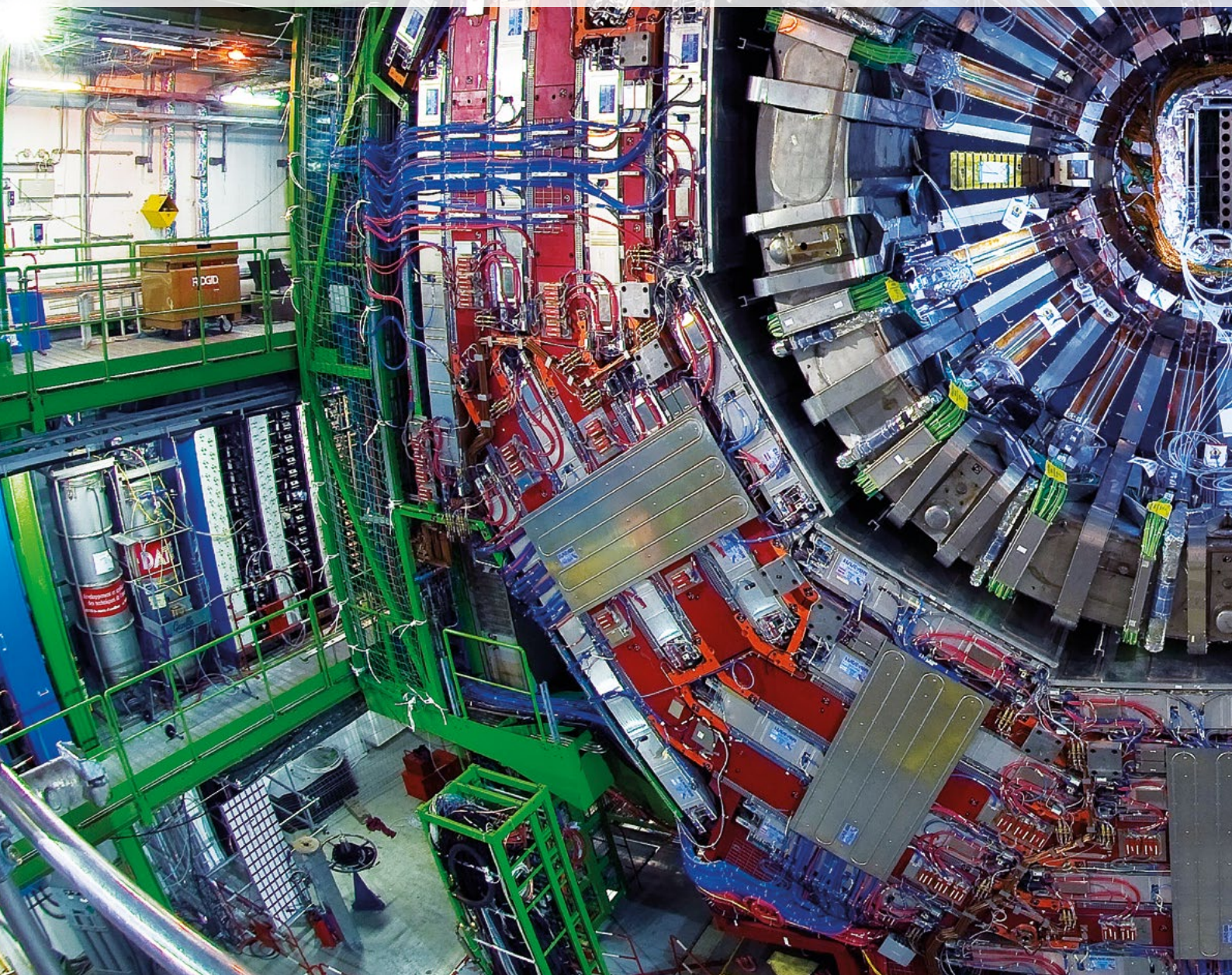


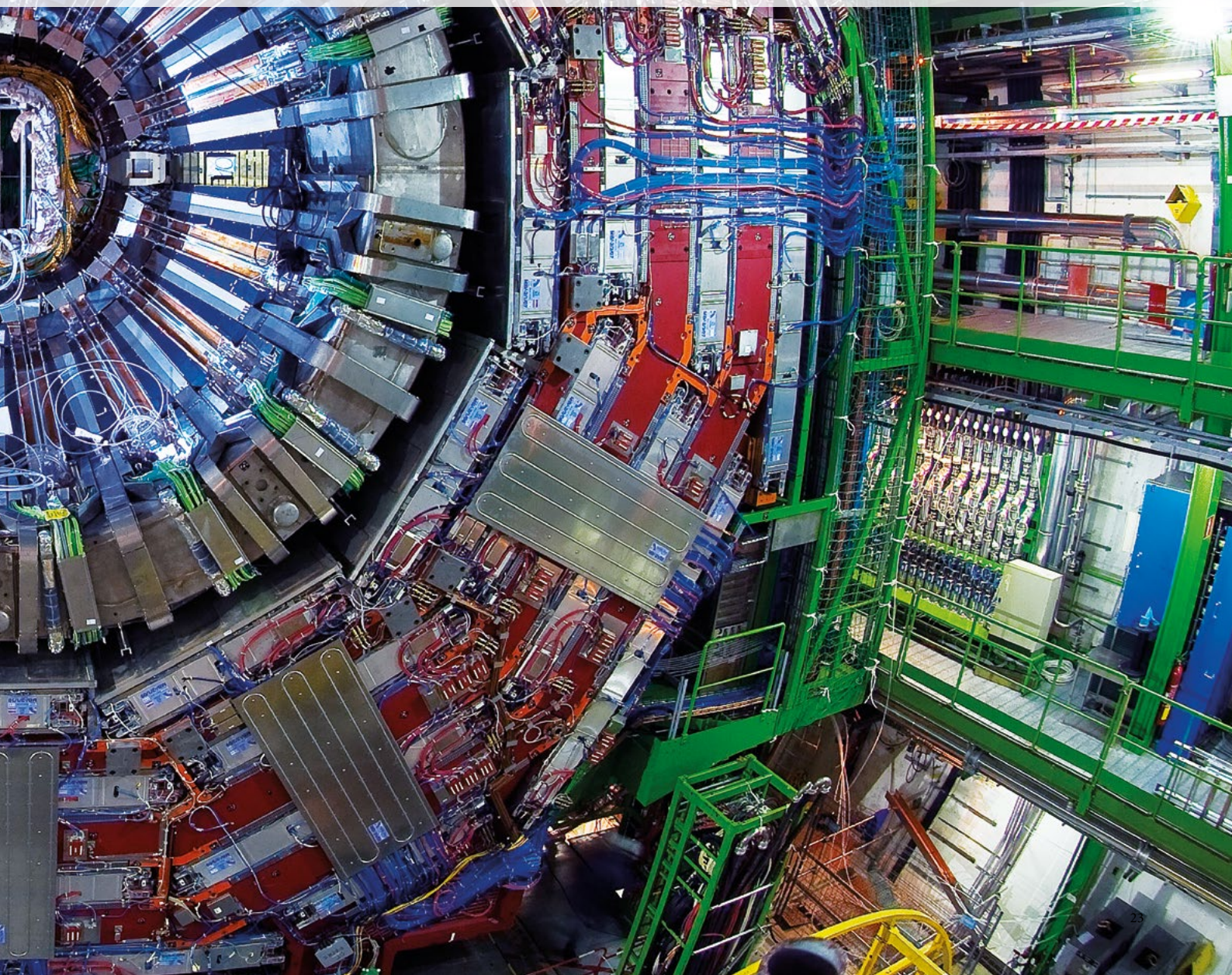
Standart Model, CERN ve Yeni Fizik

Bir taşın yere düşmesinden galaksilerin spiral şeklini almasına, görme olayından nükleer enerji üretimine, yüklerin elektronik devrelerin içindeki hareketinden Güneş'in içindeki konveksiyonel ısı iletimine evrende karşımıza çıkan tüm kimyasal, biyolojik, kütleçekimsel veya nükleer olaylar, maddeyi oluşturan temel parçacıklar ve onların birbirleriyle etkileşimini sağlayan dört temel kuvvetle gerçekleşir. Bazı parçacık fizikçilerinin yegâne amacı bu parçacıkların ve kuvvetlerin sırlarını çözmek, çünkü bunlar evrenin yapıtaşları.



