartz kurama fermionların nasıl ekleneceğini gösterdiler. Süreç esnasında süpersimetrinin ilk örneklerini de icat ettiler. Böylece “Süpersicim Kuramı” doğmuş oldu. Açık konuşalım: Tutarlı Sicim Kuramı modelleri illaki de süpersimetrikmiş gibi duruyorlar ama illaki de herhangi bir şekilde Sicim Kuramıyla bağlantılı olmayan süpersimetri modelleri de var. LHC’de süpersimetrik parçacıklar bulacaksak, bu Sicim Kuramının doğru yolda olması olasılığını artıracak ama sicimler için doğrudan bir kanıt oluşturmayacak.

Süpersicimler erken dönem sicim modellerinin istikrar sorununu çözdüler ama yanlarında sinir bozucu bir özellikte geldiler: her şeyin enerjisiyle bağlanan kütesiz bir parçacık. Bu sinir bozucuydu çünkü Sicim Kuramının başlardaki amacı yeğin kuvveti açıklamaktı ve çekirdek etkileşimlerinde böylesi bir parçacık yoktu. Sonra, 1974’te Joël Scherk ve Schwarz her şeyin

enerjisiyle bağlanan ünlü bir kütleli parçacık olduğuna dikkat çektiler: graviton. Dediler ki, yeğin etkileşimlerin bir kuramı olacak yerde, Sicim Kuramı belki de kuantum kütleçekiminin yanında tüm diğer bilinen kuvvetlerin de bir kuramıydı, *her şeyin kuramı*.

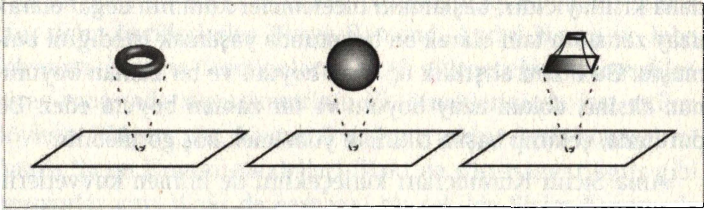
Bu fikir başta şaşkın bakışlarla karşılandı, çünkü 1970'lerin parçacık kuramcıları kütleçekimle o kadar da ilgili değillerdi. Ama 1984'e gelindiğinde Standart Modelin parçacık fizikini açıklamakta başarılı olduğu anlaşılmıştı ve kuramcılar yeni meydan okumalar peşindeydiler. O yıl, Michael Green ve Schwarz Süpersicim Kuramının, birçoklarının kuramı tutarsız hale getireceğini düşündüğü bir matematiksel kararlılık zorluğundan kaçınabileceğini gösterdiler. 't Hofft renormalize edilebilirliğini gösterir göstermez elektrozayıf kuramın popülerleşmesi gibi, Sicim Kuramı treni de Green-Schwarz makalesi sonrasında harekete geçti ve o yıllardan beri de parçacık kuramının önemli bir parçasıdır.

Sicim Kuramının çözmesi gereken bir sorun daha var: uzay-zamanın boyutluluğu. Kuantum alan kuramı Sicim Kuramından daha esnektir ve her türden farklı uzay-zamanlarda mantıklı alan kuramları mevcuttur. Ama Süpersicim Kuramı daha kısıtlayıcıdır; başlardaki incelemeler kuramın doğal olarak uzay zamanın tam olarak on boyutunda yaşamak istediğini bulmuştu. Bu bizim alışıldık üç uzay boyutu ve bir zaman boyutunun aksine, dokuz uzay boyutu ve bir zaman boyutu eder. Bu durumda, çekinip başka fikirlere yönelmek hoş görülebilir.

Ama Sicim Kuramcıları kütleçekimi de bilinen kuvvetlerin arasına katmanın büyüüne kapılmışlardı ve sebat ettiler. 1920'lerde Theodor Kaluza ve Oskar Klein tarafından incelenen eski bir fikri ele aldılar. Belki de uzayın bazı boyutları çok küçük bir top halinde büküldükleri, görülemeyecek hatta yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılarda gözlenemeyecek kadar küçük oldukları için gözümüzden gizlenmişlerdi. Bir kavis ya da hortum gibi bir silindirin iki boyutu vardır, uzunluğu boyunca ve daire çevresinde ama çok uzaktan bakarsanız, tek boyutlu bir çizgi gibi görünür. Bu perspektiften, uzaklardaki bir silindir her noktasında minik, tıkHz bir çember yer alan bir çizgidir. Kısa dalga boylarının yüksek enerjilere karşılık geldiğini anımsayın;

tıkız bir uzay yeterince küçükse, orada olduğunu fark etmek için bile aşırı yüksek enerjili bir parçacık gerekir.

Bu fazladan boyutların “tıkızlaşması” fikri Sicim Kuramını gözlemlenebilir olgularla bağlantılandırma girişimlerinin önemli bir parçası olmuştur. Temel bir düzeyde, Sicim Kuramının farklı sürümlerini yaratmak için pek bir özgürlük yoktur; 1980’lerdeki çalışmalar gerçekte yalnızca beş Sicim Kuramı bulunduğunu göstermiştir. Ama bu beşin her birinde uzay-zamanın on boyutu vardır ve bunların altısını gizlediğimizde tıkızlaşmayı sağlamanın birçok yolu olduğunu görürüz. Her ne kadar tıkız bir dallanmayı doğrudan incelemek için çok yüksek enerjiler (muhtemelen Planck enerjisi düzeyinde, yani 10^{18} GeV) gerekecek olsa da tıkızlaşmanın özellikleri düşük enerjilerde gördüğümüz fizik türlerini doğrudan etkiler. “Tıkızlaşmanın özellikleri” derken, hacmini, şeklini ve topolojisini kastediyoruz; bir torus (bir simidin yüzeyi) üzerine tıkızlaştırma bir kürenin (bir topun yüzeyi) üzerine tıkızlaştırmadan çok farklı olacaktır. “Düşük enerjilerde gördüğümüz fizik” derken ne türden fermionların olduğunu, hangi kuvvetlerin var olduğunu ve çeşitli kütlelerle etkileşim kuvvetlerinin değerlerini kastediyoruz.



Şekil 25: Üç farklı tıkızlaşma modeli. Makroskobik gözlemciye bir nokta gibi görünen şeyin, yakından incelendiğinde yüksek boyutlu bir uzay olduğu anlaşılır. Soldan sağa: bir torus (bir simidin yüzeyi), bir küre (bir topun yüzeyi) ve iki zar arasında uzanan eğilmiş bir uzay. Gerçekçi tıkızlaşmalar daha çok sayıda fazladan boyutlar içerecektir ki, bunları çizimle betimlemek zor olur.

Dolayısıyla, Sicim Kuramı her ne kadar hayli eşsiz olsa da bunu deneylere bağlamanın aşırı zor olduğu anlaşıldı. Fazladan boyutların nasıl tıkızlaşacağını bilmeden, Sicim Kuramının gözlemlenebilir dünya hakkında nasıl öngörülerde bulunacağını söylemek ola-

naksızdır. Bu yalnızca Sicim Kuramının değil, kuantum mekaniğini kütleçekime uygulama yolundaki neredeyse tüm girişimlerin genel bir sorunudur. Doğrudan deneysel sondalar Planck ölçeğinde enerjiler gerektirir ve yapılabılır hiçbir parçacık hızlandırıcı buna erişemeyecektir. Bu kuantum kütleçekim modellerini denememize yardımcı olacak veriler hiç olmayacak demek değildir ama deneyler kaba kuvvete değil, inceliğe gerek duyacaktır.

Zarlar ve çoklu evren

1990'larda, insanların Sicim Kuramını gerçeklikle nasıl bağlantılandırıdığı dramatik bir değişmeye uğradı. Bu değişimin dürtüsü, Joseph Polchinski'nin Sicim Kuramının sadece tek boyutlu sicimlerin bir kuramı olmadığını keşfetmesiydi. Yaşamsal rol oynayan daha yüksek boyutlu nesneler de vardı.

İki boyutlu bir yüzeye "zar" denir ama Sicim Kuramcılarının üç ve daha yüksek boyutlu nesneleri de betimlemeleri gerekiyordu bu yüzden "2-zar," "3-zar" gibi terminolojiler ürettirler. Bir parçacık sıfır-zar oluyordu, sicim de 1-zar. Bu ek zarları kullanarak, Sicim Kuramcıları kuramlarının kendi düşündüklerinden de daha eşsiz olduğunu gösterdiler: On boyutlu Süpersicim Kuramlarının beşinin yanında hiçbir sicimi içermeyen on bir boyutlu "süperkütleçekim" kuramı da sadece altta yatan bir "M-kuramın" farklı sürümleridir. Şimdilik kimse "M-kuramı" içindeki "M"nin anlamını tam olarak bilmiyor.

Kötü haber şu ki bu zarlar çeşitliliği Sicim Kuramcılarını fazladan boyutları tıkızlaştırmanın daha başka yollarını keşfetmeye itmiştir. Bu kısmen, 1998'de, Sicim Kuramındaki gelişmelerin deneyler tarafından başlatıldığı ender durumlardan biri olarak evrenin hızlandığının keşfi tarafından talep edilen, pozitif miktarda vakum enerjisi içeren tıkızlaştırmalar bulma girişimlerinin sonucudur. Lisa Randall ve Raman Sundrum tamamen yeni bir tıkızlaştırma türü geliştirmekte zar kuramını kullandılar, burada uzay iki zar arasında "eğiliyordu." Bu parçacık fiziğinde, hiyerarşi sorununa bakmanın yeni yollarını da içeren zengin bir yaklaşımlar çeşitliliğine yol açtı.

Bu, ne yazık ki aynı zamanda görüldüğü kadarıyla "doğru" tıkızlaştırmanın bir şekilde Sicim Kuramını Standart Modelle

bağlantılandırmamızı sağlayacağı yolunda kalan umutları da sildi. Sözünü ettiğimiz tıkHzlaştırmaların sayısını kestirmek güç ama ortalıkta 10^{500} gibi sayılar dolaşıyor. Bu hayli yüksek bir sayı, özellikle de önünüzdeki görev bunları tek tek inceleyip aralarından Standart Modele uyanı seçmek olunca.

Buna yanıt olarak Sicim Kuramının kimi destekçileri farklı bir yön tutturur: Onlar bir gerçek tıkHzlaştırmayı bulacağına, uzay-zamanın farklı parçalarının farklı tıkHzlaştırmalara sahip olduğunu ve her tıkHzlaştırmının başka bir yerde gerçekleştiğini tasavvur ederler. TıkHzlaştırmalar düşük enerjilerde görülen parçacıkları ve kuvvetleri tanımladığından, bu farklı bölgelerde farklı fizik yasalarına sahip olmak gibidir. O zaman böylesi her farklı bölgeyi ayrı bir “evren” olarak adlandırır ve bunların hepsine birden “çoklu evren” deriz.

Böylesi bir düzen her türden test edilebilir öngörü yapma iddiasından vazgeçilmiş izlenimi uyandırabilir. Gerçekten zor olur ama çoklu evren savunucuları hâlâ bir umut olduğunu öne sürerler. Çoklu evrenin birçok bölümünde, derler, koşullar o kadar elverişsizdir ki, hiçbir akıllı yaşam doğamaz. Belki gerekli kuvvetler yoktur ya da vakum enerjisi o kadar yüksektir ki tek tek atomlar evrenin genişlemesiyle birbirlerinden koparlar. Bir sorun, yaşamın hangi koşullarda oluşabileceğine dair çok da sağlam bir anlayışa sahip olmamamızdır. Ama bu tür alelade düşüncelerden sıyrılabilirsek, iyimserler çoklu evrendeki tipik gözlemcilerin fiilen neler gözlemleyebileceklerini öngörebilecekleri umudunu sürdürüyorlar. Diğer bir deyişle, diğer “evrenleri” doğrudan göremiyor olsak da denenebilir öngörülerde bulunabilmek için çoklu evren fikrini kullanabiliriz. “Antropik ilke,” gözlemeleme olasılığımız olan koşulları varoluşumuza uygun olanlarla kısıtlayan güçlü bir seçim olduğu fikridir.

Bu ihtiraslı bir plandır ve muhtemelen de başarısızlığa mahkumdur. Ama insanlar deniyorlar ve özellikle de bu fikri Higgs bozonunun özelliklerine uyguladılar. Bunlar güvenilirmez sular; daha 1990’da Mikhail Shaposhnikov ve Igor Tkachev kimi antropik kabuller altında Higgs kütlelerinin değerini öngörmeye çalıştılar ve 45 GeV sonucuna eriştiler. Bu şimdi bildiğimiz haliyle eldeki verilerle açıkça uyumsuzdur, bu yüzden kabullerde bir şeyler yanlış olmalı. Farklı kabuller altında, 2006’da başka

bir grup 106 GeV bir değer buldu; daha yakın ama gene de doğru değil. Şimdi 125 GeV'da bir Higgs bozonumuz olduğuna göre, bir şekilde bu değere ulaşmayan birçok öngörünün yayımlanması pek olası değil.

Adil olmak açısından, antropik akıl yürütmenin en gösterişli başarısından söz etmemiz gerekir: vakum enerjisinin değerini hesaplamak. 1987'de, evrenin hızlandığının bulunmasından on yıldan uzun bir süre önce, Steven Weinberg çok yüksek (ya da büyük ve negatif) bir vakum enerjisinin galaksilerin oluşumunu durduracağına dikkat çekmişti. Dolayısıyla, bir çoklu evrendeki gözlemcilerin çoğunluğu küçük ama sıfır olmayan vakum enerjiler görmeliydi. (Sıfıra izin vardır, ama sıfıra eşit olanlardan daha fazla sıfır olmayan sayı vardır.) gözlemlediğimizi düşündüğümüz değer Weinberg'ün öngörüsüyle kusursuz bir uyum halindedir. Weinberg'ün zımnen yalnızca vakum enerjisinin bir yerden diğerine değiştiği bir çoklu evren tasavvur ettiği doğrudur; diğer parametrelerin de değişmesine yol açarsak, uyum çok daha az etkileyici hale gelir.

Bu kesimin kötümser hatta aksi üslubuna karşın, ben çoklu evren senaryosunun aslında mümkün olduğunu düşünüyorum. (*From Eternity to Here* içinde, erken evrenin düşük entropisini açıklamakta yararlı olabileceğini önermiştim.) Sicim Kuramı ya da başka bir kuantum kütleçekim kuramı uzay-zamanın farklı bölgelerinde yerel fizik yasalarının farklı tezahürlerine yer açarsa, biz gözlemleyelim ya da gözlemlemeyelim, çoklu evren gerçek olabilir; ben hep gerçek olabilecek şeylerin ciddiye alınmasını destekledim. Ama mesleğin şu anki durumunda çoklu evreni parçacık fiziği için öngörülü bir kurama dönüştürmekten çok uzağız. Kişisel isteksizliğimizin kozmolojik senaryolar üzerine yargımızı etkilemesine izin veremeyiz ama hevesimizin eleştiri becerimizin önüne geçmesine de izin veremeyiz.

İleri atılmak

Çok küçüklerin âleminde keşfedilecek daha çok şey var ve parçacık fiziğinin de Standart Modelin ötesinde birçok veçhesi mevcut. Neden evrende karşı-maddeden çok madde var? Böyle bir asimetriyi üretecek senaryoların birçoğu Higgs alanının koz-

higgs: evrenin sonundaki parçacık

molojik evrimiyle ilgili, bu yüzden bunun özelliklerinin daha iyi anlaşılmasının sorun hakkında daha derin içgörülere bizi ulaştırması olası. Aynı zamanda bazı “technicolor” senaryolar var, bunlara göre Higgs temel bir şey değil de proton gibi birleşik parçacık. Şu andaki technicolor sürümleri diğer parçacık fiziği verileri tarafından arka plana atılıyor ama Higgs’in kendisini incelemek pekâlâ sürprizlere yol açabilir.

Higgs’i keşfetmek parçacık fiziğinin sonu değil. Higgs Standart Modelin nihai parçasıydı, ama aynı zamanda da bu kuramın ötesindeki fiziğe açılan bir penceredir. Önümüzdeki yıllarda Higgs’i kullanarak kara madde, süpersimetri, ek boyutlar ve hızla önümüze gelen yeni verilere uyum sağlamak için kanıtlanması gerekecek ne varsa hepsini arayacak (ve umarım inceleyeceğiz). Higgs keşfi bir çağın sonu, bir diğerinin de başlangıcıdır.

SAVUNMAYA DEĞER KILMAK

Burada, kendi kendimize parçacık fiziğinin neden araştırılmaya değer olduğunu soruyor ve arkadan ne geldiğini merak ediyoruz.

Fermilab'ın inşasından sorumlu fizikçi Robert Wilson 1969'da Kongre Ortak Atom Enerjisi Komitesi'nin önüne çıkartılmış, senatörlerle temsilcilerin multimilyon dolarlık projenin neden desteklenmesi gerektiğini anlatmaya çalışıyordu. Birleşik Devletlerde parçacık fiziği tarihinde bir dönüm noktasıydı; Manhattan Projesi fizikçilere etki ve fonlamaya kolay erişim sağlamıştı ama yeni temel parçacıklar için araştırmaların yeni tür bir silah gibi derhal değer arz edecek bir şeyle sonuçlanıp sonuçlanmayacağı açık değildi. Rhode Island senatörü John Pastore, Wilson'a doğrudan sordu: "Bu hızlandırıcının sunduğu umutların bu ülkenin güvenliğini ilgilendiren şeylerle bir ilgisi var mı?"

Wilson aynı şekilde doğrudan yanıtladı: "Hayır efendin, sanmıyorum."

Pastore'un bu yanıtla biraz sarsıldığını tasavvur edebiliriz; muhtemelen Fermilab'ın Sovyetlerle aşık atabilmek için nasıl da yaşamsal öneme sahip olduğuna dair nağmeler duymayı bekliyordu, o dönemde her türden amaç için bu tür savlar öne sürülüyordu. Gerçekten de hiçbir şey yok mu diye sordu, Wilson da sadece "Hiçbir şey," diye yanıt verdi. Ama en azından biraz inatçı değilseniz, senatör olamazsınız, dolayısıyla Pastore doğru anlamış mı diye görmek için üçüncü kez şansını denedi: "Bu açıdan hiçbir değeri yok mu?"

Wilson aptal değildi; Kongrenin ihtiraslı ama uçuk girişimini mali açıdan desteklemesi için bundan biraz daha fazlasını vermesinin beklendiğini anlamıştı ama başlangıç noktasından geri adım atmayı reddetti. Verdiği yanıt, bilim insanlarının neyi neden yaptıklarını anlatmaya çalışma yolundaki uzun tarihlerinin en çok anımsanan pasajlarından biri oldu:

Bunun yalnızca birbirimize duyduğumuz saygıyla ilişkisi var, insan onuruyla, kültür aşkımla. Şununla ilgisi var: iyi ressamlar mıyız, iyi heykeltıraşlar, büyük şairler? Demek istiyorum ki, ülkemizde değer verdiğimiz ve yurtsever olmamızı sağlayan her şeyle. Doğrudan savunmayla bir ilişkisi yok, burayı savunmaya değer kılmak dışında.

Büyük bilim ucuz olmaz. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı yaklaşık 9 milyar dolara mal oldu, bu paranın neredeyse tamamı nihayetinde dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde toplanan vergilerden sağlandı. Bu parayı ödemiş olan insanlar, yatırımlarının karşılığında ne elde ettiklerini bilme hakkına sahipler. Temel araştırmaların kazanımları konusunda olabildiğince dürüst ve inandırıcı olmak bilim camiasının görevidir.

Bu kazanımların bir bölümü teknolojik yenilikler olarak ortaya çıkar. Ama nihayetinde, bunlar en önemli kazanımlar değildir; daha önemli olan bu aşırı ihtiraslı deneylerin bize sağladıklarıdır.

Herkes aynı görüşte değil. Temel bilime yatırım yapılmasının yorulmak bilmez destekçilerinden Steven Weinberg açıklayıcı bir anekdot aktarır:

SSC üzerine tartışmalar sırasında, buna karşı olan bir kongre üyesiyle birlikte Larry King'in radyo programına katılmıştım. Bilime para harcanmasına karşı olmadığını söyledi, ama önceliklerimizin olması gerekiyordu. SSC'nin doğanın yasalarını öğrenmemize yardımcı olacağını söyledim ve bunun öncelikli olmayı hak edip etmediğini sordum. Yanıtını kelimesi kelimesiyle hatırlıyorum: "Hayır."

Bu görülmedik bir tutum değil. Ama yoksullaşmış, büyük resmi ıskalayan bir perspektif. Temel bilim ulusal savunma ya da kanser tedavisinde derhal bir gelişme sağlamayabilir ama bizlere bir parçası olduğumuz evren üzerine bir şeyler öğreterek yaşamlarımızı zenginleştirir. Bunun aslında yüksek öncelikli olması gerekir.

Ne zaman sırt roketim olacak?

Bunlar, modern parçacık fiziği alanında yapılan çalışmaların yararlı teknik uygulamalarını elde etmek istemediğimiz anlamına gelmez. Bilim insanları hemen size temel araştırmaların, hemen bir şeye uygulamak için değil, saf bilim için gerçekleştirilen bilimsel araştırmaların, o dönemde fark edilmese de genellikle muazzam pratik sonuçlara yol açtığına dikkat çekerler. Elektrikten kuantum mekaniğine, tarih sayfaları bir zamanlar soyut ve uygulanamaz olan ama daha sonraları teknolojik ilerlemenin merkezinde yer alan fikirlerle bezelidir. Sonuç olarak, ne zaman yeni bilimsel keşifler söz konusu olsa, insanlar öğrenmek ister: Ne zaman sırt roketim olacak?

Benzer bir şeyin LHC'deki araştırmancının da kaderi olacağını tasavvur edebilir miyiz? Yogi Berra'nın¹ bir zamanlar dediği gibi, öngöründe bulunmak zordur, özellikle de gelecek üzerine. Ama şunu da kabul etmemiz gerekir ki, LHC'de bulduklarımızın önceki yüzyılların temel fiziğinden çok farklı bir karakteri olabilir. Olasıdır ki, LHC'de keşfettiğimiz parçacıklar hiçbir zaman fiili uygulamada, bir cihazda bir işe yaramayacaktır.