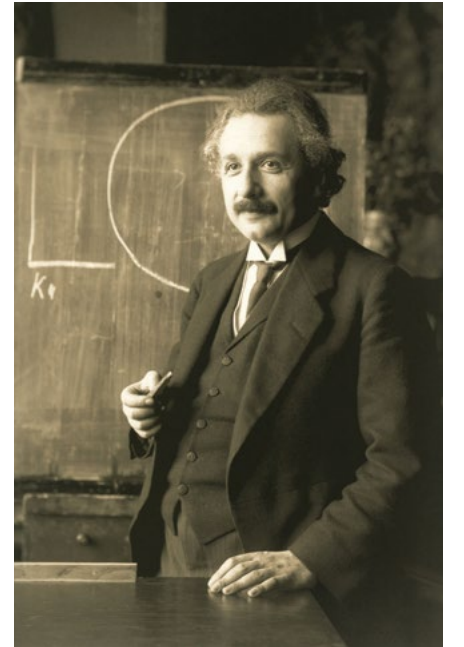
Modern bilim tarihinde yüzyıllardır maddesi oluşturulan bileşikleri anlamaya çalışıyoruz. Antoine Lavoisier'nin 1789'da 33 kimyasal element içeren listeyi yayımlamasından beri maddenin en temel yapıtaşları üzerine bitmek tükenmek bilmeyen bir arayış içindeyiz. Hava, su gibi en temel zannedilen maddelerin, elementlerden oluşan bileşikler ve karışım yapıları olduğunun anlaşılması hayli şaşırtıcı bir bilgiydi. Elementlerin, yani atomların aslında zannedildiği gibi parçalanamaz en küçük şeyler olmadığını anlamak yüz yıldan fazla sürdü. 1897'de Thomson'un elektronu, 1905'te Rutherford'un atom çekirdeğini keşfi, ardından ge-

len onlarca farklı parçacığın keşfini tetikledi. Daha yüksek enerjilerde parçacıkları çarpıştırarak daha küçük yapılar aradık durduk. Bununla birlikte atomaltı parçacıklar arasında kuvvet iletimini sağlayan daha farklı parçacıklar olduğunu gördük. Örneğin iki elektronun birbirini itmesini sağlayan şey, aralarındaki foton alışverişiydi. Bu kuvvetleri ve parçacıkları anladıkça elektronik transistörler icat ettik, gözle görülmeyen ışınları algılayan cihazlar yaptık, milimetrenin milyonda biri büyüklükte malzemeler tasarladık, milyarlarca ışık yılı uzaklıktaki karadeliğin çarpışma şiddetlerini ölçtük ve bu yolculuğun ufkunun nereye kadar uzandığını daha görmedik bile.



Bilim insanları çıktıkları bu macerada doğa yasalarında keşfettikleri matematiksel estetikten çok etkilenmişti ve işler ne kadar karmaşıklıysa her seferinde güzel bir matematiksel dille açıklama yolu buldular. Gezegenlerin kusursuz dairesel yörüngelerde yüzdükleri düşünülürken eliptik yörüngede oldukları anlaşılınca, Kepler denklemleri imdada yetişmişti. Eliptik yörüngelerdeki anomali ortaya çıkınca Einstein'ın genel göreliliği ortaya çıktı. Elektrik ve manyetizmanın karmaşık ilişkileri arasında fizikçiler boğulurken, Maxwell harika denklemlerinin ışığıyla bilimi aydınlattı. 1905'te Einstein'ın fotoelektrik olayı açıklaması, 1928'de Dirac'ın anti-maddeyi öngörmesi, yüzlerce atomaltı parçacığın gözlenmesinin ardından tam bir keşmekeşe dönen parçacık fiziğinin 1960'larda Gell-Mann'ın kuark kuramıyla tam bir dinginliğe kavuşması hep benzer hikâyelerdir.

Öykü benzer senaryoyla günümüze kadar ulaştı. Şimdilerde CERN'de bugüne dek yanına bile yaklaşılmamış ağırlıkta bir parçacığın keşfinin ayak sesleri duyuluyor. Hidrojen atomundan tam 750 kat daha ağır bu gizemli parçacık bize kim bilir ne sürprizlerle geliyor! En iyisi hikâyeye Einstein'ın hayaliyle başlayalım.





	kütle	elektrik yükü	spin
KUARKLAR	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$
	0	0	1
	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$	0	0
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$
	0	0	1
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$
	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$
	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	-1	$1/2$
$91.2 \text{ GeV}/c^2$	0	1	
LEPTONLAR	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	0	$1/2$
	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$
	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$
	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	± 1	1
AVAR BOZONLARI (KUUVET TAŞIYICI BOZONLAR)			

Standart Model

Genel görelilik kuramı ile kuantum fiziği kuramını modern fiziği şekillendiren en önemli iki aktördür. Her iki kuramın doğmasında Einstein'ın inanılmaz bir ağırlığı var. Einstein'ı rahatsız eden şey, bu iki kuramın bir çatı altında birleştirilememesi ve eksik bir şeyler olmasıydı. Ona göre, bir kavram yeterince basit bir dille anlatılamıyorsa henüz anlaşılmamış demektir. Bu yüzden tüm doğayı tek bir kuramla açıklamaya azmetmişti. Ömrünün son 30 yılını elektromanyetik kuvvet ile kütleçekim kuvvetini tek bir kuram ile açıklayacak bir yöntem arayışıyla geçirdi. Ama Einstein'ın arzusu kendi devrine göre çok erken bir girişimdi, çünkü öldüğünde doğadaki temel kuvvetler henüz tam olarak bilinmiyordu. O öldükten yıllar sonra protonları ve nötronları bir arada tutan bambaşka bir kuvvetin varlığı anlaşılmişti. Bugün doğada kütleçekimi, elektromanyetik, zayıf ve güçlü etkileşim dediğimiz kuvvetler olmak üzere dört temel kuvvet olduğunu biliyoruz. Einstein bunları birleştirmeye belki de yanlış yerden başlamıştı.