Bu öylesine kötümserlik değildir; keşfetmeyi umduğumuz türden şeylerin özel durumundan kaynaklanır. Benjamin Franklin elektriği incelediğinde ya da Heinrich Hertz radyo dalgaları ürettiğinde, dünyada zaten var olmayan bir şeyler yaratmıyorlardı. Tüm yapay kaynakları bir kenara atsak da elektrik ve radyo dalgaları çevremizde hep varlar. O çağın bilim insanları kolayca erişilebilir dünyanın esrarengiz özelliklerini kullanmayı öğreniyorlardı ve keşfettikleri bilginin sonradan teknolojik açıdan yararlı olması şaşırtıcı değildir. Aksine, LHC'de gündelik çevremizde var olmayan parçacıkları fiilen yaratıyoruz. Bunun çok mantıklı nedenleri var. Parçacıklar özellikle çok kütleli, bu nedenle onları yapmak muazzam miktarlarda enerji gerektiriyor. Dahası bunlar ya çok zayıf etkileşime giriyorlar –bu yüzden yakalanmaları ve işlenmeleri zor, nötrinolar gibi– ya da aşırı kısa ömürlüler (bu yüzden bir işe yaramadan bozunuyorlar).

1 Lawrence Peter “Yogi” Berra (1925-2015), Amerikalı efsanevi beyzbol oyuncusu. Buradaki gibi çelişkili gözükse ama incelikli sözleriyle de ünlenmiştir –ç.n.

Örnek olarak Higgs bozonunu ele alın. Higgs bozonu yapmak kolay değildir, bildiğimiz tek yol, kilometrelerce uzunluğunda bir parçacık hızlandırıcıdır. Kuşkusuz böylesi yüksek enerjilere ulaşmayı sağlayacak bir cep cihazı yapmak için gerekli teknolojik ilerlemeler tasavvur edebiliriz; kimsenin bunun nasıl yapılacağına dair bir fikri yok ama fizik yasalarına aykırı değil. Ama elinizin altında bir iHiggs bozon üreticisi olsa dahi, ne işe yarayacak ki? Yaptığınız her Higgs bir zeptosaniyenin içinde bozunacak. Bu bozonlar için başka bir parçacık tarafından daha etkili bir şekilde icra edilemeyecek herhangi bir uygulama tasavvur etmek zor.

Bu savlama kuşkusuz kusursuz değil. Müonlar da istikrarsız parçacıklar ve nükleer füzyonda katalizör görevinden piramitlerdeki gizli odaların araştırılmasına kadar olası teknolojik uygulamaları var. Ama müon'un ömrü saniyenin milyonda biri, yani Higgs bozonundan çok daha uzun. Nötrinolar istikrarlı ama zayıf etkileşiyorlar ve kimi ileri görüşlü insanlar bunları iletişim amacıyla kullanmayı düşünüyor. Hayli yayılmacı hissederseniz, benzer kullanımları olabilecek kara madde parçacıkları keşfetmeyi tasavvur edebiliriz. Ne var ki, bu çok para yatırmanızı önereceğim bir alan değil.

Warp motoru ve yükselme

Higgs bozonu parçacıklara kütle kazandırmaktan sorumlu olduğundan, insanlar bazen onun özelliklerine hâkim olmanın nesneleri daha hafif ya da ağır yapmamıza yardımcı olup olmayacağını merak ediyorlar. Ya da daha kötüsü. Higgs keşfinin ilan edildiği 4 Temmuz açıklamasının ertesi günü, Kanada'nın *National Journal* gazetesi kalın harflerle bir başlık attı: HIGGS BOZONU KEŞFİ IŞIK HIZINDA YOLCULUĞU OLASI KILDI, DİYOR BİLİM İNSANLARI. Makalede alıntı yapılan bilim insanlarının hiçbiri böyle bir açıklamada bulunmamıştı, ama sanırım muhtemelen günün birinde bilim insanının biri bir yerlerde böyle bir şey söylemiştir.

Higgs'i bir şeyleri daha hafif hatta kütesiz hale getirmekte kullanmak, birçok nedenden ötürü işe baştan yanlış başlamaktır. En bariz olanı, sıradan nesnelerin kütesinin büyük çoğunluğu Higgs'ten kay-

naklanmaz; protonlarla nötronların içindeki yeğin etkileşim enerjisinden kaynaklanır. Ama daha da önemlisi, kuarklarla yüklü leptonlara kütle veren Higgs bozonu değil, boş uzayda dolaşan Higgs alanıdır. Örneğin bir elektronun kütesini değiştirmek istiyorsanız, bu onu Higgs bozonu bombardımanına hedef yapma meselesi değildir; ardalandaki Higgs alanının değerini değiştirmeniz gerekir.

Bunu söylemesi yapmaktan daha kolaydır. Bir kere, Higgs alanını değiştirmeyi tasavvur ediyor olsak da bunu nasıl yapacağımıza dair hiçbir fikrimiz yok. Ayrıca, bu anlamsız miktarda enerji gerektirecektir. Diyelim ki küçük ama makroskopik bir uzay hacmi içinde Higgs alanını normal değerinden (246 GeV) sıfıra kadar indirmenin bir yolunu bulduk. Higgs alanının sahip olduğu normal değer, içinde bulunabileceği minimum enerji durumudur; bunu sıfıra kadar itmek, o küçük hacmimizin artık enerji dolu olacağı anlamına gelir. $E=mc^2$ 'den hareketle, bu kütle olduğu anlamına gelir. Hızlı bir hesaplama, içindeki Higgs alanının sıfıra eşitlendiği golf topu boyutlarında bir bölgenin yaklaşık tüm yerküreyle aynı kütleyle sahip olacağını gösterir. Bunu çok daha büyük hale getirmeye çalışırsak, küçük bir uzay parçasında o kadar çok kütle olacaktır ki, tüm hacim çökerek bir kara delik oluşturacaktır.

Son olarak, bir şekilde Higgs alanını diyelim ki kendi vücudunuzda kapatmayı başarabilerseniz, aniden daha hafif olursunuz. Kimi temel parçacıklar, yani elektronlar ve kuarklar daha hafif olacaklar ve zayıf etkileşimin bozulan simetrisi yeniden sağlanacaktır. Bunun sonucunda vücudunuzdaki atomlar ve moleküller tamamen farklı kurulumlara girecek ve büyük ölçüde tamamen dağılarak muazzam miktarda enerjiyi serbest bırakacaktır. Higgs alanını azaltmak sizi diyetle sokmaz; vücudunuzun patlamasına yol açar.

Bu yüzden, Higgs kaynaklı havaya kalkma cihazlarını yakın zamanda beklemeyin. Diğer yandan, LHC'deki yeni keşiflerin bizim hiç tasavvur etmediğimiz alanlarda gelecekteki bazı uygulamaların zeminini hazırlaması da mümkündür. Bizim amacımız bu olmasa da.

Yan ürünler

Parçacık fiziğindeki araştırmalar sıklıkla hayli elle tutulur yararlar sağlar. Bu yararlar genellikle yan ürün biçiminde olur,

yani yeni parçacık bulmanın doğrudan uygulaması değil de deneysel çabanın yol açtığı zorluklarla bağa çıkmak amacıyla geliğtirilen yeni teknolojiler.

En bariz rnek Dünyaya yayılan Ağ (WWW). CERN’de alığan Tim Berners-Lee parçacık fizikçilerinin bilgi paylağmasını kolaylağtırmanın yollarını ararken Ağa öncülük etti. Ŗimdi dünyayı onsuz dğnmek olanaksız. Hiç kimse günün birinde WWW icat edileceği için CERN’e fon sağlanması önermedi; bu sadece akıllı insanları yoğun bir ortama sokup ürkütücü teknolojik zorluklarla karėı karėıya bırakma ve ortaya çıkandan doğan yararlardan faydalanma meselesi.

Buna benzer çok örnek var. Parçacık hızlandırıcılarında eğsiz gte mıknatıslara olan ihtiyaç süperiletken teknolojisinde dikkat çekici ilerlemelere yol açtı. Parçacıklarla alığma becerisinin tıp, gıda sterilizasyonu ve denenmesi ve bilimin kimya ve biyoloji gibi bağka alanlarında uygulamaları oldu. Hesaplama gücü ve parçacık fizikçileri arasında bilgi paylağımı için inanılmaz talepler bilgisayar teknolojisinde ilerlemelere yol açtı. Liste uzun, ama ders açık: Sıradığı parçacıkların arağtırılmasına harcanan para akıp gitmiyor.

Temel arağtırmalara yatırım yapmanın ne kadar verimli olduğunu nicelendirmek zor. İktisatçı Edwin Mansfield’in arağtırmaları, toplumun tümü için bunun gerçekten de akıllıca bir yatırım olduğunu ortaya çıkartıyor. Mansfield temel bilimdeki kamu harcamalarının ortalama %28 getiri sağladığını ne sürüyor, bu herkesin yatırımdan elde etmekten mutluluk duyacağı bir oran. Böylesi bir sayı en iyi olasılıkla bir tahmin, çünkü ayrıntılar büyük ölçüde sanayilerin neyi arağtırdığı ve neyin “temel bilim” olarak kabul edileceğine bağlı. Ama bilimin n saflarındaki en uygulanmaz arağtırmanın bile etkileyici getiriler doğurduğuna dair öyküleri destekliyor.

Temel arağtırmaların en önemli yan ürünü teknolojik değil, bilimin her yağtan insana verdiği ilham. Bir ocuğun Higgs bozonu üzerine bir haber bültenini izledikten sonra bilime ilgi duymaya bağlayıp, alığıp dünya çapında bir doktor ya da mühendis olması mümkündür. Toplum varlığının küçük bir bölümünü büyük soruları sorup yanıtlamaya adadığında, bu bize

evrenimize duyduğumuz merakı anımsatır. Bu da her türden güzel yerin yolunu açar.

Parçacık fiziğinin geleceği

Weinberg'ün aksi kongre üyesi bir yana, insanların çoğunluğu doğanın yasalarının öğrenilmesinin sürdürülmeye değer bir proje olduğunu kabul etmekten yanadır. Ama tam olarak değerinin ne olduğunu sormak da mantıklıdır. Süperiletken Süper Çarpıştırıcının kaderinin gölgesi parçacık fiziğinin geleceğini düşünen herkesin üzerindedir. Paranın zor bulunduğu ve pahalı projelerin kendilerini kanıtlamalarının gerektiği bir çağdayız. LHC şaşırtıcı bir başarıdır ve umut ediyoruz ki daha yıllarca işleyecektir, ama bir noktada bize öğreteceği her şeyi öğrenmiş olacağız. O zaman ne olacak?

Sorun şu ki, uğraşmaya değer bilimsel projelerin büyük çoğunluğu yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılardan çok daha ucuzsa da böylesi bir makine olmadan başa çıkılamayacak sorunlar da var. LHC'nin maliyeti kabaca 9 milyar dolardır, bize Higgs bozonunu vermiştir ve umuyoruz ki gelecekte çok daha fazlasını verecektir. Bu projede yalnızca 4,5 milyar dolarla kısıtlanmış olsaydık, bir Higgs bozonunun yarısını bulmuş olmayacaktık ya da bu araştırma iki katı zaman almayacaktı; hiçbir şey bulamamış olacaktık. Yeni parçacıklar yapmak yüksek enerjiler ve önemli lüminoziteler gerektirir, bu da çok sayıda hassas cihaz ve uzmanlığa ihtiyaç duyar ki, bu da yüksek maliyetler getirir. LHC'nin muhteşem başarımının coşkusunun üzerinde, bunun muhtemelen bizim yaşamımız süresince inşa edilen son yüksek enerji hızlandırıcı olmasının gölgesi vardır.

Para bulunacak olsa, olası sonraki adım için projeler yok değil. LHC daha yüksek enerjilere yükseltilebilir ama bu biraz geçici bir önlem olur. Elektronlarla pozitronları çarpıştıracak yeni bir doğrusal çarpıştırıcı olasılığı üzerine odaklanılıyor (halka değil, doğru parçası üzerinde). Uzunluğu otuz kilometrenin üzerinde olacak ve 500 GeV ya da 1 TeV enerjilere erişebilecek, Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı (ILC, International Linear Collider) olarak adlandırılan bir öneri var.

Bu LHC'den daha düşük bir enerji gibi görünüyor ve dolayısıyla geri adım olarak değerlendirilebilir ama elektron-pozitron çarpıştırıcılar hadron çarpıştırıcılardan farklı bir kipte çalışırlar. Çarpışmalara olabildiği kadar yüksek enerjiler dökmek yerine, elektron-pozitron makineleri hassas işler için idealdir ve bu da belli bir yeni parçacık elde etmek için gereken enerjiyi tamına hedeflemekle elde edilebilir. Şimdi artık Higgs'in 125 GeV olduğuna inandığımızdan, bu doğrusal bir çarpıştırıcı için çekici bir hedef oluşturur.

ILC için maliyet tahminleri 7-25 milyar dolar arasında değişiyor ve Avrupa, Birleşik Devletler ve Japonya'da olası yerler inceleniyor. Proje belli ki büyük ölçüde uluslararası işbirliğinin yanında siyasal beceri ve deneysel fizik bilgisi gerektirecek. Alternatif bir öneri olan Tıkız Doğrusal Çarpıştırıcı (CLIC, Compact Linear Collider) CERN'de geliştirildi. Daha kısa olacak ama yenilikçi (ve dolayısıyla da daha riskli) teknolojiler sayesinde daha yüksek enerjilere çıkabilecekti. 2012'de iki rakip projenin incelemeleri tek bir şemsiyenin altına alındı. Birleşik çabanın yeni önderi, LHC takımının önderliğini bıraktıktan sonra emekliliğin tadını çıkartamayan Lyn Evans olacak. İleri gitmek için en umut vaat eden projenin hangisi olduğuna karar vermenin yanında yeni bir çarpıştırıcının ev sahibi olmak isteyen (ama parasını ödemek istemeyen) farklı ülkelerin rekabet halindeki çıkarlarıyla debelenmek de Evans'ın işi olacak. LHC'yle çalışmış olan birileriyle konuştuğunuzda, sürekli gündeme gelen bir konu uluslararası işbirliğinin ilham veren başarısıdır. Birçok farklı ülke, yaş grubu ve ardaanlardan gelen bilim insanı ve teknisyenler hepsinden büyük bir şeyin inşası için bir araya geldiler. Büyük toplumumuz yeni tesisler için önemli miktarlarda kaynağı tahsis etme iradesini toparlayabiliyorsa, parçacık fiziğinin geleceği parlak demektir. Ama bunun olabilmesi için bilim insanlarının yaptıkları şeyin ilgi ve önemini aktarmaları gerekiyor. Parçacık fiziğini, günün birinde Alzheimer hastalığını tedavi edebileceği ya da seyyar teleportasyon cihazlarının üretimini sağlayacağı iddiasıyla sataamayız. Doğruyu söylememiz gerekir: Doğanın nasıl işlediğini keşfetmek istiyoruz. Bunun değerinin ne olduğuna karar vermek, insanlığın tümünün işi.

Merak

Bu kitap için meslektaşlarımla söyleşiler gerçekleştirirken, sonunda bilime karar vermelerinden önce çoğunu sanatın ne kadar büyülediğini görünce şaşırdım. Fabiola Gianotti, Joe Incandela ve Sau Lan Wu gençken sanat ya da müzik çalışmışlar; David Kaplan'ın anabilimdalı sinema.

Bu bir rastlantı değil. Her ne kadar doğanın nasıl işlediğini anlama çabamız genellikle pratik uygulamalarla sonuçlanıyor olsa da başlangıçta insanlar nadiren bununla ilgileniyorlar. Bilim tutkusu estetik bir duyarlılıktan kaynaklanıyor, pratik olanından değil. Dünya üzerine yeni bir şey keşfediyoruz ve bu da güzelliğini daha iyi takdir etmemizi sağlıyor. Yüzeyde, zayıf etkileşimler bir kargaşadır. Kuvvet taşıyan bozonlar farklı kütlelerle yüklere ve farklı parçacıklar için farklı etkileşim güçlerine sahiptir. Sonra daha derine ineriz ve zarif bir mekanizma ortaya çıkar: uzayı kaplayan bir alan tarafından gözümüzden saklanan bozulmuş bir simetri. Bu, vasat çevirilerle uğraşacağımıza, şiiri özgün dilinde okumak gibidir.

Yakınlarda, Higgs bozonunu açıklamaya çalışan bir TV programına yardımcı oluyordum. TV yaptığınızda, sözcükler hiç yeterli olmaz; inandırıcı görüntüler gereklidir. Atomaltı olguları açıklamaya çalışıyorsanız, inandırıcı görüntüler elde etmenin tek yolu benzetme yapmaktır. Bu yüzden, şu çözümü buldum: bir vakum odasının zemininde dolanan küçük robotlar tasavvur edin. Her robotun bir yelkeni vardır ama yelkenlerin hepsi farklı boydadır, kimisi çok büyük, kimisi çok küçük. Önce, oda boşken filme alırız; hepsi aynı hızda hareket ederler, çünkü etkileyecek hava olmadığında yelkenler tamamen anlamsızdır. Ama sonra odayı havayla doldurup yeniden filme alırız. Şimdi, küçük yelkenli robotlar hâlâ hızla hareket ediyordur ama büyük yelkenli olanlar hantallaşmıştır. Umarım benzetme açıklayıcıdır. Robotlar parçacıklardır, yelkenler de hava tarafından temsil edilen Higgs alanıyla bağlantıları. Vakum olduğunda, yani odada hava yokken, robotların hepsi simetriktir ve aynı hızda hareket ederler. Odayı havayla doldurmak simetriyi bozar, tıpkı Higgs alanının yaptığı gibi. Havadaki ses dalgaları ve Higgs parçacığı arasında bile bir benzetme yapabilirsiniz.

Ben kuramsal yönelimli bir kişi olduğumdan, bana robotların yönetimini vermek istemezsiniz, bu yüzden Caltech’de mühendislik ve havacılık bölümlerindeki meslektaşlarıma danıştım. Ne yapmak istediğimizi anlattığımda, yanıt ortaktı: “Higgs bozonunun ne olduğunu ya da bunun iyi bir benzetme olup olmadığını bilmiyorum ama *muhteşem* gibi gözüktüyor.”

Özünde, bilim muhteşem olanı bulma çabasıdır, derin bir şeyi ilk kez anladığınızda hissettiğiniz o gerçek dehşeti. Hepimiz bu duyguyla doğduk ama biz büyüdükçe ve daha dünyevi kaygılar yaşamamızın kumandasını ele aldıkça o genellikle kaybolur. LHC’de Higgs bozonunun keşfi gibi büyük bir olay gerçekleştiğinde, hepimizde var olan o çocuksu merak bir kez daha öne çıkar. LHC’yi ve deneylerini inşa edip bu keşfe yol açan verileri incelemek için binlerce insan gerekti ama başarı evrene ilgi duyan herkesindir.

Muhammed Yahia *Nature* dergisinin Ortadoğu’daki bilime adanmış *House of Wisdom* bloğunu yazar. Higgs’in keşfinin açıklandığı 4 Temmuz seminerlerinin ardından, bilimsel dürtünün evrenselliğini kutladı:

Arap dünyasındaki insanlar siyasetleri, devrimleri, insan hakları sorunları ve ayaklanmalarla uğraşırken, bilim hepimize birden hitap eder ve bir oluruz. Bu kitlesel çapta sınırları aşan yegâne insan girişimleri sanat ve bilimdir.

4 Temmuz 2012’de, bekleyen dünyaya Higgs bozonunun keşfinin açıklandığı seminerlerden yalnızca saatler sonra, Lyn Evans’a gençlerin bu haberden ne alacakları soruldu. Yanıtı doğrudandı: “İlham. Bu amiral gemisi projelerin ilham verici olması gerekir. Biz gençken çok şey oluyordu, aya insan göndermek gibi. Gençleri bilim konusunda heyecanlandırmak esastır.” Başarılı oldular.

Anlam ve gerçek

Parçacık fiziğinin kökleri, Antik Yunan ve Roma’daki atomculara kadar gider. Leukippos, Demokritos, Epikuros ve Lucretius gibi filozoflar doğa dünyası üzerine madde ve enerjinin az sayıda temel atomun farklı düzenlemelerini temsil ettiğine dayanan bir anlayış geliştirmişlerdi. Sözcüğün modern anlamıyla bilim insa-

nı değillerdi ama sezgileri bugün evreni nasıl düşündüğümüzle hayli uyuyordu.

Antik dünya günümüz üniversitesindeki akademik disiplinleri ayırmak için oluşturduğumuz sınırları tanımıyordu, bu yüzden filozoflar olarak maddi gerçeklik kadar etik ve yaşamın anlamıyla da ilgileniyorlardı. Atom anlayışlarına gelince, vardıkları sonuçların tümü bugünkü perspektifimizden bakıldığında doğru değildi ama fikirlerinin birçoğu halen anlamlıdır. Atomik dünya görüşlerinin mantıksal sonuçlarını sürdürmeye çalışıyorlardı. Gerçeklik sadece atomların kendi aralarındaki etkileşimleriye, amaç ve anlamı nerede bulacaktık? Özellikle Epikuros bu meydan okumaya yaşamın değerini onu fiilen burada, yeryüzünde yaşadığımız haliyle konumlandırarak karşıladı ve takipçilerini de ölümün karşısında sakin olmaları, dostluğa yüksek bir değer biçmeleri ve ılımlılıktan keyif almaları yolunda cesaretlendirdi.

Bilim nihayetinde buyurucu değil betimleyici bir iştir. Bize dünyada ne olduğunu anlatır. Ne olması gerektiğini ya da olup bitenin nasıl yargılanması gerektiğini değil. Higgs bozonunun kütlelerini bilmek bizi daha iyi insanlar yapmaz, hangi hayır kurumuna bağış yapmamız gerektiğini de söylemez. Gene de bilim pratiğinin yaşamlarımızı nasıl yaşadığımız üzerine yaşamsal dersler verir.

Birinci ders, evrenin bir parçası olduğumuzdur. İnsan bedenindeki her şey parçacık fiziğinin Standart Modeli tarafından başarılı bir şekilde betimlenmiştir. Biyokimyamız için o kadar yaşamsal önemdeki ağır elementler yıldızların içindeki nükleer füzyon tarafından oluşturulmuştur, bu da Carl Sagan'ın vecizesini akla getirir: "Biz yıldız malzemesiyiz." Atomlarımızın Standart Modele uyuyor olduğunu bilmek gerçek dünyanın siyaset, psikoloji, iktisat ya da aşk gibi sorunlarına gelince pek bir işe yaramaz; ama bu doğrultudaki her fikir en azından temel parçacıkların davranışları konusunda bildiklerimize uymak zorundadır.