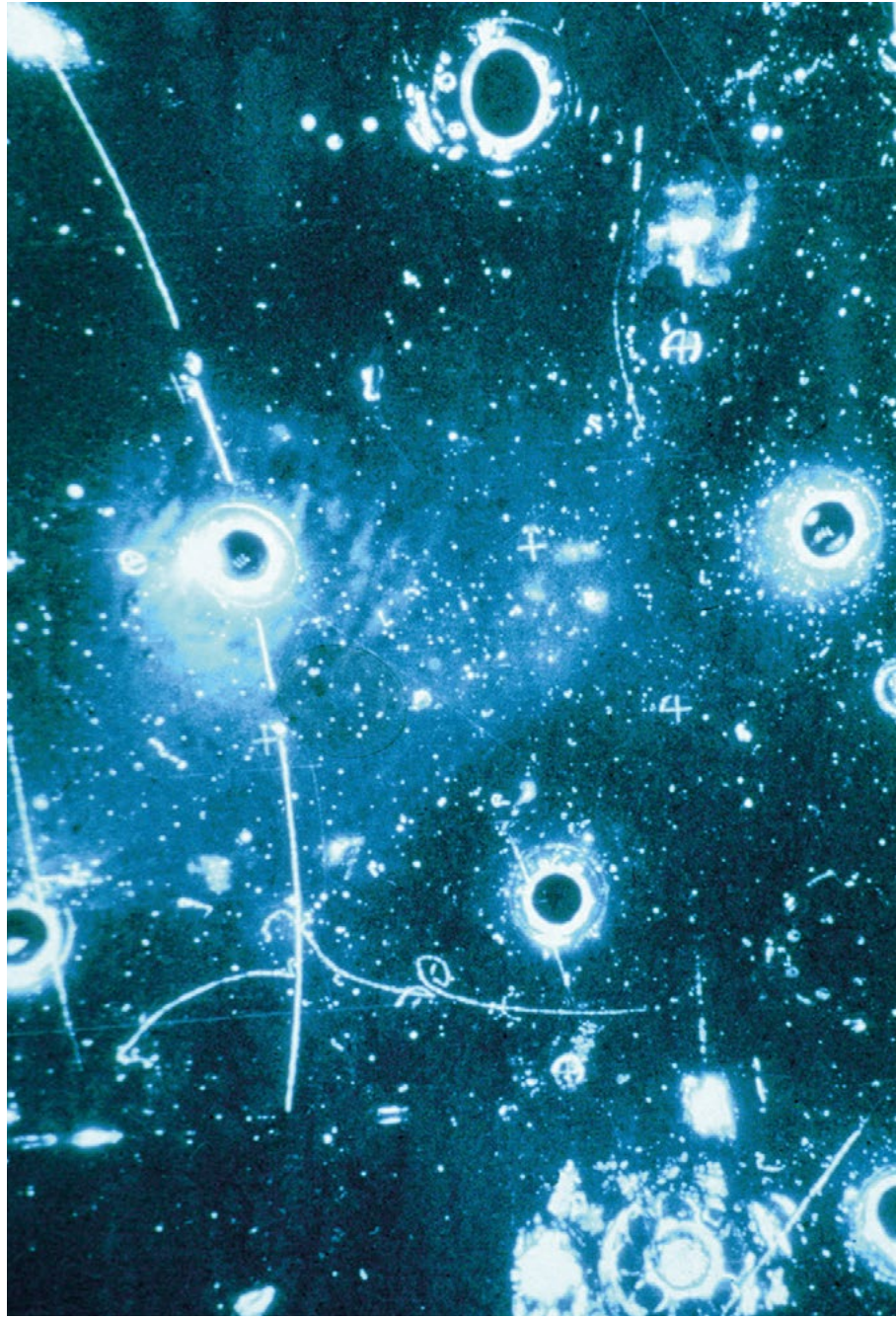
1960'larda Sheldon Glashow, Steven Weinberg ve Abdus Salam adlı üç fizikçi, Einstein'ın hayallerini süsleyen müthiş bir başarıya imza atarak bu dört kuvvetten ikisini aynı çatı altında birleştirebildi. Elektromanyetik kuvvet ile zayıf kuvvetin aslında aynı gerçeğin iki yansıması olduğunu gösterdiler. Bunu laboratuvarında değil kâğıt üzerinde, son derece zarif denklemlerle yaptılar. Elektrozayıf etkileşim dedikleri bu yeni kuramın öngördüğü yeni parçacıklar vardı ve bu parçacıkların CERN'de keşfedilmesi yıllar aldı

(W ve Z bozonları, 1983 ve Higgs bozonu, 2012). Bu yeni yöntemin açtığı yoldan giden fizikçiler, doğadaki bir diğer kuvvet olan güçlü etkileşimi de benzer bir matematiksel dille ifade etmeyi başardılar ve neredeyse tüm parçacık fiziğinin izahının yapıldığı bu denklemler silsilesine Standart Model (SM) dediler. SM kütleçekim etkileşimini açıklamak için kullanılamıyor. Fakat bunun dışında SM'in öngördüğü tüm parçacıklar, tam da öngörülen fiziksel özellikleriyle keşfedildi. En son 2012'de Higgs parçacığının keşfi SM'in efsanevi başarısı oldu ve bu senfoninin son notası tamamlanmış oldu. Tabii ki bundan sonra fizikçiler devasa hızlandırıcıların fişini çekmediler ve dünyanın en ileri teknolojilerini barındıran oyuncaklarının kapasitesini bir adım öteye taşıdılar. Çünkü doğa bizi SM'in cevaplayamadığı bir yığın soruyla baş başa bırakmıştı.

SM'in parçacık tablosunda *fermionlar* (bildiğimiz maddeyi oluşturan parçacıklar, örneğin elektron, kuark) ve *bozonlar* (elektromanyetik, zayıf ve güçlü etkileşimi ileten parçacıklar, örneğin foton ve gluon) olmak üzere iki sınıf bulunuyor. Bunlardan bazıları kütsüz, bazıları hafif, bazıları ise ağır parçacıklar. Tüm bu parçacıklara kütle kazandıran şey ise Higgs bozonu. Tıpkı elektrik alandan etkilenmeyen nötrona yüksüz dediğimiz gibi, Higgs bozonuyla etkileşime girmeyen foton ve gluon gibi parçacıklara da kütsüz diyoruz.