Biz evrenin dikkat çekici bir beceri geliştirmiş olan parçalarıyız: dünyanın bir görüntüsünü aklımızda tutabiliyoruz. Biz kendi üzerine kafa patlatan maddeyiz. Bu nasıl mümkün oluyor? Parçacık fiziği bize bunun yanıtını vermez ama yanıtın doğduğu daha büyük öykünün ana bileşenlerinden biridir. Higgs bozonunun keşfiyle, gündelik gerçekliğin altında yatan fizik üzerine

anlayışımız tamamlanmıştır. Yeni parçacık ve kuvvetler için yer vardır ama yalnızca sıradan maddeyle milyarlarca dolarlık cihazlar olmadan fark edemeyeceğimiz kadar zayıf ya da kısa süreli etkileşime girenler. Bu insanın entelektüel tarihinde zirve yapan bir başarıdır.

Bilimin diğer dersi, doğanın bizim kendi kendimizi kandırmamıza izin vermediğidir. Bilim tahminlerle ilerler, bunu “var-sayım” olarak adlandırarak onurlandırır, sonra da bu tahminleri verilerle karşılaştırarak sınar. Süreç onyıllar ya da daha fazla sürebilir ve neyin “verinin en iyi açıklaması” olduğu özellikle çetrefilli bir sorundur ama sonunda son sözü deneyler söyler. Fikrinizin ne kadar güzel olduğunun, ne kadar ödül kazanmış olduğunuzun ya da ne kadar zeki olduğunuzun önemi yoktur; kuramınız verilerle çelişiyorsa, yanlıştır.

Bu bir iyi haber/kötü haber durumu. Kötü haber, bilim zordur. Doğa acımasızdır ve önermeyi düşünebileceğiniz kuramların çoğunun (ve doğrusu fiilen önerilen kuramların büyük bölümünün) yanlış olduğu ortaya çıkar. Ama iyi haber de şu ki, doğa, o katı görev verici, kademeli bir şekilde saf düşünceyle hiçbir zaman erişemeyeceğimiz fikirlere doğru bizi yönlendirir. Sidney Coleman’dan alıntılırsak, bin filozof bin yıl düşünseler kuantum mekaniği gibi garip bir şey icat edemezlerdi. Modern fiziğin temelini oluşturan hayli sezgi dışı yapıların ilhamını bize veren, verilerin bizi köşeye sıkıştırmasıdır.

Antik dünyada birinin güneşin parlamasını sağlayanın ne olduğunu düşündüğünü tasavvur edin. Bir süre bunu düşünüp şu sonuca varacaklarını düşünmek pek inandırıcı olmaz: “Sanırım güneş büyük ölçüde birbirine çarpan ve bir arada duran parçacıklardan oluşmuştur, arada bir bunlardan biri farklı türden bir parçacığa dönüşerek üçüncü bir parçacık yayar, bu da uzayı kaplayan ve ilişkili kuvvetlerden sorumlu simetriyi bozan bir alan olmasa, kütsüz olurdu ve özgün iki parçacığın füzyonu enerji doğurur, bunu da biz sonunda ışık olarak görürüz.” Ama olan da tam olarak budur. Bu öyküyü bir araya getirmek on yıllar almıştır ve her adımda gözlem ve deneyin taleplerince elimiz zorlanmasaydı bu hiçbir zaman gerçekleşmezdi.

İşin diğer yönü, veri bir kez bizi doğru yola sokunca, bilim geleceğe doğru olağanüstü sıçramalar yapabilir. 1960’larda

fizikçiler, önceki deneylerin ortaya çıkarttığı kimi genel ilkelere ve kütesiz zayıf kuvvet taşıyıcısı bozonların yokluğu gibi kimi özgül gözlemsel olgulara dayanan birleşik bir elektromanyetik ve zayıf etkileşimler kuramı inşa ettiler. Kuram bir öngöründe bulunuyordu: bilinen parçacıklara belli tanımlı şekillerde bağlanan yeni bir kütleli parçacık, Higgs bozonu olmalıydı. Steven Weinberg'ün 1967 makalesi kuramı bir araya getirdikten tam kırk beş yıl sonra, 2012 yılında bu öngörünün doğru olduğu görüldü. İnsan zekâsı, doğanın ipuçlarının rehberliğinde evrenin nasıl işlediğine dair derin bir gerçeği ortaya çıkartabilmişti. Bu sezgiye dayanarak, gelecek yıllarda daha da fazlasını görmeyi umuyoruz.

JoAnne Hewett'la başarılı bir fizikçi için nelerin gerekli olduğunu konuşurken bir sözcük tekrarlanıyordu: “sebat.” Tek tek bilim insanları zor sorunlara dayanmak için sebata gerek duyarlar ve bir bütün olarak toplum da en zor sorularla uğraşabilmemiz için pahalı uzun vadeli projeleri desteklemeye istekli olmalıdır. Kolay kısmı geride kaldı.

Yüz yüze geldiklerimiz zor sorular ama yakın tarih bir rehber olacaksa, azimli çabalarla ara-sıra gelen sezgi kıvılcımlarının bileşimi bizi oraya erdirmek için yeterli olacaktır. Standart Modelin inşası tamamlanmış olabilir ama gerçekliğin geri kalanının insan anlayışına dahil edilmesi görevi karşımızda duruyor. Bu bir meydan okuma olmasaydı, eğlenceli olmazdı.

Mayıs 2013

2012’de Higgs benzeri bir parçacığın keşfedildiğinin açıklanması, binlerce fizikçinin on yıllar süren çalışmasının taçlandırılmasıydı. Dünya çapında birinci sayfa haberi oldu ve bozonu bonbondan ayırt edemeyecek kişilerin hayal güçlerini harekete geçirdi. O sabah CERN’deki konuşmaların ardından ATLAS ve CMS ekiplerinin zaferlerini kutlamak üzere şampanya patlattıkları görüldü. LHC’de çalışan bilim insanları, yeni parçacıklarla henüz bulduklarının beklenmedik garipliklerini araştırmak üzere işlerine dönmekten önce, iyi sonuçlandırılmış bir işten ötürü birbirlerinin sırtını sıvazlamakla ne kadar vakit geçirdiler?

Belki saatler. Çoğunlukla dakikalar.

Higgs keşfi ne kadar şaşırtıcı olursa olsun, fizikçiler doğaları gereği çözdükleri sorunlarla oyalanmak yerine derhal henüz çözülmemiş olanlara odaklanmaya eğilimlidir. Yeni bir parçacık bulduk: Peki bununla ne yapacağız? Hangi özelliklere sahiptir? Bir tek o mu var? 2012 Temmuz’u öncesinde bile bu sorular çok dikkat çekiyordu. Ama sonunda keşif açıklandığında, fizik camiasının ortak zihni hevesle bunlara daldı.

Bu gerçekten de Higgs mi?

Halkın tahayyülünde, bilimsel ilerleme bazen her biri geleneksel aklı açıkça ters yüz eden ve bizi nihai sonuca tartışılmaz bir şekilde yaklaştıran bir dizi çılgır açıcı keşiflermiş gibi düşünülür. Gerçek elbette daha karmaşıktır. Bilim insanları, matematikçilerin aksine, bir şeyleri mutlak kesinlikle *kanıtlamazlar*. Daha ziyade, yavaşça yaklaşırlar ve yeter miktarda aklı başında

kimsenin karşı çıkmayacağı kanıt toplarlar... en azından yeni kanıtlar bulunana kadar, o zaman da farklı bir yönde yavaşça ilerlemeye başlarız.

Higgs bozonu konusunda da aynı şey oldu. Bu kitap boyunca sıklıkla, 2012'de LHC'de bulunan parçacık daha 1964'de öngörülen parçacıkmış gibi konuştum. (1967 demek daha doğru olur, çünkü Steven Weinberg'ün o yıl yazdığı makale bozonu şimdi anladığımız haliyle zayıf etkileşimler kuramında kullanıma soktu.) Ama Bölüm Bir içinde bazı önemli özellikleri açısından Higgs'e benzeyen yeni bir parçacık bulduğumuzu ama verilerin henüz mutlak kesinlikte olmadığını söylemenin daha doğru olacağını belirtmiştik. Açıklamadan sonraki aylarda, yeni parçacığın özelliklerini kesinleştirmek CMS ve ATLAS'taki fizikçilerin en yüksek öncelikli işi oldu.

Birincisi: Bu tartışmaya yer vermeyecek şekilde yeni bir parçacık. Renkli resimler arasında gösterilen iki grafikte 125 GeV'daki yumrular bunu açık ve kesin bir şekilde gösteriyor. LHC'deki çarpışmada yeni bir şey yaratıldı ve başka parçacıklara bozundu. İkincisi: Bu bir bozon mu?

Evet, yeni parçacığın bir bozon olduğu olgusu da Temmuz'da açıkça belliydi. Standart Modeldeki fermionların özel bir özellikleri var: başka fermionlara dönüşebiliyorlar ama ortadan kaybolmazlar. Daha özgül olarak, herhangi bir yalıtılmış parçacık bileşiminde, fermionların sayısıyla eksi karşı-fermionların sayısı sabittir. (Aksine, bozonlar başka parçacıklar tarafından yayılabilir ya da emilebilirler.) 125 GeV parçacığın, her neyse, bazen iki fotona, bazen iki W ya da Z bozonuna, bazen de bir fermion/karşı-fermion çiftine bozunduğunu belirtelim. Her durumda, net fermion eksi karşı-fermion sayısı sıfırdır. Burada olan kesinlikle bir bozondur. (Benzer düşünceler bize onun elektriksel açıdan yüksüz olduğuna da ikna etmiştir, çünkü bozunma ürünlerinin toplam yükü sıfıra toplanır.)

Peki bu Higgs bozonu mu? Veyahut Higgs-gibi ama belki biraz farklı? İlk bakışta, başka parçacıklara bozunma hızından, kesinlikle Higgs'e benziyor. Ama Temmuz'da tamamen emin değildik, bu yüzden fizikçiler umutla daha çok veri toplanmasını beklediler.

Uzun sürmedi. Her yılın Mart ayında bütün dünyadan parçacık fizikçileri yeni deneysel sonuçları açıklayıp tartışmak üzere Fransız Alplerindeki Moriond'da toplanırlar. Bu bir sıkı çalış/sıkı eğlen ortamıdır: sabahları seminerler, öğleden sonra ski, sonra gecenin karanlığına kadar gene seminerler. Sonuçlar özellikle ilginçse, skiden vazgeçilebilir. 2013 konferansında da böyle olmuştu. LHC'nin aslında ekipmanın yükseltilip 2015 başında hızlandırıcının daha yüksek enerjilerde yeniden çalışmaya başlayabilmesi için 2012 sonlarında uzun süre kapatılması planlanıyordu. Yeni parçacığın keşfi CERN önderliğini, 2013 Şubatı'na kadar veri toplanmaya devam edilmesi amacıyla biraz daha çalışmak için ikna etti. Bu verilerin ilk sonuçları Moriond'da açıklandı: Yeni bozon hiç olmadığı kadar Higgs'e benziyordu.

Bu araştırmalar yeni bozonun iki özelliğine odaklanıyordu: *spini* ve *paritesi*. Ek Bir içinde parçacıkların ne kadar farklı asli spinlere sahip olabileceklerin bakıyoruz; bozonların tam sayı spinleri varken (0, 1, 2...) fermionlar buçuklu spinlere sahipler (1/2, 3/2, 5/2...). Higgs'in, Standart Modeldeki diğer temel parçacıkların hepsinden farklı olarak, sıfır spine sahip olduğu öngörülmüştü; gravitonun spini 2'dir, diğer bilinen bozonların (foton, gluon, W'ler ve Z) hepsinin spini 1'dir. Pionlar ve kaonlar gibi spini sıfır olan parçacıklar biliniyor ama bunlar bir kuark ve bir de karşı-kuarktan oluşan bileşik parçacıklardır ve dolayısıyla "temel" parçacık değildir. Higgs'in keşfinin heyecan verici yönlerinden biri de bunun ilk bilinen temel skaler alan olma olasılığıdır. Tabii ki kesin konuşmak zor; 1930'larda nötronla protonun temel olduğunu sanıyorduk ama şimdi artık bunların kuarklar ve gluonlardan oluştuklarını biliyoruz. Nihayetinde aynı şey Higgs için de geçerli olabilir.

Doğrudan görmenin bile mümkün olmadığı bir parçacığın spinini ölçmek kolay değildir; sadece o parçacığın hangi parçacıklara bozunduğu olgusunun ötesine bakmamız ve bunun yerine bu parçacıkların hangi yönlerde ortaya çıktıklarını düşünmemiz gerekir. Aynı şey bir parçacığı ayna görüntüsüyle ilişkilendiren parite için de geçerlidir. Higgs'in çift pariteye sahip olduğu öngörülmüştür, bu da her yaptığının ayna görüntüsünün yaptıklarıyla aynı olduğu anlamına gelir; tek pariteli bir parçacığın yönü aynada değişir. Bu yüzden, 2012

Temmuzuyla 2013 Martı arasında fizikçiler 125 GeV'daki yeni bozonlarının gerçekten de sıfır spin ve çift pariteye sahip olduğunu doğrulamak için çok çalıştılar.

Ve kazanan da o oldu. Yeni veriler bozonun sıfır dışı bir spine ya da tek pariteye sahip olma olasılığını saf dışı bırakacak kadar güçlüydü. Ördek gibi yürüyor ve ördek gibi de ötüyordu, son sonuçlar fizikçileri bunu sadece “ördek gibi” olarak nitelendirmenin ötesine gidecek kadar ikna etmişti. Bir ifadesinde Joe Incandela'nın dediği gibi, “Eksiksiz 2012 veri setiyle ön sonuçlar muhteşem ve benim açımdan elimizdeki bir Higgs bozonu olduğu açık.”

Asfalt mı çakıllı mı?

Bir zafer anında bile, Incandela'nın fizikçi refleksleri güçlüydü. Dikkat edin, *bir* Higgs bozonu demişti, o Higgs bozonu değil. Yeni parçacık Weinberg'ün 1967 makalesindeki bozonun tüm özelliklerini karşılıyordu: spin sıfır, parite çift, başka parçacıklara kabaca beklenen oranlarda bozunuyor. Ama tam anlamıyla o parçacık mı yoksa çok ince ana ilginç yönleriyle farklı mı? Doğrusu, “ilginçten” de öte, yeni parçacık beklenen Higgs'ten herhangi bir açıdan farklıysa, bu Standart Modelin ötesindeki fiziğin bir kanıtı olurdu, yani gerçekten de çığır açacak bir keşif. Bu yüzden yeni bozonun Higgs'liği sağlamca belirlendiğine göre, verileri tarayıp anormallikler aramanın zamanı gelmişti.

Acı haber şu ki, 2013 itibarıyla sözü edilebilecek herhangi bir anormallik yok. Şu ana kadar, Higgs'in yolu çakıllı değil asfaltmış gibi duruyor. İnsan zekâsının on yıllar ötesine uzanıp doğanın yepyeni bir parçasının özelliklerini kesinlikle öngörebilme becerisi açısından iyi haber; fizikçilerin, bunun ötesinde neler olduğuna dair bazı ipuçları bulma umutları açınsansa kötü haber. Henüz çok erken, Higgs'in keşfinin üzerinden yalnızca aylar geçti ve belki de bu kadar çabuk başka bir dünyaya şekil verecek keşif için çok erken. Ama güzel olurdu.

Bulduğumuz Higgs'in yolunun dümdüz asfalt olmamasının birkaç yolu var ve fizikçiler bunlar için gözlerini açık tutuyorlar. Birini zaten söylemiştik: temel bir parçacık değil de başka parçacıkların bileşimi olabilir. Bu özgül bir model değil, genel bir

fikirdir, bu yüzden tamamen bir kenara atmak zordur. Bunu yapmazdan önce, farazi bileşik parçacığın tam olarak nasıl ürettiğini ve nasıl bozunduğunu bilmemiz gerekir ve sadece “Higgs bileşiktir” demek bu sorulara olası yanıtlar bulmakta bir işe yaramaz. Ama bu fikre karşı duran bazı dolaylı kanıtlar var. Birincisi, bulduğumuz Higgs bir temel parçacığın basit modelinden fark edilebilecek bir şekilde sapmıyor, bileşik olsaydı, bu dikkat çekici bir rastlantı olurdu. İkincisi ve belki de daha önemlisi, fizikçiler tam tekmil bileşik Higgs bozonu modelleri inşa etmeye kalkıştıklarında, derhal sorunlarla karşılaşılıyorlar. Anlaşıyor ki, başka parçacıkların da bileşik olması gerekiyor ve bu yolda hiçbir kanıt yok. Hiç gözlemlemediğimiz yeni etkileşimler (mesela bir müonun bir elektronla bir fotona bozunması) mümkün olur ama hiç böyle bir şey gözlemlemedik. Kusursuz bir ispat yoksa da kanıtların çoğunluğu Higgs’in kendi başına bir temel parçacık olduğunu gösteriyor.

Ama belki de o tek değil. Henüz doğrudan deneysel bir desteğe sahip olmayan çekici bir fikir olan süpersimetri eninde sonunda bulunacak olan en azından beş belki de daha fazla farklı Higgs bozonu olduğunu ima ediyor. Bunun Standart Modelin uzantıları için ortak bir öngörü olduğu görüldü ve fizikçiler de bunu araştırmaya hevesliler.

Basit olanına çok benzeyen birini bulduğumuz ve başka bir şey daha olduğuna dair (şimdilik) bir işaret bulunmadığı için olasılıkların çoklu Higgs parçacığı aleyhine olduğunu düşünebilirsiniz. Ama bu pek de şaşırtıcı değildir. Elinizde bir çoklu Higgs-gibi parçacıklar kuramı varsa, bunlar farklı şekillerde karışmaya eğilimli olur ve genel bir özellik de bunlardan kesinlikle birinin o asfalt yoldaki Higgs gibi olması, diğerlerinin de daha kütleli ve bulunması güç olmasıdır. Bu ilginç eğilime ilk kez kuramcılar Howard Haber ve Yossi Nir 1990’da dikkat çekmişlerdi. Şu anda birden fazla Higgs bozonu olduğuna dair bir kanıt olmasa da olasılık hâlâ çok canlıdır.

Son olarak ve en önemlisi, bulduğumuz Higgs’in 171. sayfadaki dairesel grafikteki oranlarda gösterildiği gibi doğru oranlarda bozunup bozunmadığını görmek isteriz. Bildiğimiz Standart Model dışında başka bir şey yoksa, o zaman Higgs’in kaç kez kuarklara, gluonlara, W ya da Z bozonlarına, leptonla-

ra fotonlara filan bozunduğunun oranlarının hesaplanmasında kesinlikle hiçbir oynama payımız yok demektir: Bu oranlar kuram tarafından kesinlikle sabitlenmiştir. Çünkü bu bozunmalardan sorumlu olan etkileşimler, derinlerde, kesinlikle Higgs'in diğer parçacıklara kütle kazandırdığı aynı etkileşimlerdir. Bu etkileşimlerin kuvveti kesinlikle biliniyor, çünkü kütleleri ölçtük.

Tersine, öngörülen bozunma oranlarından bir sapma belirlersek, bu yeni bir fiziğin kanıtıdır, yani fizikçilerin “doğanın yeni parçacıkları” demelerinin şirince azımsanmış yolu. Higgs garip yollardan bozunuyorsa, bozunmaları güçlendiren ya da bastıran yeni parçacıklar ve etkileşimler var demektir. Söylemeye gerek yok ki, böylesi sapmaları aramak en yüksek önceliğe sahiptir.

2012 Temmuz seminerleri, bizi umutlandırmak için kışkırtıcı anormallikler biçiminde bazı nedenler verdi: Her iki deneyde de beklediğimizden biraz daha fazla fotona bozunma vardı. Herkesin yeni bir keşfi ilan edeceği kadar çok değil ama kuramcıların düşünmek için takkelerini önlerine koyup bu türden davranışa sahip modeller önermeye başlayacakları kadar.

2013 Martı bu umudu suya düşürmüştü gibiydi, en azından kısa vadede. ATLAS iki fotona bozunmanın Standart Model öngörülerinden biraz fazla ama istatistiksel açıdan anlamlı olamayacak kadar az olduğunu gösteren sonuçlar yayımladı. Diğer yanda, CMS yön değiştirdi, artık iki fotona asfalt yoldaki Higgs'ten beklenecekten *daha az* bozunma olduğunu söylüyorlardı ama minik, istatistiksel açıdan anlamlı olmayan bir miktar. İki deneyde de görülen aynı yöndeki minik bir sapma kışkırtıcı bir ipucu olarak değerlendirilebilir; ama sapmalar aksi yönlerdeyse, doğru olan bir sapma olmadığını düşünmektir. Gerçekten de bütün ölçülen kanallardaki bozunma oranlarındaki karşılaştırma, yeni parçacığın büyük ölçüde değiştirilmemiş Standart Modelden beklediğimize çok oturduğu anlamına geliyor.

Bu bilimsel yöntem için ses getiren bir zafer ve aynı fiziksel olgunun çoklu deneysel yoklamalarının yapılması gerekliliğinin canlı bir örneği olsa da parçacık fiziğinin nihai kuralları için yeni ipuçları peşindeki kuramcılar için kuşkusuz biraz üzücüydü. Bu ipuçları herhalde gelecekler ama doğa işimizi kolaylaştırmayacak.

Evrenin sonu gelecek mi?

Bu çok kısa Higgs-sonrası çağda henüz hiçbir yeni parçacık bulmamış olsak da keşfetmiş olduklarımız kuramcılara düşünme vesilesi olmuştur. Standart Model onyıllar önce formüle edilmiş olduğuna göre, yeni düşüncelere pek bir yer olmadığını düşünüyor olabilirsiniz; bir anlamda, öğrenmiş olduğumuz sadece yeni bir sayı, Higgs bozonunun kütlesi. Ama yaklaşık 125 GeV'luk bu kütle kendi başına bile çok ilginçtir.

Higgs'i özel yapanın, tüm diğer bilinen alanların aksine, Şekil 1'de görüldüğü gibi onun boş uzayda sıfır dışı bir değere sahip olması olduğunu anımsayın. Bunu düşünmenin bir yolu, enerji olarak. Tepelerden ve vadilerden oluşan dalgalı arazide yuvarlanan bir top gibi, Higgs alanı da aldığı değere bağlı bir miktarda enerjiye sahiptir ve genellikle bu enerjinin en düşük olduğu bir değere yerleşmek ister. Çoğu alan için en düşük enerji durumu alanın sıfıra eşit olduğu durumdur ama Higgs için bu sıfır olmayan bir değerdir, kesin söylemek gerekirse 246 GeV.

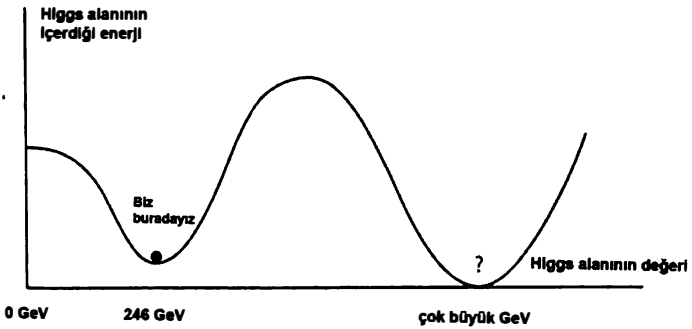
Ama bu Higgs'in boş uzayda alabileceği tek değer midir? Bir arazide yuvarlanan topun bir vadinin dibine yerleşmesi gibi, bu tepelerin ötesinde daha derin (daha da düşük enerjili) bir vadi olmadığı anlamına gelmez. Aynı şey Higgs için de geçerlidir, tüm çevremizdeki Higgs alanının yakınlardaki tüm değerlerin olacağından daha düşük bir değere sahip olması (çünkü bir tepeye tırmanmamız gerekirdi), çok uzaklarda enerjinin daha da düşük olacağı bir değer olmadığını anlamına gelmez.

Neyse ki kuantum alan kuramı topografyadan biraz daha kısıtlayıcı. Bir dizi görece basit kabul altında (en önemlisi, yeni fiziksel olgular daha yüksek enerjilerde devreye girmediğinde), sadece iki sayıdan Higgs enerji arazisinin tüm biçimini hesaplayabiliriz: on yıllardır bildiğimiz, halihazırdaki değeri ve daha yeni öğrenmiş olduğumuz kütlesi. Kesin konuşursak, Higgs'in diğer Standart Model parçacıklarıyla bağlanmasını da bilmemiz gerekiyor, neyse ki bunları da biliyoruz.

Sonuç hayli şaşırtıcı. Higgs'in kütlesi görüldüğünden biraz daha yüksek olsaydı, tamamen güvende olacaktık; Higgs'in şu andaki değeri gerçekten de olası en düşük enerjiye sahip olacaktı. Diğer yandan, kütle biraz daha düşük olsaydı gerçekten başımız

belada olurdu; tepenin diğer tarafında başka bir vadi olmakla kalmaz, bu vadi sonsuz derinlikte olurdu. Daha az şiirsel bir dilde, düşük kütleli Higgs giderek daha büyük Higgs alanı değerlerinin giderek daha düşük enerjilere karşılık geleceği ve alan büyüdükçe eksi sonsuza kadar ilerleyebileceği anlamına gelir.

Higgs kütlelerinin halihazırdaki değeri bizi kararsız bir ara konuma yerleştiriyor. Anlaşılan gerçekten de Higgs alanının daha yüksek değerlerinde bir vadi daha var ve burada içinde yaşadığımızdan daha düşük enerjiler var ama sonsuza kadar alçalmıyor. Burası yalnızca evrenin bulunmuş olabileceği (ya da muhtemelen gelecekte olabileceği) başka bir yer. Durum aşağıdaki şekilde gösteriliyor, Higgs'in gerçek dünyadaki değeri yakındaki herhangi bir değerden daha düşük enerjiye sahip ama çok daha yüksek değerlerde bir durma noktası daha var.



Şekil 26: Boş uzayın enerjisi, Higgs alanının fonksiyonu olarak. Higgs'in ölçülen kütlesi şu andaki kurulumumuzun en düşük enerji durumu olmadığı anlamına geliyor. Bu (çok uzak) gelecek için sorun anlamına geliyor.

Bunun bizim açımızdan anlamı ne? Bir vadide duran bir top olsaydınız, tepelerin ötesinde başka bir vadinin olmasının bir önemi olmazdı, çünkü ebediyen orada hareketsiz kalabilirdiniz. Ama kuantum mekaniği öyküyü biraz değiştirir. Bir topu ya da bir kuantum alanını ebediyen bir noktaya sabitleyemeyiz. Heisenberg belirsizlik ilkesi her zaman minik dalgalanmalar olacağını güvenceye

alır, bunlar belki aşırı küçük olacaklar ama illaki de olacaklardır. Topa gelince, bu da herhangi bir zamanda halihazırdaki konumunuzdan tepelerin ötesindeki daha düşük enerji durumuna kuantum tünellenme yaşama olasılığının olduğu anlamına gelir.

Bir kuantum alanı için bir ilave karışıklık daha vardır. Bazı yerlerde kuantum tünelleme yaşayıp bazı yerlerde yaşamayabilir. Higgs alanı için enerji arazisi şekilde gösterdiğimiz gibiyse, alanın düşük enerjili duruma uzayın çok küçük, atomaltı boyutlarda bir yüksek değerli Higgs alanı kabarcığı olabilecek bir bölgesinde tünellemesi için sıfır dışı bir olasılık bekleyebiliriz. Ama böylesi bir kabarcık orada sabit bir boyutta kalmaz. Kabarcığının içindeki enerji dışarıdaki enerjiden daha düşük olduğu ve alan düşük enerjili bir durumda olmayı “istediği” için kabarcık çılgınca genişleyecektir. Her ne kadar başlangıçta küçük olsa da esas olarak ışık hızında genişleyecektir. Sonunda başka kabarcıklar da oluşacak, birbirlerine toslayacaklar ve Higgs alanı uzayın her yerinde düşük enerji durumuna gelecektir. Bu fizikçilerin “faz geçişi (ya da evre geçişi)” dedikleri şeydir, tıpkı kaynayan sudaki buhar kabarcıkları gibi.

Belki bu kötü görünüyor. Öyledir! Higgs alanının değerinin gündelik yaşamınızda önemli bir rol oynadığını anımsayın: atomlarınızı oluşturan elektronlarla kuarkların kütlelerini belirliyor. Higgs’in değeri aniden yükselirse, tüm elektronlarınız büyük ölçüde ağırlaşacaklardır. Atomlarınızın özellikleri dramatik biçimde değişecek, kimya yasaları tamamen farklı bir hale gelecek ve sizinle birlikte başka her şey de parçacıklar yeni kurulumlarına geçerken, serbest kalan büyük bir enerji karmaşasında yok olacak. Küçük bir teselli, en azından bu çok hızlı gerçekleşecek.

İyi haber şu: bu senaryo doğru olsa bile (yanlış da olabilir), Higgs alanının değerinde gerçekleşecek kaymanın çok, çok, çok yıllar boyunca gerçekleşmesi olası değil, muhtemelen evrenin yaşından daha uzun bir süre geçmesi gerekecek. Yatırımlarınızı yeniden düzenlemeniz gerekmiyor, bu yalnızca evrenin uzak geleceği üzerine bir ilginçlik. Hesaplamalar ya da ölçümler azıcık da kaymış olsa, endişelenecek bir şey olmayabilir. Gelecekte yeryüzündeki yaşamı sona erdirecek şeyler arasında, Higgs alanındaki bir faz geçişi sizi uykusuz bırakacaklar listesinin yukarılarında yer almıyor.

Geçişler

Aralık 2012’de, *Time* dergisi Higgs bozonu keşfinin kültürel önemini sıradışı bir şekilde tanıdı: ATLAS sözcüsü Fabiola Gianotti’yi yıllık Yılın Kişisi için belirlenen dört adayın arasında gösterdi. (Kazanan Barrack Obama Birleşik Devletler başkanlık seçimini yeni kazanmıştı, bu geleneksel olarak kişiye bu yarışmada ciddi bir avantaj sağlar.) Bunun ekindeki makalede Gianotti, kendisiyle bir dergide gerçekleştirilen söyleşi öncesinde umutsuzluk hisseden genç bir fizik öğrencisiyle olan yazışmasının öyküsünü anlatır. “Onu aradım ve birçok sohbetimiz oldu, ben de onu güçlü bir şekilde devam etmeye yüreklendirdim. Ona dedim ki, ‘Hayallerinizi terk etmeyin. Yaşamınızın geri kalanında pişman olabilirsiniz.’”

2013 Martı’nda, fizikçilerin keşfedilenin kesinlikle bir Higgs bozonu olduğunda fikir birliğine vardıkları Moriond konferansının hemen öncesinde Gianotti resmen sözcü olarak görevinden ayrıldı ve ATLAS’ın yönetimini Birleşik Krallık’taki Birmingham Üniversitesi’nden Dave Charlton’a bıraktı. Bu barışçı bir güç aktarımıydı, karmaşık çokuluslu bir deneysel işbirliğinin uzun yaşamında beklenen bir geçiş ama aynı zamanda fiziğin gülleri koklamak için duraklamadığını da anımsatıyordu; bilim insanları her zaman ilerler, yeni fikirler önerir, onları test etmenin yeni yollarını geliştirir.

2013 Mayısı’nda ben bunları yazarken, LHC kapalıydı. 2015’e kadar çalışması planlanmıyor, o zaman proton çarpışmalarında enerjiler Higgs’in keşfedildiği 8 TeV değil, 14 TeV olacak. Yeni kapasitenin kimi yeni keşiflere yol açacağı konusunda nefesler tutuldu. Başka yerlerde, yeraltı laboratuvarları ve uydu teleskopları kara madde parçacıkları için titiz araştırmalar yürütüyorlar. Yenilikçi tesisler nötrinolar ve kütleçekim dalgaları gibi egzotik olguları evrene yeni pencereler açmak için kullanıyorlar. Laboratuvar deneyleri görülmemiş yüksek hassasiyetlerle yeni kuvvetler ve ince kuantum etkileri arıyorlar. Japonya’daki rakip siyasal partiler Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcının kendi ülkelerinde inşa edilmesini güçlü bir şekilde destekliyorlar. Bulunacak yeni bir fizik varsa, bunları bulmanın yolları az değil.

Higgs’i keşfetmek yeni bir dünyanın kapılarını açtı. Orada neler olduğunu keşfetmek keyifli olacak.

KÜTLE VE SPİN

Higgs alanı üzerine ilk söylenecek şey diğer parçacıklara kütle kazandırdığıdır. Bu ek içinde bunun ne anlama geldiğini, ana metinde olduğundan biraz daha dikkatli bir şekilde açıklayacağız. Buradaki hiçbir şey mutlaka gerekli değil ama bir iki şeyi açıklığa kavuşturabilir.

Peki: Neden işi diğer parçacıklara kütle kazandırmak olan bir alana gerek duyuyoruz? Neden parçacıklar yardım olmadan kütle sahibi olamıyorlar?

Kuşkusuz Higgs alanı işin içine girmeden kütleli parçacıklar tasavvur edebiliriz. Ama Standart Modelin parçacıkları buna izin vermeyen özel bir türden. Kütlelerini Higgs alanından alan iki farklı parçacık dizisi var: zayıf etkileşimin kuvvet taşıyan W ve Z bozonlarıyla elektrik yüklü fermionlar (elektron, müon, tau ve tüm kuarklar). Bozonların kütle kazanmaları ayrıntılarında fermionların kütle kazanmasından farklıdır ama her iki durumda da altta yatan ilke aynıdır: Hiçbir kütleyle izin vermiyormuş gibi duran bir simetri vardır ve Higgs alanı bu simetriyi bozar. Bunun nasıl olduğunu anlamak için temel parçacıkların, kitapta bu noktaya kadar etrafını dolandığımız *spin*inden söz etmemiz gerekir.

Spin kuantum mekaniğinde bir parçacığı tanımlayan temel özelliklerden biridir. Bizatihi “kuantum mekaniği” tümcesi bile, her ne kadar icat edilmiş en uygun terminoloji olmasa bile, bazı şeylerin herhangi bir olası miktarda değil, yalnızca ayrık parçalar halinde olduğu olgusundan doğar. Örneğin, bir atom çekirdeğine bağlı olan bir elektronun enerjisinin yalnızca kimi özgül değerlere sahip olması mümkündür. Aynı şey “açısal momen-

tum” adı verilen ve bir nesnenin bir diğerinin çevresinde ne kadar hızlı döndüğünü ya da hareket ettiğini tanımlamanın bir yolu olan bir nicelik için de geçerlidir. Kuantum mekaniğinin kuralları bize açısal momentumun kuantize olduğunu söyler: Yalnızca temel bir değerin tam sayı çarpanları olarak görülebilir. Açısal momentumun asgari birimi, doğanın temel bir niceliği olan Planck sabiti h bölü iki pi olarak verilir. Bu nicelik o kadar önemlidir ki kendi havalı yazımına sahiptir, h olarak yazılır ve “ h bar” olarak okunur. Planck kendi özgün sabiti h ’yı kuantum mekaniğinin ilk günlerinde bulmuştu ama h daha yararlı oldu, bu yüzden genellikle onu sadece “Planck sabiti” olarak adlandırıyoruz. Sayısal olarak h elektronvolt çarpı saniye birimiyle yaklaşık $6,58 \times 10^{-16}$ değerindedir.

Çok hassas bir şekilde kumanda edebileceğiniz bir topacınız olduğunu tasavvur edin. Giderek daha yavaş döndürüyorsunuz ve ne yaptığınızı olabildiğince kesinlikle gözlemliyorsunuz. Fark ediyorsunuz ki siz topacı yavaşlattıkça, yalnızca ayrık dönüş hızları mümkün oluyor; topacın dönüşü aniden bir hızdan diğerine değişiyor, bir kuvars saatinin saniye kolunun aniden bir saniyeden diğerine atlaması gibi. Sonunda, topacın toplam açısal momentumu h ’a eşitlendiğinde olası en düşük dönüş hızına erişiyorsunuz. Buzun üzerinde dönen olimpiyat oyunlarındaki patencilerde bunu fark etmiyor olmanızın nedeni en düşük dönüşün çok yavaş olmasıdır: Açısal momentumu h olan bir oyuncak topaç, bir tam dönüşü evrenin yaşının yüz trilyon katında tamamlar.

Bir topacın dönüşünde, yani spininde açısal momentum vardır, çünkü topaçtaki moleküller fiilen belli bir merkezi eksen etrafında dönerler. Kuantum mekaniğinin sonuçlarından biri, tek tek parçacıkların da aslında bir şeyin etrafında dönmüyor olsalar da “spin” sahibi olabilmeleridir. Bunu böyle görüyor olmamızın nedeni, toplam açısal momentumun zaman içinde sabit kalması ve yörüngedeki parçacıkların etkileşime girip yörüngede olmayan parçacıklara dönüştükleri süreçler görmemizdir. Bu durumda açısal momentumun parçacığın spinine aktarıldığı sonucuna varabiliriz. “Spin” dediğimizde hep temel parçacığın asli kuantum mekaniksel spinini kastedeceğiz, “açısal momentum” dediğimizde de klasik bir diğerinin çevresinde hareket eden bir nes-

nenin görüntüsünü düşüneceğiz (bu “yörüngesel” açısal momentum olarak da bilinir).

Spin nasıl işler

Parçacık spini konusunda bilmemiz gereken bazı yaşamsal önemde olgular var. Her türden parçacığın her zaman sabit bir spini var; hiçbir zaman bu spin hızlanıp yavaşlamaz. $\hbar$ birimleriyle ölçüldüğünde, evrendeki her fotonun bire, her Higgs bozonunun da sıfıra eşit bir spini vardır. Spin bir parçacığın asli özelliğidir, (başka türde bir parçacığa dönüşmemişse) parçacık evrildikçe değişen bir şey değildir.

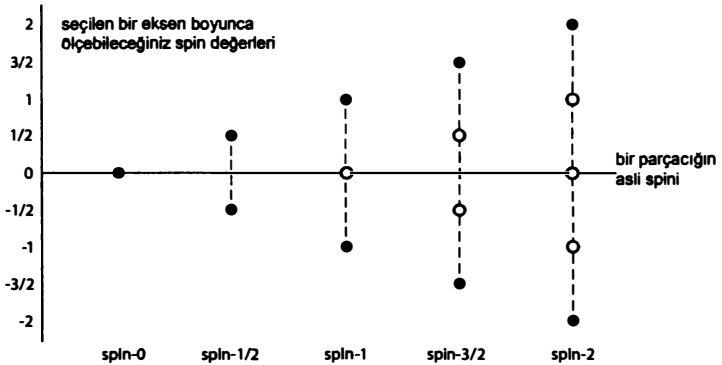
Normal yörüngesel açısal momentumun aksine, en düşük spin birimi yarım $\hbar$ olur, $\hbar$ değil. Bir elektron yarım spine sahiptir, yukarı kuark da öyle. Bunun neden mümkün olduğu kuantum alan kuramının eğlenceli bir garipliğidir ama ayrıntılarına girmek bizi bu görece teknik ekin geri kalanına göre daha da uzaklara götürür.

Bir parçacığın spiniyle onun bir bozon ya da fermion olarak doğası arasında basit bir korelasyon vardır: her bozonun tam sayı spini vardır: 0, 1, 2, vs. (bundan sonra hep yapacağımız gibi, $\hbar$ birimleriyle). Her fermion buçuklu bir spine sahiptir: $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$, vs. bu bağlantı o kadar yakındır ki, insanlar sıklıkla bozonları “tam sayı spinli parçacıklar,” fermionları da “buçuklu parçacıklar” olarak tanımlar. Bu tam olarak doğru değildir; evvelce vermiş olduğumuz tanım, bozonların üst üste yığılabilmeleri ama fermionların uzayda yer kaplamaları bu iki parçacık sınıfı arasındaki gerçek ayrımdır. Fizikteki ünlü bir kuram, “spin-istatistik kuramı,” üst üste yığılabilen parçacıkların tam sayı spine, uzayda yer kaplayan parçacıkların da buçuklu spine sahip olduklarını söyler. En azından dört boyutlu uzay-zamanda, ama bura da bununla ilgileniyoruz.

Standart Modelin parçacıklarının çok özgül spinleri vardır. Bilinen temel fermionların hepsi, kuarklar, yüklü leptonlar ve nötrinolar, $\frac{1}{2}$ spin olur. Gravitonun farazi süpersimetrik ortağı olan gravitino $\frac{3}{2}$ spine sahip olacaktı, ama hiç gravitino gözlemlenmemiştir. Graviton ise temel parçacıkların içinde eşsiz bir şekilde 2 spine sahiptir. Diğer ayar bozonları, fotonlar, gluonlar

ve W'lerle Z hep 1 spindir. (Gravitonla diğer kuvvet taşıyan bozonlar arasındaki fark nihayetinde kütleçekimin altında yatan simetrisinin bizatihi uzay-zamanın bir simetrisi olduğu, diğer kuvvetlerinse uzay-zamanın üzerinde yayıldıkları olgusuna bağlanabilir.) Hepsinden ayrı duran Higgs bozonu 0 spindir. Sıfır spine sahip parçacıklara “skaler” denir, doğdukları alanlara da “skaler alanlar” denir.

“Bir parçacığın spiniyle” “belli bir eksene göre ölçülen spinin değerini” ayırt etmek önemlidir. Güney kutbundan kuzey kutbuna bakarak ekseni etrafında dönen yerkürenin açısal momentumunun belli bir (büyük) sayı olduğunu düşünün. Sonra, açısal momentumu aksi yöne, kuzeyden güneye bakan eksene göre ölçtüğümüzü düşünebiliriz. Bu yanıt özgün doğru tarafı yukarıda yanıtın aksi olacaktır. Açısal momentum değişmemiştir, sadece onu farklı bir eksene göre ölçmüş olduk. Özgün eksene yukarıdan bakarsak, pozitif bir spin nesnenin saat yönünün tersine döndüğünü gördüğümüzde olur, negatif spinse saat yönünde dönüyor demektir. Yerküre kuzey kutbundan aşağı bakan bir gözlemciye göre saatin tersi yönde döner, dolayısıyla pozitif spine sahiptir. (Bu “sağ el kuralı” olarak bilinir, sağ elinizin parmaklarını bir şeyin dönüş yönünde kıvrırırsanız, başparmağınız bu spinin pozitif olduğu eksene bakar.)



Şekil 27: Bir parçacığın bir eksene göre asli spininin ölçülmesinin izin verilen sonuçları. Kütsüz parçacıklar yalnızca dolu dairelere karşılık gelen sonuçlar verirken, kütleli parçacıklar hem dolu hem de boş dairelere karşılık gelen sonuçları verebilir.

Hatta tamamen dik bir eksene göre açisal momentumu ölçmeyi de düşünebiliriz, yani diyelim ki ekvatorun bir yanından diğerine bakan. Bu yöne göre, yerküre hiç “dönmüyordur,” ekvatorun geçen hayali bir eksene göre Kuzey Kutbu ve Güney Kutbu aynı konumda kalırlar. O zaman bu eksene göre ölçülen spinin sıfır olduğunu söyleyebiliriz.

Bir parçacığın toplam spininin $\hbar$ 'nın tam ya da yarım tam sayı çarpımına kuantize edilmesi gibi, ölçebileceğiniz spin de kuantize edilir. Ya toplam spine eşittir ya eksi toplam spine eşittir ya da ikisinin arasında tam sayıyla ayrılmış bir sayıdır. 0 spine sahip bir parçacık için ölçümde elde edebileceğimiz olası tek spin 0 olur. $\frac{1}{2}$ spin bir parçacık için, $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ olabilir ama o kadar; araya en azından bir farklı başka değer sığdıramayız. 1 spin bir parçacık için spini $+1$, -1 ve 0 ölçebiliriz. 0 ölçersek bu parçacığın dönmediği anlamına gelmez; sadece ekseninin ölçtüğümüz eksene dik olduğu anlamına gelir. Hiçbir ölçüm $7/13$, ikinin karekökü ya da bunlara benzer çılgınca bir yanıt vermez, kuantum mekaniği buna izin vermez.