Temel parçacıkları ayıran en önemli özelliklerden biri spin değerleridir. Fermiyonların yarım spin, bozonların tam spin değerleri var. Spin deyince akla bir şeyin kendi etrafında dönmesi gelse de, temel parçacıklar için bu söz konusu olamaz. Sadece bir benzetme olarak spin sözcüğü, parçacıkların bir iç özelliğini tarif etmek için kullanılır. Kuvvet taşıyıcı foton, gluon ve W, Z bozonlarının spin değerleri 1; elektron, muon, kuark ve nötrinoların spin değerleri $\frac{1}{2}$ 'dir. Higgs bozonunun spin değeri ise sıfırdır. SM'e göre elektromanyetik kuvvet yüklü iki parçacığın aralarındaki foton alışverişiyle, güçlü kuvvet kuarkların (dolayısıyla proton ve nötron gibi kuarklardan oluşan parçacıkların) aralarındaki gluon alışverişiyle, zayıf kuvvet ise W ve Z bozonlarının alışverişiyle iletilir. Örneğin bir protonla elektron zayıf etkileşime girdiğinde W bozonu alışverişi yaparlar ve proton + elektron \rightarrow nötron + nötrino tepkimesi gerçekleşir. Kısaca proton ve elektron, nötrona dönüşür diyebiliriz. Dolayısıyla nükleer enerji olarak bildiğimiz şeyin kaynağı budur. Elektronla proton, foton alışverişi yaptığında ise birbirlerine çekim kuvveti uygularlar ki bu da bildiğimiz elektrostatik kuvvettir. Normalde birbirlerini itmesi gereken protonları bir arada tutan şey ise, birbirlerine çok yakınken aralarındaki gluon alışverişi ile gerçekleşen güçlü etkileşimdir.

Özetle SM harika bir resim ortaya koyar ve temel parçacıkların etkileşimlerini anlamamıza yardımcı olur. Ancak bazı noktalar hâlâ aydınlanmadı. Örneğin güçlü etkileşimin şiddeti neden elektromanyetik etkileşiminkinden daha fazla? Doğadaki onca temel parçacığın her birinin kütle değeri neden bu kadar farklı? Kütleleri dışında tüm özellikleri aynı olan parçacıkların biri (muon) mikro saniyeler içinde bozunurken, diğeri (elektron) nasıl oluyor da milyonlarca yıl değişmeden kalabiliyor? Sadece deneylerle tespit edilebilen pek çok fiziksel sabiti belirleyen mekanizma nedir? Kütleçekim kuvveti bu resimde neden kendine bir yer bulamıyor? Daha nice çetin soru fizikçileri kuramsal olarak çok farklı yerlere savurmuş durumda. Sicim kuramları, süpersimetrik kuramlar, paralel evren modelleri, kuantum kütleçekim kuramları, zar ve süpersicim kuramları... İşte tüm bu dağınıklığın bizi götüreceği biricik hedef "her şeyin kuramı" olarak idealleştirilen ve Einstein'dan günümüze uzanan bir hayal. Tüm etkileşimlere ve tüm parçacıklara bünyesinde yer verecek bu "her şeyin kuramı", fizikçilerin "kızıl elma"sıdır. İşte tam bu noktada CERN'deki yüksek enerjide parçacık çarpıştıran hızlandırıcılar devreye giriyor.



Deneysel Süreç

CERN'de ve benzeri hızlandırıcılarda neredeyse ışık hızına kadar hızlandırılan protonlar veya ağır iyonlar kafa kafaya çarpıştırılır. Her saniye milyonlarca çarpışma gerçekleşir. Aşırı hız nedeniyle her bir çarpışmada yüzlerce yeni parçacık oluşur. Çarpışan parçacıkların kinetik enerjilerinden yeni parçacıklar oluşur diyebiliriz (enerji-kütle dönüşümü). Çarpışma noktalarında konumlanan devasa algılayıcıların içine saçılan bu yüz milyonlarca parçacık arasında bizim ilgimizi çeken çok az olay vardır.