Serbestlik dereceleri

Bu noktada, kütleli parçacıklarla kütsüz olanlar arasında bir ayırım yapmamız gerekli. (Bakın bu nasıl Higgs alanına bağlanacak.) Kütsüz bir parçacığın spinini ölçtüğünüzde sadece iki değer alabileceği görülür: artı asli spin ya da eksi asli spin. (0 spin parçacıklar için bunlar birbirlerine eşittir ve olası bir tek sonuç vardır.) Diğer bir deyişle, hangi eksen seçerseniz seçin, foton gibi kütsüz 1 spinli bir parçacığın spinini bu eksen üzerinden ölçerseniz, $+1$ ya da -1 elde edersiniz, hiçbir zaman 0 değil. 0 spinli ya da $\frac{1}{2}$ spinli parçacıklar için sorun yoktur, eksik değer olmaz. Ama daha yüksek spinli parçacıklar için çok önemlidir. Bir foton ya da gravitonun spinini ölçtüğümüzde iki değer elde edebiliriz ama bir W ya da Z bozonunu ölçersek üç değer vardır, çünkü 0 da mümkündür. Şekilde, dolu daireler kütsüz parçacıkların spinini ölçtüğümüzde elde ettiğimiz sonuçları temsil eder, kütleli parçacıklar da dolu ya da boş dairelerden birini verebilir.

Bu olgunun önemli olmasının nedeni, olası spin ölçümlerinin her birinin yeni bir “serbestlik derecesini” temsil ediyor olmasıdır.

Bu fizik dilinde “başka şeylerin olmasından bağımsız olarak bir şeylerin olabileceği” anlamına gelir. Burada aslında konuştuğumuz kuantum alanları olduğu için, her serbestlik derecesi alanın titreşebilmesinin özgül bir yoludur. Higgs gibi 0 spin bir alan için, titreşebilmesinin yalnızca bir yolu vardır. Elektron gibi $\frac{1}{2}$ spin bir alan iki türden titreşime sahip olabilir, bu da seçtiğiniz eksene göre saat yönü veya saatin aksi yönü olabilir. (Gözünüzde canlandırmanız zor, kabul ediyorum.) Foton gibi kütsüz 1 spin bir parçacığın da iki tür titreşimi vardır. Ama Z bozonu gibi kütleli 1 spin parçacık üç tür titreşime sahiptir: bir eksene göre, saat yönünde veya saatin aksi yönde dönebilir ya da hiç dönmez.

Bu akıl karıştırıcı bir kargaşa gibi görünebilir ama Bölüm On Bir içindeki Higgs Mekanizması tartışmasına dönerseniz, yerel bir simetriyi kendiliğinden bozarsak ne olacağının anlaşılmasına yardımcı olur. Standart Modelde (simetri bozulması öncesinde) üç kütsüz ayar bozonu ve dört skaler Higgs bozonuyla başladığımızı anımsayın. Serbestlik derecelerini sayın: üç kütsüz ayar bozonunun her biri için ikişer, skalerlerin her biri için de birer adet, bu da $2 \times 3 + 4 = 10$ yapar. Simetri bozulduktan sonra, skalerlerden üçü ayar bozonları tarafından yutulur ve bunlar kütle kazanırlar, geride fiziksel Higgs Bozonu olarak gözlemlediğimiz bir kütleli skaler bırakılır. Şimdi serbestlik derecelerini yeniden sayın: üç kütleli ayar bozonunun her biri için üçer adet, bir de kalan skaler için, bu da $3 \times 3 + 1 = 10$ yapar. Uyuyorlar. Kendiliğinden bozulma serbestlik derecelerini azaltıp çoğaltmaz, sadece karıştırır.

Serbestlik derecelerini saymak ayar bozonlarının neden Higgs olmadan kütsüz olduklarını açıklar. Zaten başlangıçta ayar bozonlarının var olmalarının nedeni yerel, yani uzayın her noktasında ayrı ayrı işleyen bir simetri olmasıdır ve farklı noktalardaki simetri işlemlerini ilişkilendiren birleştirme alanlarını tanımlamamız gerekir. Görülüyor ki bu türden bir alanı tanımlamak için tam olarak iki serbestlik derecesine gerek var. (Burada bana güvenin. Tüm matematiği baştan almayı gerektirmeyecek anlamlı bir açıklama düşünmek zor.) Yalnızca iki serbestlik derecesine sahip 1 spin ya da 2 spin bir parçacığınız varsa bu parçacığın kütsüz olması gerekir. Higgs alanı tamamen ayrı bir serbestlik derecesidir; ayar bozonları tarafından yutulduğunda onlar artık kütleli olurlar. Etrafta fazladan serbestlik derecesi

olmasaydı, ayar bozonları kütsesiz kalırdı, diğér bilinen kuvvetlerle olduğu gibi.

Umarım bu fizikçilerin neden henüz keşfedilmeden önce bile Higgs gibi bir şeyin var olduğundan bu kadar emin olduklarını açıklamaya yardımcı olmuştur. Bir anlamda keşfedilmişti, dört skaler bozonun üçü zaten kütleli W ve Z bozonlarının parçası olarak oradaydı. Tek yapmamız gereken dördüncüyü bulmaktır.

Neden fermionlar Higgs olmadan kütsesiz olurlar

İşte fermionların kütleli olduğú olgusunun neden bir açıklamaya muhtaç olduğunun nedeni bu. Ayar bozonları için kullandığımız serbestlik derecesi savının burada geçerli olmadığına dikkatinizi çekerim; $\frac{1}{2}$ spin bir fermion kütleli olsa da olmasa da iki olası spin değeriine sahiptir.

Düşünmeye elektron gibi kütleli $\frac{1}{2}$ spin bir parçacıkla başlayın. Doğrudan bizden uzağa doğru ilerlediğini ve hareket yönündeki bir eksen boyunca spinini $+1/2$ olarak ölçtüğümüzü farz edin. Ama kendi hızımızı yükselttiğimizi ve böylece elektronu yakalamaya başladığımızı farz edebiliriz, şimdi artık ona doğru ilerliyoruz. Elektronda spini de dahil olmak üzere asli hiçbir şey değişmedi ama bize göre hızı değişti. Bir parçacığın “sarmallığı” diye bir nicelik tanımlıyoruz, bu hareketi tarafından tanımlanan eksenini boyunca ölçülen spin oluyor. Elektronun sarmallığı $+1/2$ iken $-1/2$ ’ye geçer, tüm yaptığımız da hareketimizi değiştirmektir, elektrona hiç dokunmadık. Açıkça, sarmallık parçacığın asli özelliğı değildir; ona nasıl baktığımıza bağlıdır.

Şimdi kütsesiz $\frac{1}{2}$ spin bir fermion düşünün (kendiliğinden simetri bozulması olmadan elektronun olacağı gibi). Bizden uzaklaşıyor olsun ve biz de spinini hareket yönünün tanımladığı bir ekseninde $+1/2$ olarak ölçüyoruz, böylece sarmallığı $+1/2$ oluyor. Bu durumda fermion illaki de ışık hızında ilerliyor (çünkü kütsesiz parçacıklar hep böyle davranır). Dolayısıyla sadece kendimiz hızlanarak ona yaklaşamayız ya da görelî hareket yönünü değiştiremeyiz. Evrendeki her gözlemci bu kütsesiz parçacığın sarmallığını tek bir değerde gözlemler. Diğér bir deyişle, kütsesiz parçacıklar için sarmallık, kütleli parçacıkların durumunun aksine, kimin ölçtüğünden bağımsız olarak iyi tanımlanmış bir niceliktir. Pozitif

sarmallığı olan bir parçacık “sağ-ellidir” (bize doğru gelirken, saatin tersi yönde döner), negatif sarmallığı olan bir parçacıkta “sol-ellidir” (bize doğru gelirken saat yönünde döner).

Ve bunun önemli olmasının nedeni, *zayıf etkileşimlerin bir sarmallıktaki fermionlara bağlanıp diğerlerine bağlanmamalarıdır*. Özellikle, Higgs simetriyi bozmak üzere devreye girmeden önce zayıf etkileşimlerin kütesiz ayar bozonları sol-elli fermionlara bağlanıp sağ-elli olanlara bağlanmazken, sağ-elli karşı-fermionlara bağlanıp sol-elli olanlara bağlanmazlar. Neden diye sormayın, doğanın işleyişi böyle, yalnızca, veriyi uydurmak için buna gerek duyuyoruz. Yeğin kuvvet, kütleçekim ve elektromanyetizma hep sol-elli olduğu kadar sağ-elli parçacıklara da bağlanırlar; ama zayıf kuvvet birine bağlanıp diğerine bağlanmaz. Bu zayıf etkileşimlerin pariteyi neden ihlal ettiğini de açıklar: dünyaya bir aynadan bakınca, sağla solun yeri değişir.

Bir kuvvetin bir sarmallığa bağlanıp diğerine bağlanmaması, açıktır ki, farklı hızlarda hareket eden gözlemcilere sarmallığın farklı görünmesi durumunda bir anlam ifade etmez. Zayıf kuvvet belli bir parçacığa ya bağlanır ya da bağlanmaz. Zayıf kuvvet yalnızca sol-elli parçacıklara ve sağ-elli karşı-parçacıklara bağlanıyorsa bu parçacıkların değişmez şekilde bir sarmallığa ya da diğerine sahip olmaları gerekir. Bu da yalnızca ışık hızında hareket ediyorlarsa mümkündür. Bu da en azından sıfır kütleyle sahip oldukları anlamına gelir.

Bunu hazmedebilirsiniz, Standart Modeli ilk tanımlarken etrafı dolanmalarımızın bir kısmına anlam verebilirsiniz. Bilinen fermionların çiftler halinde bulunduğunu, boş uzayda dolanan Higgs olmasa bunun simetrik olacağını söylemiştik. Yukarı ve aşağı kuarklar bir çift oluşturur, elektronlarla elektron nötrinolar bir çift oluşturur, filan. Ama yalnızca sol-elli yukarı ve aşağı kuarklar simetrik bir çift oluştururlar; sağ-elli yukarı kuarkları sağ-elli aşağı kuarklarla bağlantılandıran bir yerel simetri yoktur, elektronla nötrinosunu bağlantılandıran da yoktur. (Standart Modelin özgün sürümünde, nötrinoların kütesiz oldukları düşünülüyordu, sağ-elli nötrinolar mevcut bile değildi. Şimdi artık nötrinoların küçük bir kütlesi olduğunu biliyoruz ama sağ-elli nötrinoların statüsü hâlâ muallakta.) Higgs uzayı doldurunca, zayıf etkileşim bozulur, gözlemlenen

ek bir

kuarklarla yüklü leptonların hepsi kütlelidir ve hem sağ-elli hem de sol-elli sarmallıklara yer açılır.

Şimdi, Standart Model fermionlarının kütle sahibi olabilmesi için neden Higgs'e gerek duyulduğunu görüyoruz. Zayıf etkileşim simetrisi bozulmamış olsaydı, sarmallık her fermionun sabit bir özelliği olacaktı ve bu da hepsinin ışık hızında hareket eden kütesiz parçacıklar olacakları anlamına gelirdi. Bunun nedeni de zayıf etkileşimin solu sağdan ayırt edebiliyor olması. Bu doğru olmasaydı, Higgs olsa da olmasa da fermionların kütle sahibi olmalarının önünde bir engel olmayacaktı. Gerçekten de Higgs de kütlesi olan bir skaler alandır ama Higgs kendi kendine kütle kazandırıyor değildir; yalnızca kütlesi vardır, çünkü olması için bir neden yoktur.

STANDART MODEL PARÇACIKLARI

Kitap boyunca Standart Modelin çeşitli parçacıklarından söz ettik ama pek de sistemli bir şekilde değil. Burada parçacıkların ve özelliklerinin bir özetini sunuyoruz.

İki tip temel parçacık var: fermionlar ve bozonlar. Fermionlar yer kaplar; yani, iki eş fermionu tam aynı kurulumda üst üste koyamazsınız. Dolayısıyla bunlar, nötron yıldızlarından masalara, katı nesnelerin esasını oluştururlar. Bozonlar istediğiniz kadar üst üste yığılabirler. Dolayısıyla elektromanyetik alan ve kütleçekim alanı gibi makroskobik kuvvet alanları yaratabirler.

Fermionlar

Önce fermionları ele alalım. Standart Modelde kesin örüntülere dahil on iki fermion vardır. Yeğin kuvvetten etkilenen fermionlar kuarklardır, etkilenmeyenler de leptonlar. Hem kuarkların hem de leptonların altışar tipi vardır, her biri çiftler halinde düzenlenmişlerdir ve her çift bir kuşak oluşturur. Bir fermionun spininin tam sayı artı yarım olması kuraldır; bilinen tüm temel fermionlar $\frac{1}{2}$ spin parçacıklardır.

Üç tane yukarı tip kuark vardır, elektrik yükleri her birinin $+2/3$ 'tür. Yükselen kütle sırasıyla bunlar yukarı kuark, tılsımlı kuark ve üst kuarktır. Bunun yanında üç adet de aşağı tip kuark vardır ve elektrik yükleri de her birinin $-1/3$ 'tür: aşağı kuark, acayip kuark ve alt kuark.

Her kuark tipi üç renkte olur. Her rengi farklı bir parçacık türü olarak saymak gayet meşrudur (bu durumda sadece altı değil on sekiz kuark tipi olacaktır), ama renklerin hepsi yeğin etkileşimle-

rin bozulmamış simetrisi tarafından ilişkilendirildiği için genellikle aldırmayız. Tüm renkli parçacıklar “hadron” adı verilen renksiz bileşimlere hapsedilmişlerdir. İki basit hadron tipi vardır: bir kuark ve bir de karşı-kuarktan oluşan mezonlar ve her biri üç renk olan kırmızı, yeşil ve maviden birer tanesinden üç kuarktan oluşan baryonlar. Protonlar (iki yukarı bir aşağı) ve nötron (iki aşağı bir yukarı) her ikisi de baryondur. Mezonlara bir örnek pionlardır ve üç tipleri vardır: biri pozitif yüklü (yukarı artı karşı-aşağı), biri negatif yüklü (aşağı artı karşı-yukarı) ve biri de nötr (yukarı/karşı-yukarı ve aşağı/karşı-aşağı karışımları).

PARÇACIK ALEMİ: FERMİONLAR

Kuarklar		Leptonlar	
(Yeşin etkileşime, hadronlara hapsedilmiş)		Yeşin etkileşime, hapsedilmemiş)	
Yukarı tip kuarklar (yük +2/3)	Aşağı tip kuarklar (yük -1/3)	Yüklü Leptonlar (yük -1)	Nötrinolar (yük 0)
Üst (172 GeV)	Alt (~ 4 GeV)	Tau (1,78 GeV)	Tau nötrino (küçük)
Tılsımlı (~ 1 GeV)	Açayip (~ 0,1 GeV)	Müon (0,106 GeV)	Müon nötrino (küçük)
Üst (~ 0,002 GeV)	Alt (~ 0,002 GeV)	Elektron (0,0005 GeV)	Elektron nötrino (küçük)

Şekil 28: Temel fermionlar, elektrik yükleri ve yaklaşık kütleleri. Nötrinoların kütleleri henüz hassasiyetle ölçülmemiştir ama hepsi elektrondan daha hafiftir. Kuark kütleleri de yaklaşıktır; ölçülmeleri zordur, çünkü hadronların içine hapsedilmişlerdir.

Kuarkların aksine, leptonlar hapsedilmiş değildir; her biri kendi başına uzayda dolaşabilir. Altı lepton da üç kuşak halinde, her kuşakta bir nötr parçacık, bir de -1 yüklü parçacık bulunur. Yüklü leptonlar elektron, müon ve tau’dur. Nötr leptonlar da nötrinolardır: elektron nötrino, müon nötrino ve tau nötrino. Nötrino kütleleri çok iyi anlaşılmamıştır ve diğer Standart Model fermionlarıyla aynı şekilde oluşmazlar, bu yüzden bu kitapta esas olarak onları yok saydık. Ama çok küçük oldukları biliniyor (bir elektron voltun altında) ama sıfır değiller.

On iki farklı fermion aslında altı farklı eşleşmiş parçacık çifti olarak düşünülmelidir. Her yüklü lepton ilişkili nötrinoyla eşleş-

miştir, yukarı ve aşağı kuarklar bir çift oluşturur, tılsımlı ve acayip kuarkların ya da üst ve alt kuarkların olduğu gibi. Bu çiftleşmenin uygulamadaki örneği olarak, bir W^- bozonu bir elektron ve bir karşı-nötrinoya bozduğunda, bu hep bir elektron karşı-nötrinosu olur. Benzer şekilde, bir W^- bir müona bozduğunda her zaman bir müon karşı-nötrinosunun eşliğinde olur, filan. (Aynı şeyi kuarklar için de söylemek isteyebilirsiniz ancak aslında onlar daha ince yollardan karışırlar.) Her çiftteki parçacıklar aslında özdeş özelliklere sahip olacaklardı, ardalan-da dolanan sinsi etki olmasaydı: Higgs alanı. Gördüğümüz dünyada, her çiftteki parçacıklar farklı kütlelere ve farklı elektrik yüklerine sahiptir ama bunun nedeni Higgs'in onların altta yatan simetrik doğalarını gizlemesidir.

Kuarklarla leptonların aslında temel olmamaları ve daha alt düzeyde parçacıklardan oluşuyor olmaları mümkün müdür? Tabii ki mümkündür. Fizikçilerin halihazırdaki parçacıkların gerçekten temel parçacıklar olmalarında bir çıkarları yoktur; bunların içinde gizlenmiş başka esrarlar keşfetmek onların hoşuna gider ve zaten bu doğrultuda modeller icat edip bunları deneysel olarak sınamak için çok zaman harcamışlardır. Kuarkları ve leptonları oluşturacak farazi parçacıkların bir adları bile vardır: “preonlar.” Olmayansa deneysel kanıt ya da aslında herhangi bir doğrulayıcı kuramdır. Bugünlerdeki oydaşma kuarklarla leptonların bir tür başka parçacığın bileşimleri değil, gerçekten temel gibi göründükleridir ama her an şaşırabiliriz.

Bozonlar

Şimdi de hep tam sayı spinlere sahip olan bozonlara dönelim. Standart Modelde dört tür ayar bozonu vardır, her biri doğanın yerel simetrilerinden kaynaklanır ve belli bir kuvvete karşılık gelirler.

Elektromanyetik kuvveti taşıyan fotonlar kütsesiz, nötr, 1 spin parçacıklardır. Yeğin çekirdek kuvvetini taşıyan gluonlar da kütsesiz, nötr 1 spin parçacıklardır. Önemli bir farklılık, gluonların renk sahibi olmalarıdır, bu yüzden onlar da kuarklar gibi hadronların içinde hapsolmuştur. Bu renkler nedeniyle fiilen sekiz farklı türden gluon vardır ama gene bozulmayan bir simet-

higgs: evrenin sonundaki parçacık

ri tarafından ilişkilendirildikleri için onlara özgül adlar vermekle uğraşmadık bile.

PARÇACIK ALEMİ: BOZONLAR

	<u>Adı</u>	<u>Kütle (GeV)</u>	<u>Yük</u>	<u>Spin</u>
Elektromanyetizma	foton	0	0	1
Yığın çekirdek kuvveti	gluon (8)	0	0	1
Zayıf çekirdek kuvveti	W^+ , W^- , Z	80,4	+1,-1	1
		91,2	0	1
Kütleçekim	graviton	0	0	2
Higgs	Higgs bozonu	125	0	0

Şekil 29: Kuvvet taşıyan parçacıklar, yani bozonlar. Kütleler giga elektron volt (GeV) olarak ölçülmüştür.

Kütleçekimi taşıyan gravitonlar da kütsesiz ve nötrdürler ama 2 spin parçacıklardır. Gravitonlar kütleçekimle kendileri etkileşime girer, çünkü her şey kütleçekimle etkileşime girer ama çoğunlukla kütleçekim o kadar zayıftır ki farkına varmazsınız. (Güçlü bir kütleçekim alanı oluşturacak büyük miktarda kütleli bir araya getirdiğinizde tabii ki işler değişir.) Doğrusu, kütleçekimin zayıflığı gravitonun parçacık fiziği açısından büyük ölçüde önemsiz olduğu anlamına gelir, en azından Standart Model içinde. Eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramına sahip olmadığımız ve tek tek gravitonların saptanması neredeyse olanaksız olduğundan insanlar genellikle gravitonu bir parçacık olarak dahil etmezler ama gerçek olduğuna inanmak için sağlam nedenler var.

Zayıf kuvvet yüklü W bozonları ve nötr Z bozonları tarafından taşınır. Her üçü de 1 spin ama kütleli parçacıklardır ve üretildiklerinde hızla bozunurlar. Zayıf bozonların kütleli olup diğerlerinden farklılaşmalarının sorumlusu, Higgs alanının neden olduğu simetri bozulmasıdır.; Higgs olmasaydı, W ve Z bozonları daha çok gluonlara benzeyecekti ama sekiz yerine üç çeşitle.

Evvelce sözü edilen üç kuvvetin aksine, zayıf kuvvet o kadar güçsüzdür ki herhangi iki parçacığı kendi başına bir arada tuta-

maz. Diğer parçacıklar zayıf kuvvet aracılığıyla etkileşirken, bunu yapmanın esas olarak iki yolu vardır: iki parçacık bir W ya da Z değişimi yaparak birbirlerini dağıtabilirler veya bir kütleli fermion daha hafif bir fermiona bozunurken bir W yayar, o da sonrasında başka parçacıklara bozunur. Bu süreçler LHC’de yeni parçacıklar arama safhasında yaşamsal bir rol oynarlar.

Parçacık	HANGİ PARÇACIK HANGİ KUVVETLERİ HİSSEDER?				
	Elektromanyetik		Kuvvet		
	Elektromanyetik	Yeşil	Zayıf	Kütleçekim	Higgs
kuarklar	X	X	X	X	X
yükü leptonlar	X		X	X	X
nötrinolar			X	X	?
fotonlar				X	
gluonlar		X		X	
W^+, W^-	X		X	X	X
Z			X	X	X
graviton				X	
Higgs			X	X	X

Şekil 30: Hangi parçacıkların (bozon ya da fermion) hangi kuvvetlerle etkileşime girdiğini özetleyen çizelge. Fotonlar elektromanyetik kuvveti taşırlar ama kendi kendileriyle doğrudan etkileşime girmezler çünkü elektrik yükleri nötrdür. Nötrininonun kütlesinin kaynağı henüz esarengizdir, bu yüzden Higgs’le olan etkileşimleri bilinmiyor.

Higgs de bir skaler bozondur, yani 0 spindir. Ayar bozonlarının aksine, bir simetriden kaynaklanmaz ve kütlesinin sıfır (ya da hatta küçük) olmasını beklemek için bir neden yoktur. Bir Higgs “kuvvetinden” söz edebiliriz ve hatta derin yeraltı deneylerinde kara madde saptamak da anlamlı olabilir. Ama Higgs’in esas önemi dayandığı alanın boş uzayda sıfırdan farklı olması ve mevcudiyetinin diğer parçacıkları onlara kütle kazandırarak etkilemesidir.

Buraya kadar okuduysanız, Higgs’e epey aşına olmuşsunuz demektir.

PARÇACIKLAR VE ETKİLEŞİMLERİ

Feynman diyagramlarından söz ettiğimiz bu ek, kitabın ana gövdesine göre daha teknik ağırlıklı. İsterseniz atlayabilir ya da sadece resimlere bakmakla yetinebilirsiniz. Bizzat Feynman, diyagramları ilk icat ettiğinde bu küçük karalamalar günün birinde fizik araştırma dergilerinin her yerinde görülmeye başlarsa çok şenlikli olacağını söylemişti. O şenlik durumu oluştu.

Feynman diyagramları, temel parçacıklar etkileşmek üzere bir araya geldiklerinde ne olacağını bulmanın basit bir yoludur. Diyelim ki bir Higgs bozonunun iki fotona bozunup bozunmayacağını öğrenmek istiyorsunuz. Fotonların kütesiz olduğunu, Higgs'in de sadece kütlesi olan parçacıklarla etkileşime girdiğini biliyorsunuz, bu yüzden ilk tahmininiz bunun olmayacağı yolunda olabilir. Ama Feynman diyagramlarını bitştirerek sanal parçacıkların Higgs'i fotonlarla bağlantılandıran süreçler keşfedebilirsiniz. O zaman bir fizikçi daha da ileri gidecek, bu diyagramları kullanarak böyle bir olayın fiilen gerçekleşme olasılığını hesaplayacaktır; her diyagram özgül bir sayıyla ilişkilidir ve farklı diyagramları toplayarak nihai sonucu elde ederiz. Profesyonel fizikçilerin rolünü oynamıyoruz ama gene de Feynman diyagramı dilinde resmedilen çeşitli izin verilen etkileşimleri görmek yararlıdır. Bu diyagramların yanında giden birçok kural vardır; ne olup bittiğini anlayacak kadar bunların içine gireceğiz ama kesin olsun istiyorsanız parçacık fiziği ya da kuantum alan kuramı üzerine kuramsal bir metne danışmak gerekir.

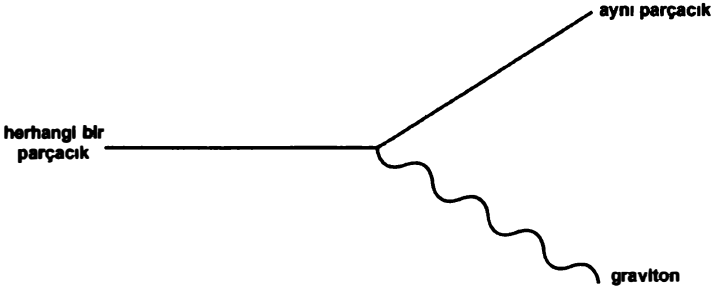
Bazı temel ilkeler: her diyagram birbirleriyle etkileşime girip kimlik değiştiren parçacıkların çizimidir, zaman soldan sağa doğru ilerler. Diyagramın en solunda gösterilen giren

parçacıklar ve en sağında yer alan çıkan parçacıklar “gerçektir” ve Ek İki içinde verdiğimiz Parçacık Âlemi tablosunda verilen kütlelere sahiptirler. Yalnızca diyagramda gözüken, herhangi bir taraftan dışarı çıkmayan parçacıklar “sanaldır,” kütleleri herhangi bir şey olabilir. Buna vurgu yapmakta fayda vardır: Sanal parçacıklar gerçek parçacıklar değildir, bunlar yalnızca bir parçacık etkileşimi sırasında kuantum alanlarının nasıl titreştiğini gösteren, hesabı tutturmak için kullanılan araçlardır.

Fermionları düz çizgilerle, ayar bozonlarını dalgalı çizgilerle, (Higgs gibi) skaler bozonları da kesik çizgilerle göstereceğiz. Fermion çizgileri hiç sonlanmaz, ya kapalı çevrimlerde giderler ya da diyagramın başına ve/veya sonuna kadar ilerlerler. Aksine, bozon çizgileri fermion çizgilerinde ya da başka bozon çizgilerinde kolaylıkla sona ererler. Çizgilerin birleştiği yere “verteks” denir. Her vertekte elektrik yükü sakınılır; bu yüzden bir elektron bir nötrinoya dönüşürken bir W bozonu yayarsa, bunun W^- olduğunu biliriz. Aynı zamanda, her vertekte toplam kuark sayısı ve toplam lepton sayısı sakınılır (burada karşı-parçacıklar -1 sayılır). Parçacıkların yerine karşı-parçacık koyarsak, bir çizgiyi alıp ters-yüz edebiliriz. Böylece, bir yukarı kuark bir W^+ yayarak bir aşağı kuarka dönüşüyorsa, bir karşı-aşağı da aynı şekilde bir karşı-yukarı kuarka dönüşebilir. Standart Modelin temel diyagramlarını yazarak işe başlayacağız. Bu temel yapı taşlarını çeşitli şekillerde birleştirerek daha karmaşık diyagramlar oluşturulabilir. Tamamen kapsayıcı olmayacağız ama umarım temel örüntünün açıklığa kavuşması için yeterli olacak.

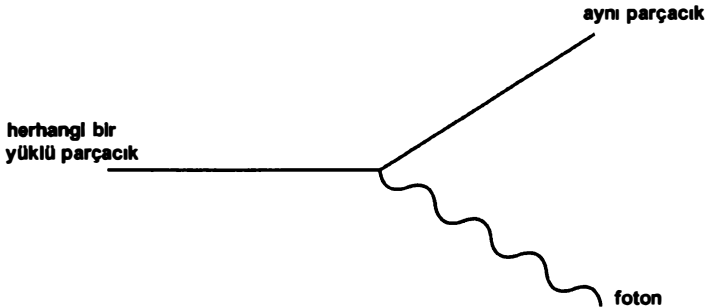
İlk olarak soldan gelen bir fermiona ne olabileceğini ele alalım. Fermion çizgileri sona eremez, bu yüzden bir çeşit fermionun diğer uçtan çıkması gerekir. Ama bir bozon atırabiliriz. Esas olarak, bir fermion bir kuvvet hissederse, bu kuvveti taşıyan bir bozon yayabilir. İşte birkaç örnek.

Her parçacık kütleçekim hisseder, bu yüzden her parçacık graviton yayabilir. (Ya da diyagramı tersine işletirsek, yutabilir; fotonlar ve Higgs gibi, gravitonlar da kendi karşı-parçacıklarıdır.) Her ne kadar parçacık bir fermionmuş gibi düz bir çizgi çiziyorsak da tüm bozonlar için de eşdeğer diyagramlar vardır.

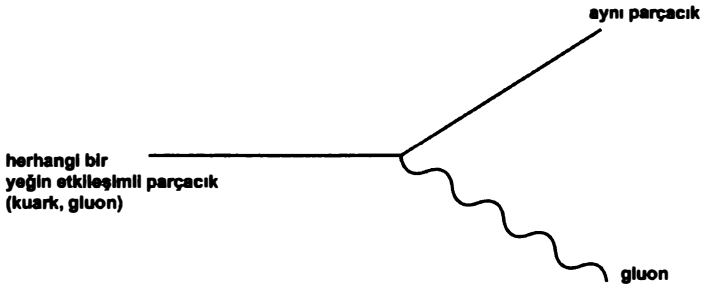


Bu diyagramın, bunu izleyecek birçokları gibi bir parçacığın, kendisi değişmezken başka bir parçacık yayarken betimlendiğine dikkat edin. Bu hiçbir zaman kendiliğinden olamaz çünkü enerji sakınılmaz. Bu türden tüm diyagramlar daha büyük bir diyagrama dahil olarak düşünülmelidir.

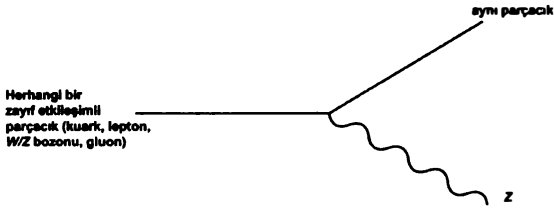
Elektromanyetizma, kütleçekimin aksine yalnızca yüklü parçacıklar tarafından doğrudan hissedilir. Bir elektron bir foton yayabilir ama bir nötrino ya da Higgs bunu yapamaz. Bunu dolaylı bir şekilde, daha karmaşık diyagramlar aracılığıyla gerçekleştirebilirler ama bunu yapacak basit bir verteks yoktur.



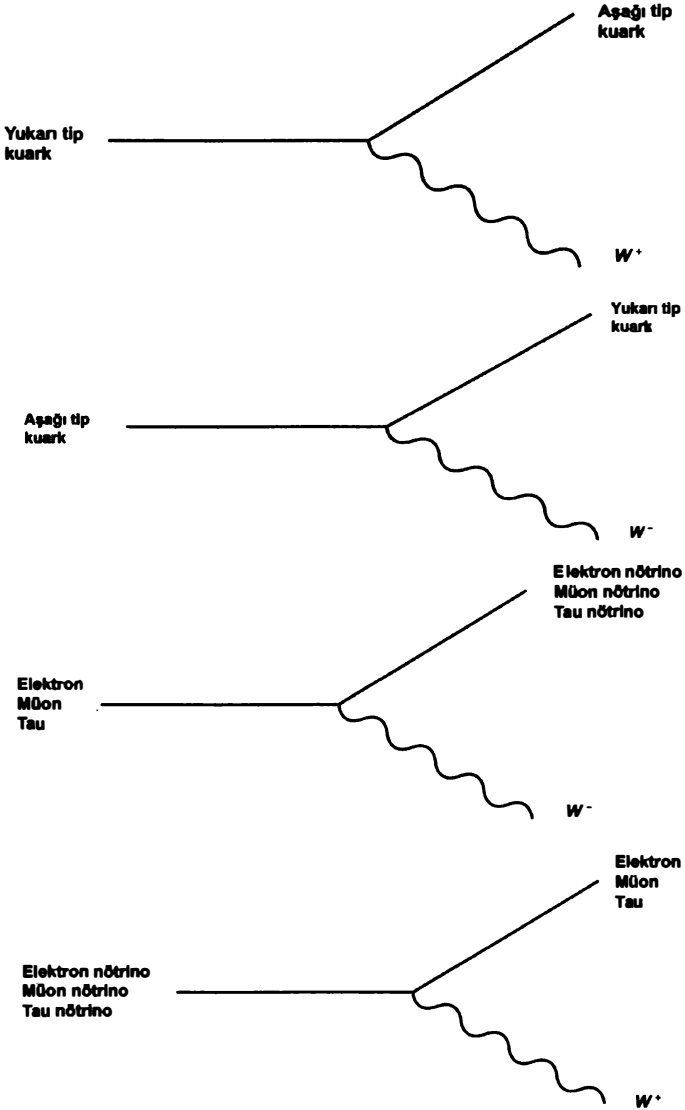
Benzer şekilde, herhangi bir yeğin etkileşimli parçacık (kuarklar ya da gluonlar) gluon yayabilirler. Gluonların yeğin etkileşime girdiğine ama fotonların elektrik yüklü olmadığına dikkat edin, üç gluonlu bir verteks vardır ama üç fotonlu verteks olmaz.



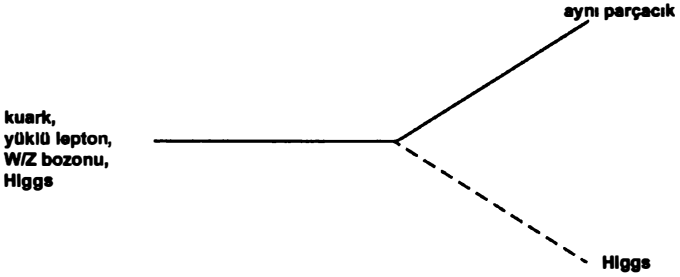
Şimdi zayıf etkileşimlere geldik, burada işler biraz daha karışık. Z bozonu hayli basittir; zayıf etkileşimi hisseden bütün parçacıklar bunlardan birini yayıp mutlu mesut yollarına devam edebilirler. (Gene, daha büyük bir diyagramın parçası olarak.)



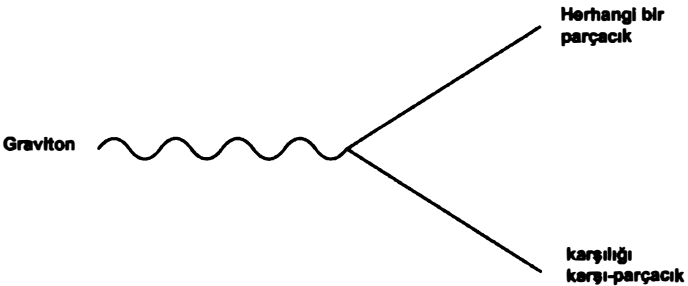
W bozonlarına geldiğimizde işler biraz daha karışır. Ele almış olduğumuz diğer bozonların aksine W'ler elektrik yüklüdür. Bu da onları yayan parçacığın kimliğini değiştirmeden yayılamayacakları anlamın gelir; olsaydı, yük sakınılmamış olurdu. Bu yüzden W bozonları yukarı tür kuarklarla (yukarı, tılsımlı, üst) aşağı tür kuarklar (aşağı, acayip, alt) arasında olduğu gibi, yüklü leptonlarla (elektron, müon, tau) ilişkili nötrinolar arasında da dönüşüm görevini gerçekleştirirler.

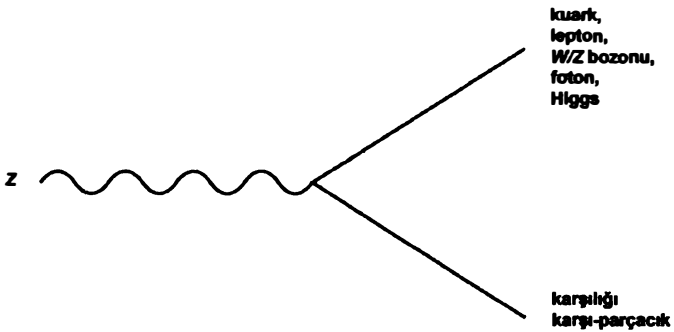
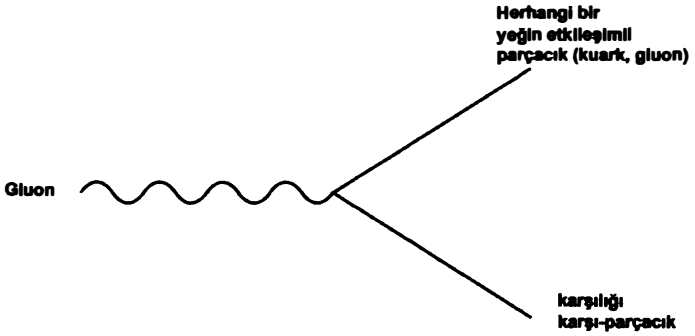
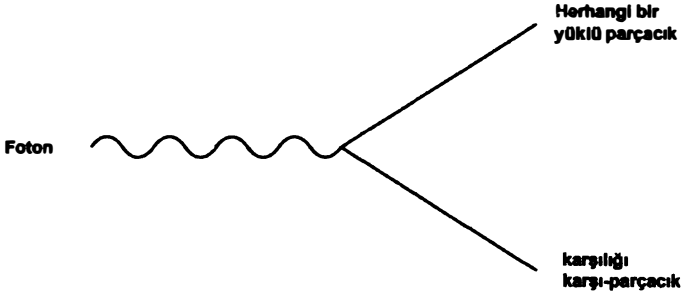


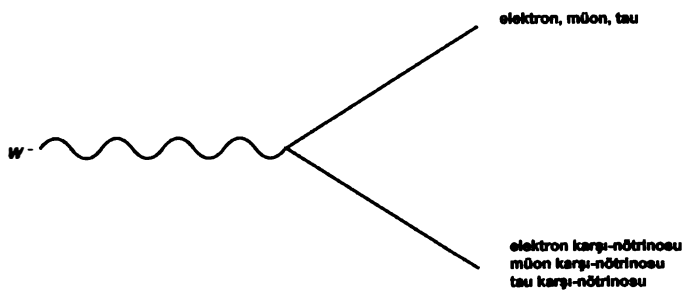
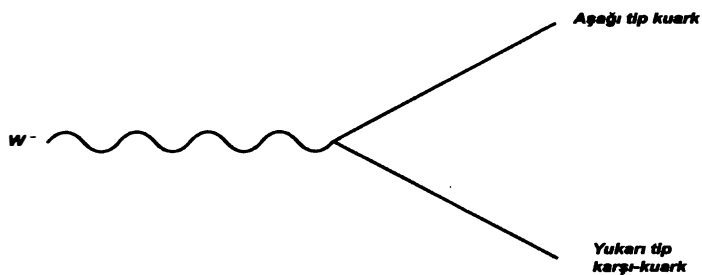
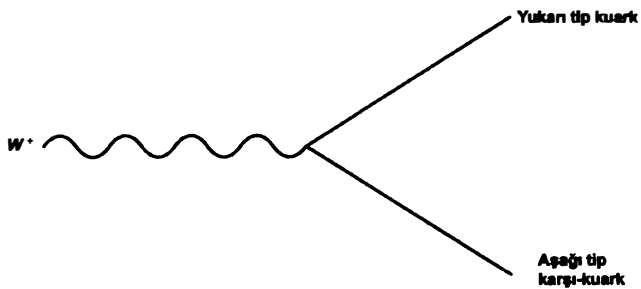
Higgs bozonu da Z gibidir: zayıf etkileşimi hisseden bütün parçacıklar onu yayabilir.

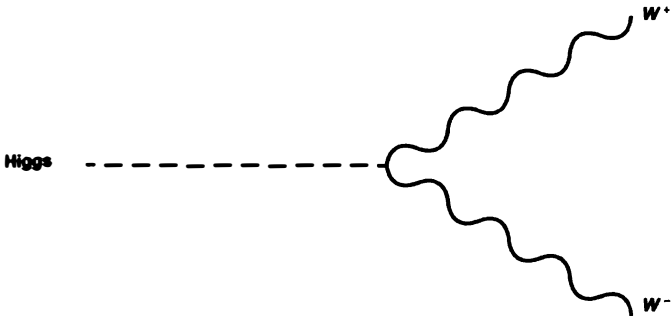
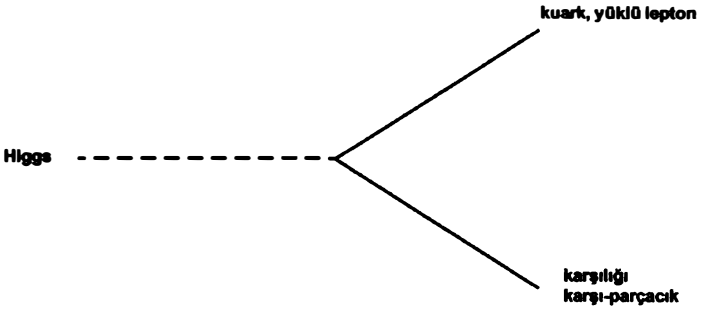
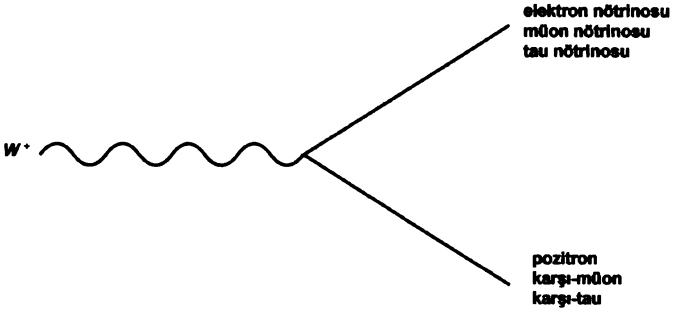


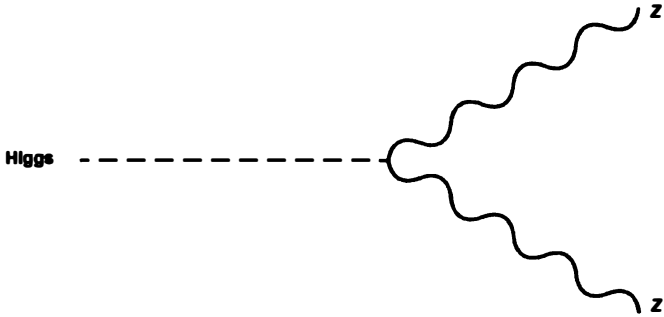
Şimdi giren bozonlara dönüyoruz. Başka bir bozon yayabilirler ya da iki fermiona bölünebilirler. Ama bir fermion çizgisi hiç sona ermediğinden, bir bozon bir fermion bir de karşı-fermiona bölünmelidir, böylece sonda toplam fermion sayısı sıfır olur, başlangıçta olduğu gibi. Burada birçok örneğimiz var. Dikkat ederseniz bunlar hep evvelce çizdiğimiz diyagramlar, sadece çizgilerin yeri değişir ve uygun yerlerde parçacıklar karşı-parçacıklara çevrilir. Giren bozon kütsesizse, bir kez daha bunun yalnızca daha büyük bir diyagramın parçası olarak kullanılabileceğini biliriz, çünkü kütsesiz parçacıklar hem kütseli olanlara bozunup hem de enerji sakınımına uyamazlar. (Buna bakmanın bir yolu, iki kütseli parçacığın bileşiminin toplam momentumun sıfır olduğu bir “durgun çerçeveye” sahip olması, tek bir kütsesiz parçacığınsa durgun halinin olmamasıdır.)



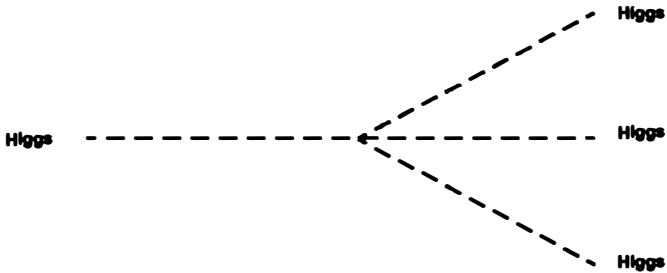
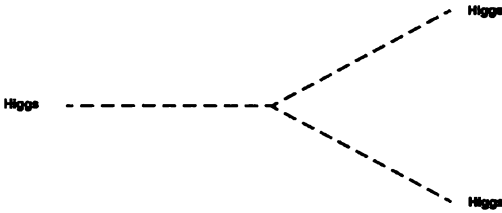








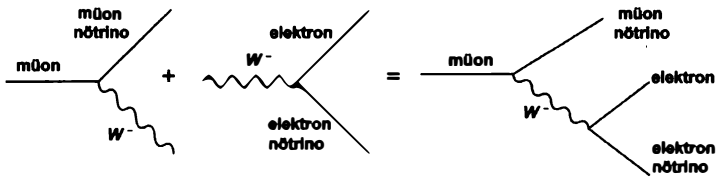
Geriye kalan tek temel diyagram Higgs'in kendi kendisiyle etkileşime girmesidir; iki ya da üç kopyasına bölünebilir. Açıkça, daha büyük bir diyagramın içinde olması dışında bu enerji sakınımını ihlal edecektir.