CERN'de W ve Z bozonlarının keşfine kapı açan nötr akımın ilk gözlemlendiği fotoğraf, 1973 (üstte).

İnsanı hayran bırakacak kadar muhteşem bir süreçle, algılayıcıların içindeki yazılım ve donanım sistemleri fizikçilerin ilgisini çekebilecek olayları ayıklar, her saniye binlerce çarpışma kaydedilir, her bir parçacık kütleleriyle, bıraktığı izle ve enerjisiyle etiketlenir. Tüm bu veriler dünyanın dört bir yanına dağılmış bir veri depolama ve işleme ağına gönderilir. Bundan sonra fizikçiler için çok sancılı bir süreç başlar. Her yıl depolanan milyonlarca terabaytlık bu muazzam veri madeninde fizikçiler daha önce bilmedikleri olayları görmeye çalışır, yeni bilgiler sentezler ve doğanın nasıl işlediğine yönelik yeni keşifler yapar. Tüm bunlar hem ekonomik hem de bilimsel olarak o kadar ağır bir yükü beraberinde getirir ki ancak tüm dünyadan ülkeler elini taşın altına koyduğunda başarılı olunabiliyor.

CERN’de yeni bir keşfin resmi olarak duyurulması için sonuçların çok kesin bir şekilde elde edilmesi gerekir. Deneyler esnasında o kadar çok miktarda çarpışma gerçekleşir ki, aranan bir tek olay, diğer tüm olayların arka planında kalabilir. Arka plan olayları ile aranan keşif de birbirine karıştırılabilir. Diyelim ki aynı anda yaratılan iki fotonun toplam enerjilerine bakıyorsunuz. Bu fotonlar bildiğiniz veya bilmediğiniz pek çok parçacıktan bozunmuş olabilir. Tüm çift fotonların enerjilerini bir grafiğe döktüğünüzde eğer bu fotonlardan bazıları özel bir parçacıktan bozunmuşsa, o foton çiftinin toplam enerjisi bozundukları parçacığın kütlesine eşittir. Eğer o parçacıktan çok sayıda üretmeyi başarmışsanız, grafikte tam da o parçacığın kütlesine eş değerde bir pik görürsünüz.

Ancak o görmek istediğiniz pik, arka plandaki olayların içinde kaybolabilir. Ya da arka plan olayları size istatistiksel bir oyun oynar ve minicik bir pik görerek normalde olmayan bir şeyi keşettiğinizi sanırsınız. Bunun için bilimsel kesinliğin bir sınırı belirlenmiştir. 5 sigma kesinliği olarak bildiğimiz bu sınır, gördüğümüz pikin arka plandan kaynaklanma olasılığının 3,5 milyonda bir olmasıdır. Bu hemen hemen imkânsız bir durum. Daha basit bir ifadeyle, zarı sekiz kez üst üste attığınızda her seferinde 6 gelmesi gibi bir durum. Böyle bir durumla karşılaşınca zarın hileli olduğuna emin oluruz. Ya da 22 kez yazı tura attığımızda her seferinde yazı gelme olasılığını düşünün.

CERN’de ise bu durum şuna karşılık geliyor: Deneyi 3,5 milyon yıl tekrarlasanız, biri hariç her seferinde o piki görerseniz, pikin bir parçacığa işaret ettiğinden şüphe duyar mısınız?

Şimdilerde CERN’deki ATLAS ve CMS algılayıcılarında 750 GeV kütleli yepyeni bir parçacığın varlığını gösteren bulgular var. Henüz 5 sigma kesinliğinde olmasa bile, ilerleyen günlerde bu keşif resmiyet kazanacak gibi. Çünkü şimdiye kadar foton çiftlerinin