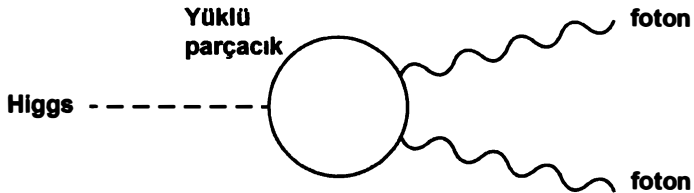
Esas eğlence bu temel diyagramlar daha büyük olanları oluşturmak üzere birleştirildiklerinde başlar. Tek yapmamız gereken eşleşen parçacıkları betimleyen çizgileri birleştirmektir: bir elekt-

ronu bir elektronla birleştiririz, filan. Yukarıdaki diyagramlarla başlayarak, işler hale getirebilmek için bazı çizgileri sağdan sola geçirebilir ve parçacıkları karşı-parçacıklara dönüştürebiliriz.

Örneğin, bir müonun nasıl bozunduğunu merak edebiliriz. Bir müonun bir W^- yaydığı ve bir müon nötrinoya dönüştüğü bir diyagram olduğunu görüyoruz; ama bu kendiliğinden gerçekleşemez, çünkü W müondan daha ağırdır. Hiç korkmayın; W sanal kaldığı ve müondan daha hafif, bir elektron ve nötrinosa gibi bir şeye bozunduğu sürece her şey yolundadır. Tek yapmamız gereken önceki iki diyagramdan W^- çizgilerini tutarlı bir şekilde yapıştırmaktır.

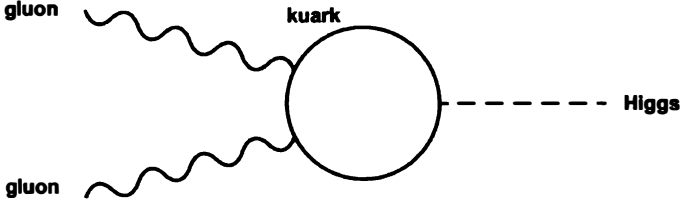


Aynı zamanda, çizgileri kıvrıp çevrim oluşturacak şekilde kendi üstlerine kapatabiliriz. İşte LHC'deki Higgs araştırmalarına önemli bir şekilde katkıda bulunan bir diyagram: bir Higgs iki fotona bozunuyor. Ortadaki sanal parçacık çevrimi hem (soldaki vertexin var olabilmesi için) Higgs'le hem de (sağdaki vertexlerin var olabilmeleri için) fotonlarla bağlanabilecek herhangi bir parçacık içerebilir. Kuvvetli bağlantıları olan parçacıklar en fazla katkıda bulunanlar olacaktır; elimizdeki durumda bu, Standart Modeldeki en kütleli parçacık olan ve dolayısıyla da Higgs'le en kuvvetli bağlantısı olan üst kuark olacaktır.

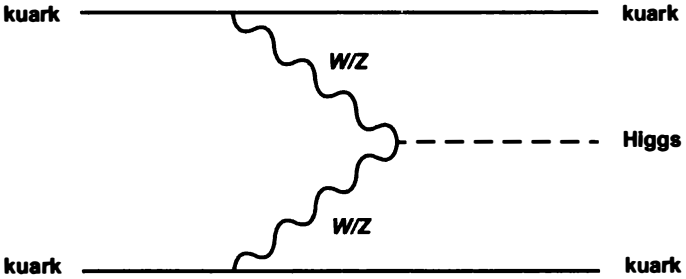


higgs: evrenin sonundaki parçacık

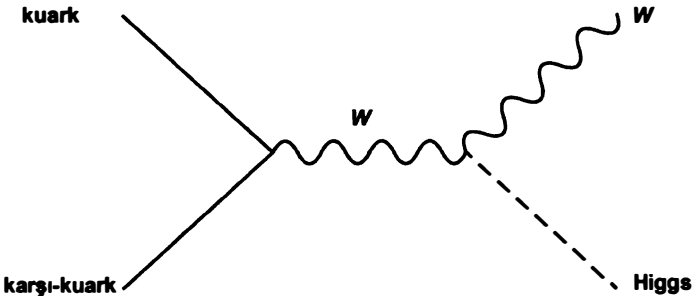
Nihayet, Higgs bozonlarının bozunmaları öncesi LHC’de fiilen üretilmelerinin en önemli yollarından bazıları. İki gluonun bir Higgs oluşturmak üzere bir araya geldikleri “gluon füzyonu” var; gluonlar kütesiz olduklarından, yeğin kuvveti hisseden bir sanal kütleli parçacık, yani bir kuark aracılığıyla ilerlemeleri gerekir.

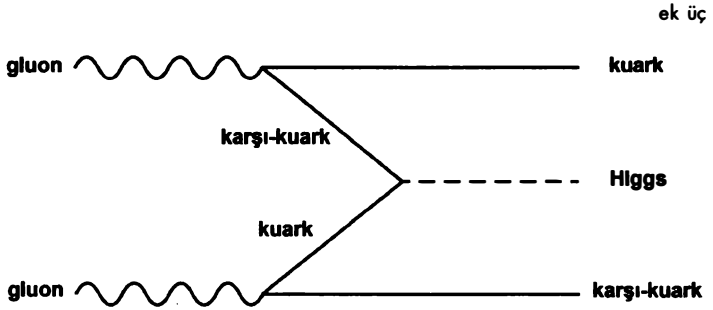


Bunun yanında, W ve Z bozonlarının bazen “vektör bozonu” olarak adlandırılmalarına atıfla “vektör bozon füzyonu” da vardır. Kütleli olduklarından, birleşip doğrudan Higgs oluşturabilirler.



Son olarak Higgs’in başka bir şeyin yanında üretildiği iki farklı türde “ilişkili üretim” vardır: ya bir W veya Z bozonu ya da kuark/karşı-kuark çifti.





Buradan alınacak ders Higgs'in üretimi ve bozunmasına katkıda bulunan tüm farklı süreçlerin girdisi çıktısı değildir; sadece, bütün bu süreçlerin karmaşık, farklı olasılıklar bileşiminden kaynaklandığı ve bunların neler olduğunu belirlemekte kesin kurallarımız bulunduğuudur. Bu minik çizimlerin doğa dünyasının mikroskobik davranışı üzerine derin bir şeyleri yakalıyor olması çok şaşırtıcıdır.

TEŞEKKÜRLER

Ben yaşamımı fizikçi olarak sürdürüyorum ama uzmanlığım kuramsal kütleçekim ve kozmoloji; parçacık fiziğinde yarım turist sayılırım ve lisan öğrenciliğimden beri bir deneyle doğrudan ilişkili olmadım. Bu proje süresince hem görüşlerini paylaşarak hem de kitabın müsveddelerini okuyarak cömertçe yardım eden çok sayıda kişiye muazzam bir minnet borcum var.

İşleri gereği bu konuda çalışan birçok fizikçi telefon ya da e-posta yoluyla bu kitap için benimle söyleşide bulunma nezaketini gösterdiler. Philip Anderson, John Conway, Gerald Guralnik, Fabiola Gianotti, JoAnne Hewett, Joe Incandela, Gordy Kane, David Kaplan, Mike Lamont, Joe Lykken, Jack Steinberger, Gordon Watts, Frank Wilczek ve Sau Lan Wu'ya muazzam yardımları olan söyleşilerden dolayı teşekkür etmek benim için bir zevk. Hatalar, söylemeye gerek yok ki tamamen benimdir ve öykülerin ancak çok küçük bir bölümünü kullanabildiğim için özür dilerim.

Bunun yanında, özgün soruları yanıtlayan ya da metin üzerine önerilerde bulunan hem profesyonel fizikçilerin hem de amatör bilim âşıklarının yardımını aldığım için şanslıyım. Kitabı okumak ve girdi sağlamak için zaman harcayan Allyson Beatrice, Dan Birman, Matt Buckley, Alicia Chang, Lauren Gunderson, Kevin Hand, Ann Kottner, Rick Loverd, Rusi Mchedlishvili, Philip Phillips, Abbas Raza, Henry Reich, Ira Rothstein, Maria Spiropulu, David Saltzberg, Matt Strassler ve Zach Weinersmith'e kocaman teşekkürler. Yorumları, müsveddeleri anlatılamayacak kadar iyileştirdi. Zach'e içeride kullandığım ve her şeyi anlatan karikatürü kullanmama izin verdiği için özellikle teşekkür ederim.

Öğrencilerime ve iş arkadaşlarıma bir kez daha uzun süreler ortadan kaybolduğumda çok sabırlı davrandıkları için teşekkür ederim (En azından öyle göründüler). Blogumuz *Cosmic*

higgs: evrenin sonundaki parçacık

Variance'ın tüm okurlarına ve kamuya açık toplantılarda bu konuda anlattıklarımı dinlemeye gelen herkese takdirlerimi sunarım. Düzenli bir şekilde bilime ve öğrenmeye gösterilen gerçek hevesten şaşkınlık ve mutluluk duyuyorum.

Yayıncım Stephen Morrow ve Dutton'daki iyi insanlar olmasa, muhtemelen bu kitap hiç başlamazdı ya da en azından bu kadar iyi olmazdı. Ajanlarım Katinka Matson ve John Brockman olmasa, zaten hiç kitap yazıyor olmazdım.

Ünlü ders kitapları *Gravitation*'ın ithaf yazısında, Charles Misner, Kip Thorne ve John Wheeler bilim üzerine kamu harcamalarını destekledikleri için yurttaşlarına teşekkür ederler. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı gibi dev projeler için, biraz kamu harcamasının biraz ötesinde bir şeylerin yanında etkileyici miktarda uluslararası işbirliği gereklidir. Doğanın en derin sırlarının keşfedilmesini mümkün kılmaya yardımcı olan, dünyanın tüm ülkelerindeki bütün insanlara samimi teşekkürlerimi sunarım. Bulduğumuz harikalar hakkında bilgi vermek yapabileceklerimizin gerçekten asgarisidir.

Yetenekli yazar Jennifer Ouellette'e güzelliği, delici zekâsı ve girişken kişiliği nedeniyle âşık oldum, kitap yazma konusunda sonsuz sabrı ve aşırı yardımcı olması nedeniyle değil. Ama bu da güzel bir yanı elbette. Ebedi sevgi ve takdirlerimle.



JoAnn Hewett 2011 yılında Eugene Oregon'daki bir fizik atışmasında kara madde üzerine eleştirilerde bulunurken.



4 Temmuz 2012'de, CERN'de Fabiola Gianotti, Rolf Heuer ve Joe Incandela büyük açıklamaya hazırlanıyorlar.



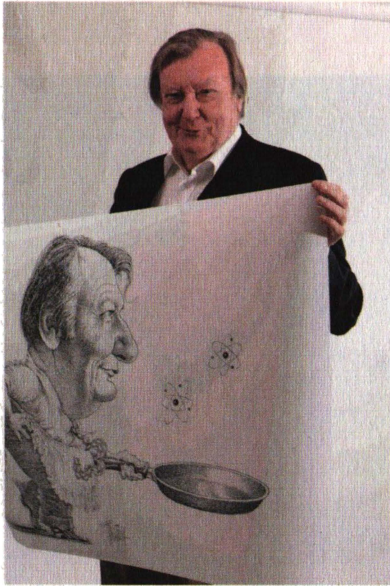
Leon Lederman, Fermilab dışında dururken.



Higgs'i hem LEP hem de LHC'de arayan, Wisconsin Üniversitesi'nden Sau Lan Wu.



Fabiola Gianotti, 2011 ve 2012'de ATLAS sözcüsü.



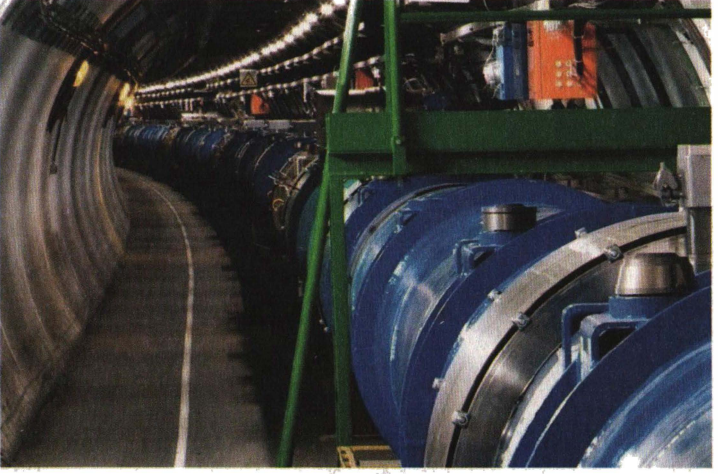
Carlo Rubbia, W ve Z bozonlarının keşfi ve LHC destekçisi.



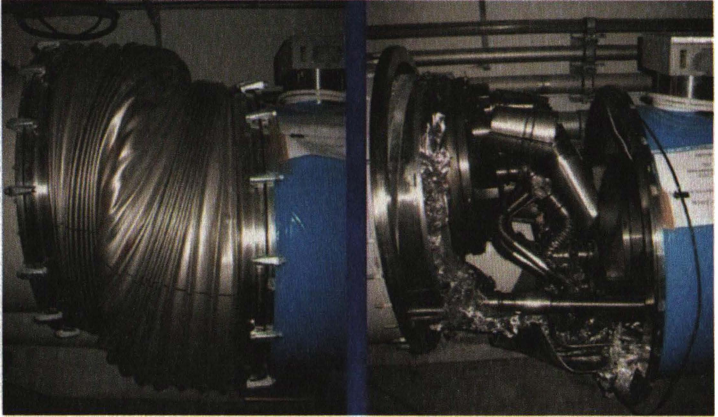
Lyn Evans, LHC'yi inşa eden adam.



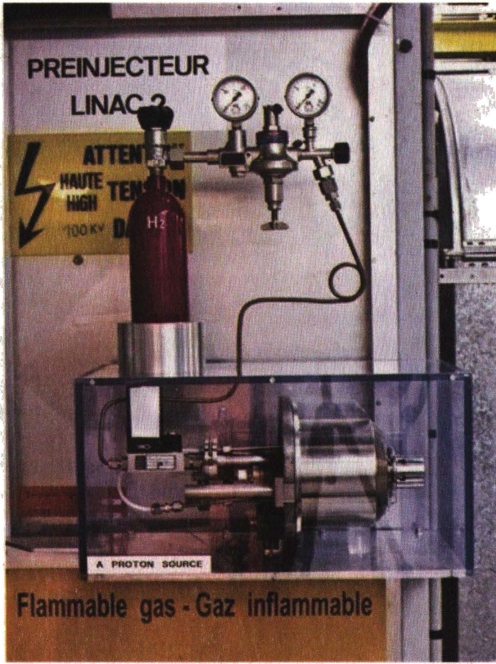
CERN ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısının havadan görünüşü, belli başlı deneyler işaretlenmiş. Halka aslında yer altında ve yukarıdan görünmez.



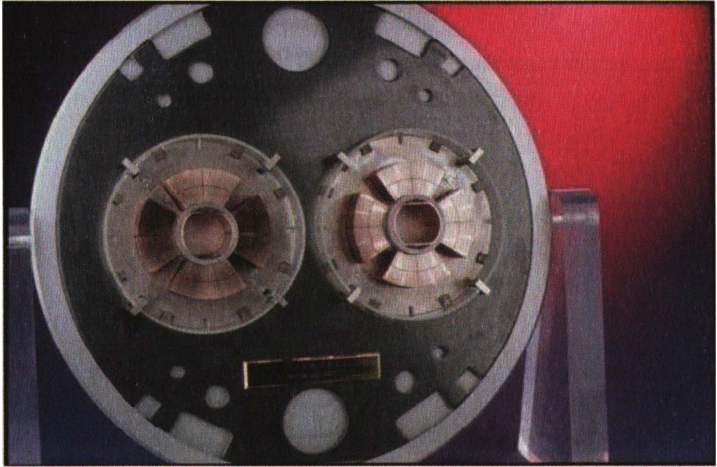
LHC tünelinin i i, dipol mıknatıslar yerleştirilmiş ve çalışmaya hazır.



Eylül kazası sonrası LHC mıknatıslarındaki hasar.



LHC huzmesi için tüm protonlar bu minik hidrojen tüpünden geliyor. LHC'yi milyarlarca yıl besleyecek kadar proton   erir.



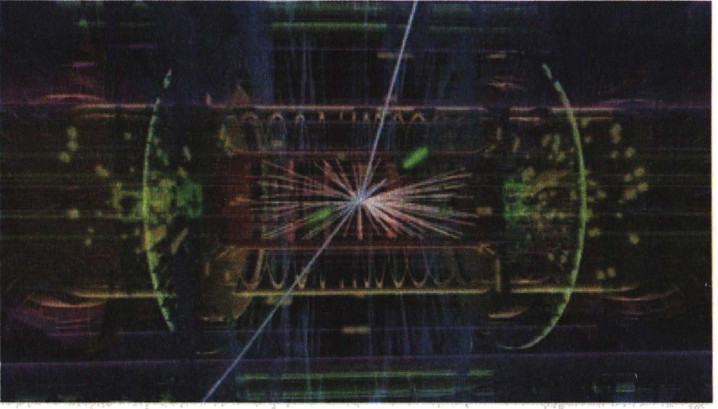
LHC'deki dipol m knat slardan bir kesitin modeli. İki huzme borusu aksi yönlerde ilerleyen protonlar   erir.



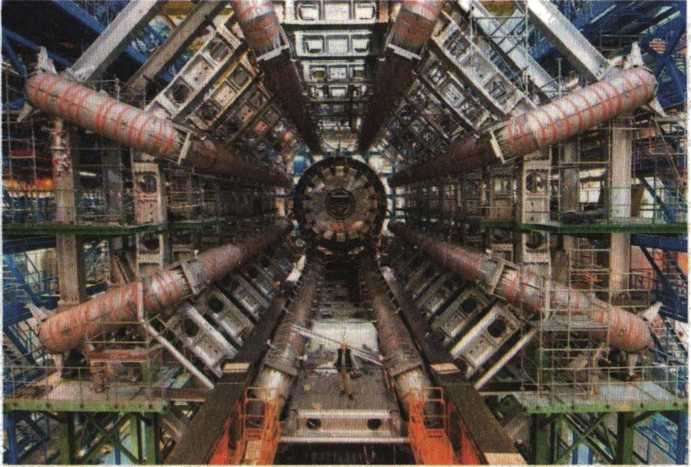
Tıkanmaları denetlemek üzere LHC'nin huzme borularından içeri gönderilen, radyo vericileriyle donanmış "pinpon toplarından" biri.



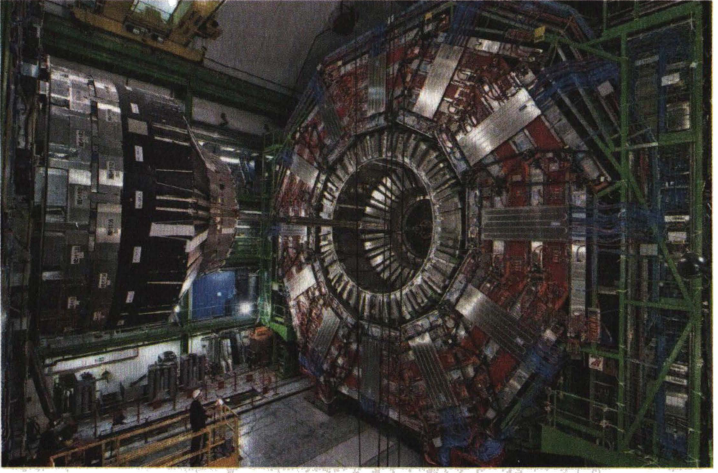
Joe Incandela, 2012'de CMS sözcüsü.



ATLAS detektöründe bir Higgs olayı adayı. İki uzun mavi çizgi muonlar, kısa mavi çizgiler de elektronlardır, yani bu Higgs'in iki Z bozonuna bozunmasını gösteriyor olabilir.



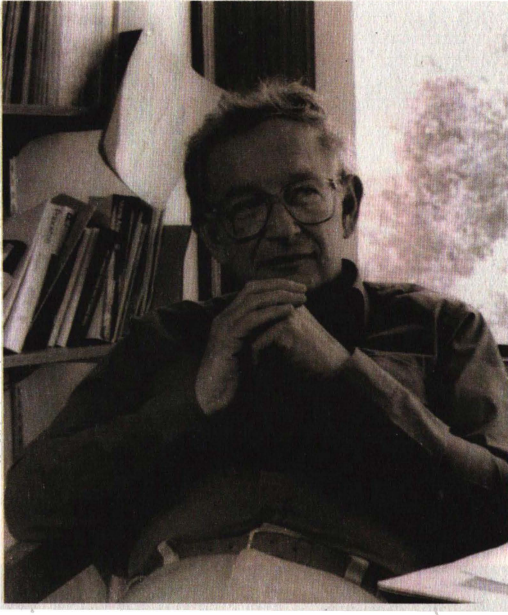
ATLAS detektörü inşa halinde. Ön ortadaki kişiye dikkat edin. Sekiz dev tüp enerjilerini ölçmek üzere muonları saptırmakta kullanılan mıknatıslardır.



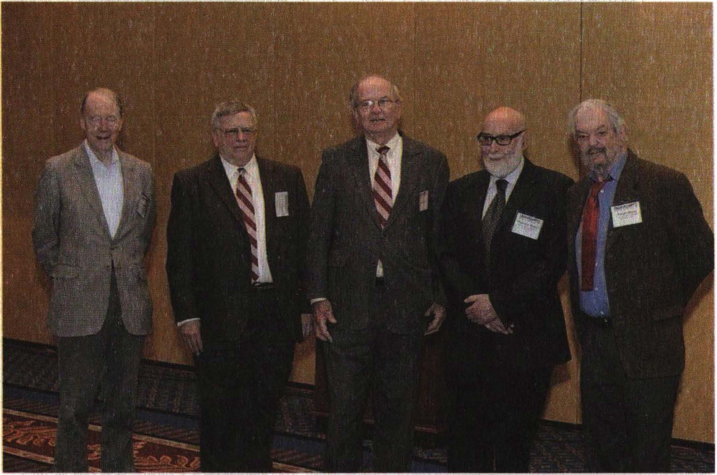
CMS detektörü inşa hainde.