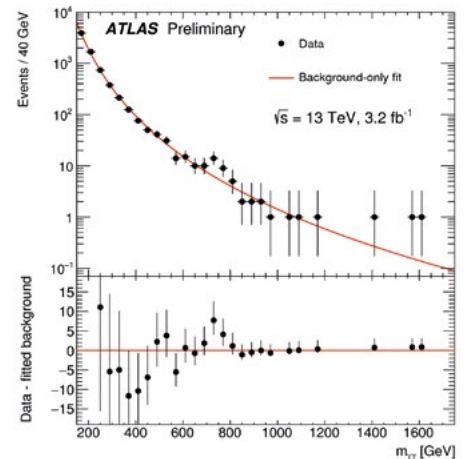
den elde edilen veriler hep temiz ve güvenilir sonuçlara götürdü. Yazının kaleme alındığı gün ATLAS’in verisi 3,6 sigma, CMS’in verisi 2,6 sigma kesinlikteydi. Her ikisini göz önünde bulundurunca 4 sigma kesinliğe ulaşıyoruz ki bu epey heyecan verici bir kesinlik. Daha şimdiden kuramsal fizikçiler arşivleri bu parçacıkla ilgili makalelerle doldurdu bile. Kimine göre ise bu yeni keşif temel bir parçacık olmayabilir. Belki de egzotik bir kompozit parçacık keşfediliyordur ki bu sık karşılaştığımız bir durum.

Yeni Fizik

Peki bu parçacığın keşfi neden önemli? Hızlandırıcılarda yapılan son keşif 2012’de Higgs bozonu olmuştu ve bu parçacığın varlığından fizikçiler o kadar emindi ki, tam 40 yıl bunun peşinden koştular. Üstelik SM gibi çok sağlam bir kuramın öngörüsüydü. Ancak artık SM’in sınırına geldik. Öngörülen pek çok parçacık var ama hiçbiri SM’in kesinliği ile değil hep şüphyle dolu kuramsal parçacıklar. Gravitonlar, süpersimetrik parçacıklar, ağır Higgs bozonları ve kim bilir belki de hiç bilinmeyen yepyeni bir fiziğe ait, belki de beşinci bir temel kuvvete ait yeni parçacıklar. 750 GeV o kadar büyük bir değer ki, keşfedilen en ağır parçacık olan t kuarkının 4 katı, Higgs’in ise 6 katı. İlk tahminlere göre spin değeri de 2, yani kütleçekim etkisini taşıdığı düşünülen kuramsal parçacık gravitonun spiniyle aynı. Öyle görünüyor ki CERN kapasitesini artırdıkça ve incelenen veri miktarı arttıkça daha başka süper ağır parçacıklarla karşılaşacağız. Bu müstakbel parçacıkların spin, kütle,

bozunum süresi gibi fiziksel özellikleri ölçüldükçe çığır fizik kuramlarının hangisinin veya hangilerinin doğru yolda olduğu açığa çıkacak. Böylece “her şeyin kuramına” daha da yaklaşacağız. Şimdilerde pek çok kuramsal çalışma olsa bile hangisinin doğru yolda olduğuna işaret edecek deneysel bulgular da olmalı. Eğer yeni bulgular tüm kuramların dışındaysa, yepyeni bir kurama ihtiyaç var demektir.

ATLAS deneyinde duyurulan sonuç: Kırmızı çizgi arka plan olaylarını temsil ediyor. 750 GeV enerjide görülebilen pik, yeni bir parçacığa işaret ediyor. Bu veriler, protonlar 13 TeV enerjide çarpıştırıldığında, eşzamanlı ortaya çıkan çift fotonların izlenmesiyle elde edildi.



Kaynaklar

- Buckley, M., The Search for New Physics at CERN, <http://bostonreview.net/books-ideas/matthew-buckley-search-new-physics-cern>
- Franceschini, R., Giudice F., "What is the Gamma-Gamma resonance at 750 GeV?"; arXiv:1512.04933v3
- Castelvecchi, D., "LHC Sees Hint of Boson Heavier than Higgs"; *Nature News*, <http://www.nature.com/news/lhc-sees-hint-of-boson-heavier-than-higgs-1.19036>
- Di Chiara, S., Marzola, L., Raidal, M., "First interpretation of the 750 GeV di-photon resonance at the LHC"; arXiv:1512.04939v2
- ATLAS collaboration, Search for resonances decaying to photon pairs in 3.2 fb of pp collisions at 13TeV with ATLAS detector, ATLAS-CONF-2015-081, <http://cds.cern.ch/record/2114853>