Yoichiro Nambu, simetri bozulması, gluonlar ve sicim kuramının öncüsü.



Philip Anderson, yoğun madde fiziği önderi, düşünceli aksi adam.



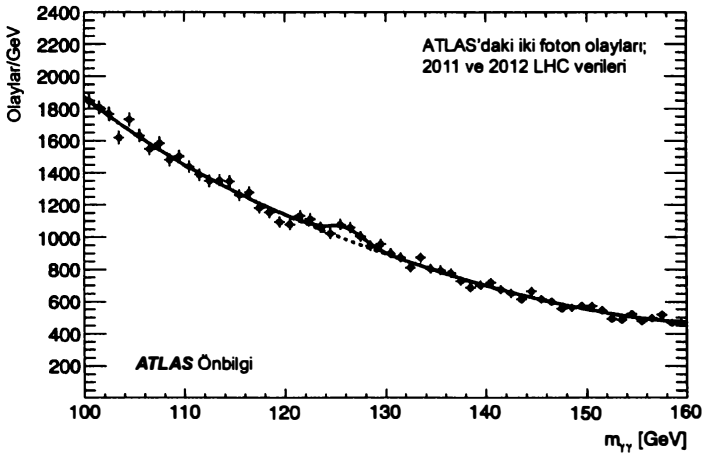
Soldan sağa: Tom Kibble, Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen, François Englert ve Robert Brout, 2010 Sakurai ödülü töreninde. Peter Higgs de ödülü paylaştı, ama orada değildi.



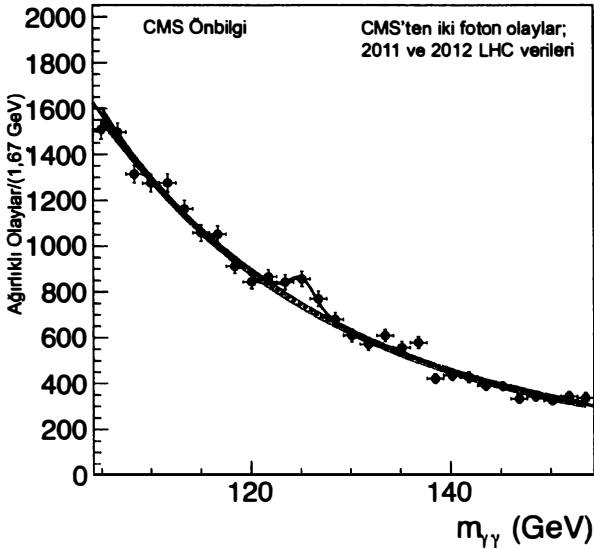
Peter Higgs, ATLAS deneyini ziyaret ediyor.



Soldan sağa: Sheldon Glashow, Abdus Salam ve Steven Weinberg, 1979 Nobel Ödöl töreninde.



LHC'de Higgs aranırken üretilen ve çözümlenen veriler. Bu eğriler iki yüksek enerjili foton üreten olayların sayısını gösterir; ATLAS ve CMS'de 2011-2012'de elde edilen verilere göre fotonların toplam enerjisi 100-160 GeV arası değişir. Kesik çizgiler Higgs bozonu olmaması durumundaki öngörüyü gösterir; kesiksiz çizgi 126,5 GeV (ATLAS) veya 125,3 GeV (CMS) kütlelerine sahip bir Higgs içerir. (Bu metin iki görselin arasında olacak)



Bilim Destekçileri

Karşımaddeyi kısırmış olmamız neden önemli?

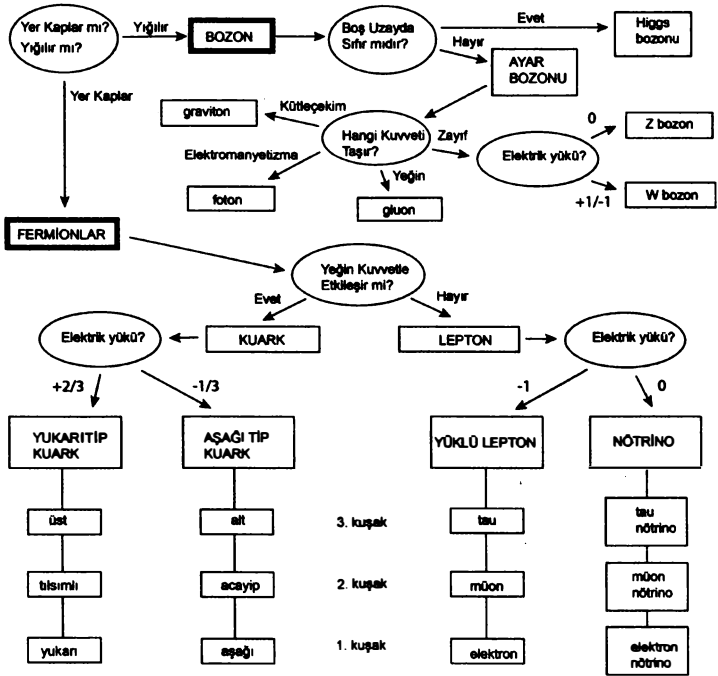
Ooo! Gelecek için, yakıt, enerji, veri aktarımı, aklınıza ne gelirse, çok faydası olacak!

Bilim İnsanları

Karşımaddeyi kısırmış olmamız neden önemli?

Çünkü çok muhteşem.

Neden bilim yapıyoruz?



Standart Modeldeki temel parçacıkları gösteren bir akış diyagramı. Bu elementlerin periyodik cetvelinin modern sürümü.

A

- A Brief History of Time 31
 açıl momentum 281, 282, 283
 ALEPH 70, 71
 ALICE 99
 alt kuarklar 105, 135, 140, 166
 Alvarez, Luis
 62, 107
 Amerikan Fizikçiler Birliği 76
 Anderson, Carl
 51, 52, 53, 55, 77, 99, 209,
 212, 213, 214, 215, 216,
 217, 218, 230, 231, 245,
 311, 322
 Aristoteles 20, 118
 aşağı kuarklar 20, 21, 37, 140,
 153, 166, 288, 293
 ATLAS 99, 100, 101, 102, 104,
 107, 108, 109, 112, 113,
 114, 159, 160, 161, 165,
 175, 178, 179, 180, 181,
 182, 188, 190, 191, 193,
 197, 198, 200, 232, 271,
 272, 276, 280, 315, 320,
 323, 324
 Avrupa Fizik Cemiyeti Ödülü 70
 ayar bozonları 149, 213, 215, 216,
 217, 223, 226, 228, 242,
 283, 286, 287, 288
 ayar değişmezliği 147
 ayar simetrisi 148, 149, 150
 Aymar, Robert
 81, 86

B

- Bardeen, John 207
 baryonlar 292
 BCS kuramı 207, 212
 Bernardi, Gregorio 231

- Berners-Lee, Tim 113, 262
 Berra, Yogi 259
 Bevatron 61, 62, 63, 66, 107
 Bhatia, Aatish
 42
 Bloembergen, Nicolaas
 77
 Boezio, Mike 196
 Bogolyubov, Nikolay
 209
 Bohr, Niels 49, 50, 53, 203, 204
 bozon alanları 149, 249
 Branagh 199
 Britton 170
 Brout 214, 215, 216, 217, 218,
 219, 220, 229, 230, 231,
 232, 322
 Büyük Elektron-Pozitron
 Çarpıştırıcısı 68
 Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 18,
 24, 78, 79, 81, 82, 258, 312
 Büyük Patlama 31, 66, 199, 237

C

- California Institute of Technology
 52, 133
 çekirdek kuvvetleri 117, 206
 CERN 13, 14, 24, 66, 67, 68, 69,
 70, 71, 73, 80, 81, 82, 83,
 84, 85, 86, 87, 89, 92, 93,
 99, 100, 111, 113, 114, 133,
 135, 156, 159, 160, 170,
 176, 178, 186, 187, 188,
 191, 192, 197, 199, 200,
 201, 228, 231, 232, 262,
 264, 271, 273, 313, 316
 çoklu evren 253, 254, 255
 Coleman, Sidney 220, 228, 268
 Cooper, Leon 207, 208, 211
 Cooper çiftleri 208, 211

higgs: evrenin sonundaki parçacık

Cosmic Variance 176, 191, 193,
194, 311

D

Demokritos 20, 266
Dirac, Paul 37, 51
Dorigo, Tommaso 193

E

Einstein, Albert 24, 29, 30, 31, 32,
42, 63, 88, 122, 123, 125,
126, 136, 137, 139, 160,
191, 193, 214, 244
elektrik yükü 57, 58, 60, 132, 150,
162, 248, 249, 298
elektromanyetik alan 42, 120,
137, 291
elektromanyetik kuvvet 50
elektrozayıf birleşme 224, 227
elektrozayıf faz geçişi 156
elektrozayıf kuram 228
Epikuros 266, 267
erken evren 237
esir 20, 136, 137
Evans, Lyn 14, 27, 80, 84, 85, 86,
87, 92, 93, 232, 264, 266,
316

F

Faraday, Michael 23, 120, 121
Fermi, Enrico
18, 26, 37, 54, 73, 130, 151,
221, 222, 241
Fermi Ulusal Hızlandırıcı Labor-
atuvarı 26, 73
Feynman, Richard 102, 162, 163,
164, 165, 182, 207, 215,
221, 228, 240, 297
Feynman diyagramları 162, 163,
297
Ford 202, 234
Forester 73
fotoelektrik etki 126, 160

fotonlar 35, 39, 42, 98, 105, 110,
125, 129, 131, 149, 162,
167, 208, 236, 241, 283,
293, 298

Franck, James 203, 204
Franklin, Benjamin 120, 259
Friedman, Jerome 72
From Eternity to Here 244, 255

G

Galileo 136, 152
gamma ışınları 241
Geer, Steve 175
Gell-Mann, Murray 57, 222
genel görelilik 1, 122
Gianotti, Fabiola 13, 14, 15, 27,
113, 160, 161, 178, 179,
191, 198, 265, 280, 311,
313, 315
gluon füzyonu 308
gluonlar 39, 42, 98, 102, 105, 128,
140, 149, 152, 162, 164,
206, 283, 293, 299, 308,
321
Goldstone, Jeff 210, 211, 212, 213,
214, 215, 216, 217, 218,
219, 220, 230, 232
görünür ışık 64
gravitonlar 38, 39, 106, 140, 149,
294, 298

H

Haber, Howard 170, 275
hadronlar 57, 98, 104, 110, 167
Hagen, Carl Richard 178, 215,
218, 219, 220, 225, 226,
229, 230, 231, 232, 322
Hahnemann, Samuel 47
Hawking, Stephen 31, 205, 244
Heisenberg, Werner 151, 278
Hellman, Hal 61
Hewett, JoAnne 311
Higgs, Peter

- 2, 12, 14, 15, 16, 19, 21, 22,
24, 25, 26, 27, 29, 30, 33,
34, 35, 36, 37, 38, 40, 41,
43, 44, 45, 58, 59, 60, 64,
65, 66, 69, 70, 71, 74, 78,
79, 82, 83, 88, 93, 96, 97,
98, 99, 100, 102, 105, 109,
117, 131, 132, 133, 134,
135, 136, 137, 138, 139,
140, 141, 142, 143, 146,
149, 152, 153, 154, 155,
156, 157, 159, 160, 161,
162, 163, 164, 165, 166,
167, 168, 169, 170, 171,
173, 174, 176, 177, 178,
179, 180, 181, 182, 183,
185, 188, 189, 190, 191,
192, 193, 194, 195, 197,
198, 199, 203, 205, 209,
210, 215, 216, 217, 218,
219, 220, 226, 227, 228,
229, 230, 231, 232, 233,
235, 236, 238, 239, 240,
241, 242, 243, 244, 245,
246, 247, 248, 249, 254,
255, 256, 260, 261, 262,
263, 264, 265, 266, 267,
269, 271, 272, 273, 274,
275, 276, 277, 278, 279,
280, 281, 283, 284, 285,
286, 287, 288, 289, 293,
294, 295, 297, 298, 299,
301, 306, 307, 308, 309,
314, 320, 322, 323, 324
- Higgs alanı 15, 43, 59, 134, 136,
137, 138, 139, 143, 146,
149, 152, 154, 155, 156,
243, 244, 246, 277, 278,
279, 281, 286, 293
- Higgs bozonları 43, 105, 137
- Higgs geçidi 239
- Higgs keşfi 256, 271
- Higgs mekanizması 159, 215,
218, 227, 229, 245
- homeopati 47
- Howard, Ron
165, 170, 199, 275
- Hulse, Russell
123
- Hunt 2, 77, 78
- I
- ICARUS 192
- İleri Araştırmalar Enstitüsü 29,
151
- Incandela, Joe 13, 14, 15, 27, 82,
178, 179, 180, 265, 274,
311, 313, 319
- ince yapı sabiti 242
- istatistiksel çözümleme 60
- J
- Jago, Crispian
47, 48
- Janot, Patrick 70
- Johnson Uzay Merkezi 75
- Jona-Lasinio, Giovanni 210, 211,
212
- K
- Kane, Gordon 170, 244, 311
- Kaplan, David 200, 201, 202, 265,
311
- kara delikler 186, 187, 188
- kara enerji 1, 21, 35, 245
- kara madde 12, 21, 27, 185, 196,
234, 237, 238, 239, 240,
241, 249, 256, 260, 280,
295, 313
- karşı-kuarklar 102, 104
- karşı-madde 26, 51, 52, 131, 195,
199
- karşı-parçacıklar 195, 298
- karşı-protonlar 63, 68
- Kendall, Henry 72

kendiliğinden simetri bozulması
210, 212, 214, 218, 219,
220, 228, 229, 230, 287
Kibble, Tom 215, 218, 219, 220,
225, 226, 227, 229, 230,
231, 232, 322
Klein, Abraham 214, 251
Kozmik Aralan Kâşifi 31
kozmolojik sabit 214, 244
Kraliyet Bilimler Akademisi 204
Krumhansl, James 77
kuantum alan kuramı 41, 128,
129, 220, 277, 297
kuantum kütleçekim 253, 255,
294
kuantum mekaniği 24, 41, 42,
102, 111, 124, 130, 219,
243, 268, 278, 281, 285
kuark/karşı 57, 102, 104, 105,
163, 167, 308
kuarklar 15, 20, 21, 37, 39, 47, 49,
59, 102, 103, 104, 105, 128,
135, 136, 140, 141, 153,
162, 163, 166, 168, 189,
236, 242, 261, 273, 281,
283, 288, 293, 299, 300
Kuramsal Fizik Enstitüsü 203
Küresel Konumlandırma Sistemi
24
kütleçekim alanı 37, 42, 69, 122,
234, 291, 294
kuvvet taşıyan parçacıklar 21,
129, 213

L

Lamb, Willis 57
Lamont, Mike 81, 311
Landau, Lev 207, 208
Laplace, Pierre-Simon 119, 122
Laue, Max von 203, 204
Lazer İnterferometre Kütleçekim
Dalga Gözlemevi 123
leptonlar 49, 55, 57, 59, 105, 242,
283, 291, 292

Leukippos 266
Lewis, Gilbert 126
LHCb 99
LHCf 99
Lucas, George 202
Lucretius 266

M

Manhattan Projesi 257
mezonlar 57, 292
Miller, David 135
Mills, Robert 150, 151, 153, 206,
211, 213, 222, 223
Minimal Süpersimetrik Standart
Model 248
M-kuramı 253
müonlar 106, 107, 109, 110, 167

N

Nambu, Yoichiro 209, 210, 211,
212, 213, 216, 217, 230,
250, 321
Nanopoulos, Dimitri 165, 170
Neveu, André 250
Newton, Isaac 31, 118, 119, 122,
124, 127, 136, 214
Nielsen, Holger 250
Nobel, Alfred 29, 33, 39, 57, 61,
68, 72, 76, 77, 82, 83, 107,
123, 126, 151, 153, 162,
164, 174, 175, 203, 204,
205, 207, 209, 212, 213,
214, 221, 226, 228, 230,
231, 232, 244, 323
Nobel Fizik Ödülü 123, 214, 226,
228, 232
nötrinolar 35, 54, 55, 56, 106,
110, 191, 246, 259, 280,
283, 288, 300
nötron bozunması 221, 228
nötronlar 20, 21, 40, 51, 54, 57,
125, 141, 235, 236, 237
nükleer füzyon 267

O

- Oliver, John 185, 186
 O'Neill, Gerard K. 67
 Oort, Jan 234
 OPERA 191, 192
 Oppenheimer, Robert 151
 Ørsted, Hans Christian 120
 Ouellette, Jennifer 1, 312
 özel görelilik 122, 126

P

- paleontoloji 95
 PAMELA 195, 196
 parçacık dedektörleri 167
 parite 273, 274
 Park, Bob 76
 partonlar 104, 128
 Pastore, John 257
 Pauli, Wolfgang 53, 54, 129, 130, 151, 206, 221
 Pauli dışlama ilkesi 129, 130
 Perlmutter, Saul 244
 Picozza, Piergiorgio 196
 Planck, Max 125, 126, 243, 249, 252, 253, 282
 Planck ölçeği 243
 Planck sabiti 282
 Polchinski, Joseph 253
 Politzer, David 39
 Polyakov, Alexander 220
 pozitronlar 105

R

- radyoaktivite 35, 130, 240
 radyo dalgaları 121, 259
 Ramond, Pierre 250
 Randall, Lisa 253
 Reagan, Ronald 74
 renormalizasyon 221
 Riess, Adam 244
 Rohlf, James 175
 Rubin, Vera 233, 234
 Rutherford, Ernest 53

S

- Sagan, Carl 267
 sağ el kuralı 284
 sakınım yasaları 132
 Salam, Abdus 156, 210, 218, 225, 226, 227, 228, 323
 sanal parçacıklar 128, 239
 Savage, Christopher 240
 Scherk, Joël 250
 Schmidt, Brian 244
 Schmitt, Michael 198
 Schwartz, Melvin 55, 72, 250
 Schwarz, John 250, 251
 Schwinger, Julian 206, 207, 213, 216, 221, 222, 223, 224
 Schwitters, Roy 76
 Scott, Ridley 81, 199
 Segrè, Emilio 61
 Shaposhnikov, Mikhail 254
 Sicim Kuramı 117, 250, 251, 252, 255
 simetri bozulması 152, 153, 206, 209, 210, 212, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 227, 228, 229, 230, 286, 287, 321
 skaler alanlar 284
 skaler bozonlar 211, 217
 Smoot, George 31
 Sovyetler Birliği 77, 220
 spin-istatistik kuramı 283
 Standart Model 18, 21, 35, 38, 61, 104, 106, 174, 180, 181, 182, 197, 235, 241, 242, 247, 248, 275, 276, 277, 289, 292, 294
 Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi 71
 Steinberger, Jack 55, 72, 82, 311
 Stewart, Jon 186
 süperiletkenlik 213
 Süperiletken Süper Çarpıştırıcı 26, 74, 83

higgs: evrenin sonundaki parçacık

Süpersicim Kuramı 250, 251
süpersimetri 12, 246, 247, 248,
249, 250, 256, 275

T

Tanrı Parçacığı 29, 30, 33, 34, 186
tau leptonlar 105
temel fermionlar 291
temel parçacıklar 19, 54, 257, 261,
293, 297
Tevatron 26, 66, 70, 73, 74, 84, 89,
91, 134, 193, 194
't Hooft, Gerard 228, 229, 230,
231

Tıkız Doğrusal Çarpıştırıcı 264
tıkızlaşma 252
Tıkız Müon Solenoidi 9

U

Ulusal Bilimler Akademisi 199
Ulusal Bilim Vakfı 202
Uluslararası Doğrusal Çarpıştırıcı
263
üst kuarklar 136, 163, 166, 189
uzaktan etki 116

V

vakum enerjisi 243, 244, 245, 253,
254

W

Watts, Gordon 12, 73, 311
WIMP'ler 237
Wolf Fizik Ödülü 231
W ve Z bozonları 39, 59, 149, 152,
156, 168, 206, 228, 238,
248, 294

Y

yeğin çekirdek kuvveti 39, 54,
129, 150
yeğin etkileşimler 98, 109, 226
yoğun madde fiziği 322
yukarı kuarklar 20, 37

Z

zaman yolculuğu 199
zayıf etkileşimler 106, 220, 221,
222, 224, 265, 269, 272
zayıf kuvvet 39, 40, 222, 269, 288,
294, 295

1962’de ortaya atılan Higgs parçacığı 50 yıl sonra 2012’de CERN’de saptanabildi. Samanlıkta iğne aramak gibi saptanması çok zor olan bu “Tanrının belası” parçacık medyada “Tanrı parçacığı” olarak lanse edildi ve büyük ilgi uyandırdı. Günümüz parçacık fiziğinin geldiği son nokta olan Standart Modelin son parçasını oluşturan bu parçacık neden bu kadar önemliydi? Higgs parçacığı bütün soruların cevabı mı? Bundan sonra ne araştırılacak? En zor konuları olağanüstü basit anlatımıyla tanınan popüler bilim yazarı ve fizikçi Sean Carroll bütün bu soruların cevabını kitapta genel okur kitlesinin anlayabileceği basitlikte anlatırken, fizik öğrencileri için de faydalı bilgiler vermekte.

“Carroll’ın öyküsü sizi Higgs bozonunun keşfinin yolculuğuna çıkartıyor.”

—Frank Wilczek, 2004 Nobel Fizik Ödülü
Varolmanın Hafifliği’nin yazarı

“Bu harika kitapta Sean Carroll gizemli Higgs parçacığının ne olduğunu anlatırken aynı zamanda nasıl saptandığını da gözler önüne sermekte. Fizikle ilgilenen herkesin okuması gereken bir kitap.”

—Leonard Mlodinow,
The Drunkard’s Walk’ın yazarı

“Yazar herkesin duyduğu ama pek azımızın anladığı Higgs bozonunu olağanüstü bir basitlikle anlatıyor. Carroll bilimin büyük sorularla uğraşması gerektiğine inanan harika bir fizikçi.”

—Morgan Freeman, *Through the Wormhole*



ISBN-978-605-69691-8-8



35t

