

PARÇACIK FİZİĞİNDE BEKLENEN DEVRİMLER

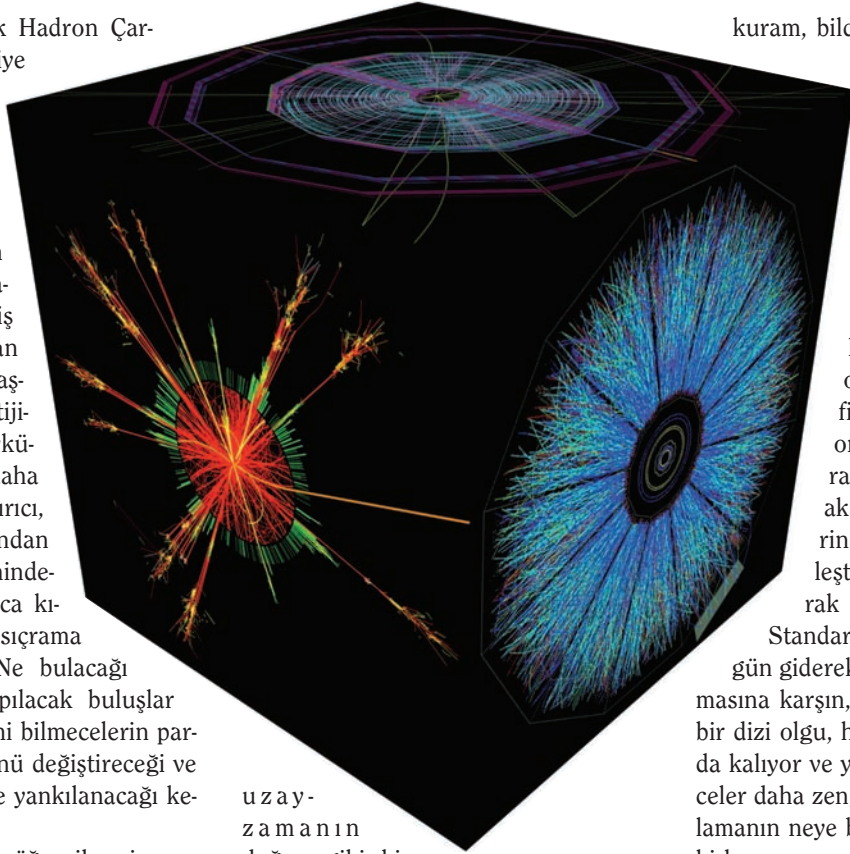
Günümüzün parçacık fiziğinin Standart Modeli, günümüz parçacık hızlandırıcılarının eriminin çok ötesinde araştırıldığında çözülmeye başlıyor. O halde LHC ne bulursa bulsun, fiziği yeni bir alana taşıyacak.

Fizikçiler Büyük Hadron Çarpıştırıcısını (LHC) niye inşa ettiklerini tek sözcükle yanıtlamaya zorlandıklarında, yanıt genellikle “Higgs” oluyor. Günümüzün geçerli madde kuramının keşfedilmemiş tek parçası olan Higgs parçacığı, başrolde olmanın prestijini yaşıyor. Ancak öykünün tamamı çok daha ilginç. Yeni çarpıştırıcı, yetenekleri bakımından parçacık fiziği tarihinde herhangi bir araca kıyasla çok büyük bir sıçrama anlamına geliyor. Ne bulacağı bilinmiyor; ama yapılacak buluşlar ve karşılaşılabilecek yeni bilimcelerin parçacık fiziğinin yüzünü değiştireceği ve komşu bilimlerde de yankılanacağı kesin.

Bu yeni dünyada öğrenilmesi umulan, doğa kuvvetlerinden ikisini, elektromanyetizma ile zayıf etkileşimleri neyin farklı kıldığı. Bu bilginin günlük dünyamız için büyük sonuçları olacak.

Basit ve temel sorular hakkında yeni bir anlayış kazanacağız: Niye atomlar var? Kimyanın gereği ne? Kararlı yapıları mümkün kılan ne?

Higgs Parçacığı için yürütülen araştırma, çok önemli bir adım; ama daha yalnızca ilk adım. Onun arkasında kütleçekiminin öteki doğa kuvvetlerinden neden çok daha zayıf olduğunu ve evreni dolduran karanlık maddenin ne olduğunu ortaya koyacak olgular var. Daha da derindeyse maddenin farklı biçimleri, farklı görünen parçacık kategorileri arasındaki birlik ve



uzay-zamanın doğası gibi bilinmeyenleri açacak anahtarları elde etme olasılığı yatıyor. Sözkonusu soruların hepsi birbiriyle ve ta en başta Higgs parçacığının öngörülmesini tetikleyen sorunlar yumağıyla ilişkili.

LHC, bu soruların daha da inceltmesinde ve onlara cevap bulmak için çıktıkları yolda fizikçilere yardımcı olacak.

Elimizin Altındaki Madde

Fizikçilerin, hâlâ üzerinde çalışıldığını vurgulamak için parçacık fiziğinin Standart Modeli diye adlandırdıkları

kuram, bildiğimiz dünyanın büyük bölümünü açıklayabiliyor. Standart Model'in ana parçaları, büyük deneysel bulguların, ortaya çıkmaya başlayan kuramsal fikirlerle üretken bir diyalog içinde olduğu 1970 ve 80'lerin hareketli yıllarında yerlerine oturdu. Birçok parçacık fizikçisi, fiziğin önceki on yıllara damgasını vuran için için kaynayışının aksine son 15 yıla, bilgilerin sağlamaştırılıp bütünlendirildiği bir dönem olarak bakıyorlar. Gelgelelim, Standart Model'in her geçen gün giderek deneysel destek kazanmasına karşın, listesi giderek kabaran bir dizi olgu, hâlâ modelin erimi dışında kalıyor ve yepyeni kuramsal düşünceler daha zengin ve kapsamlı bir açıklamanın neye benzeyeceği konusundaki kavrayışımızı genişletiyor.

Birlikte alındıklarında deney ve kuramda süregelen gelişmeler, önümüzde çok hareketli bir onyıla işaret ediyor. O zaman belki de geriye dönüp baktığımızda devrimin adım adım ilerlemiş olduğunu göreceğiz.

Günümüzde madde konusundaki kavrayışımız iki ana parçacık kategorisi, kuark ve leptonlarla birlikte bilinen dört temel doğa kuvvetinden üçünü; elektromanyetizma ile, şiddetli ve zayıf etkileşimleri kapsıyor. Kütleçekimini şimdilik bir yana bırakıyoruz.

Proton ve nötronları oluşturan kuarklar bu üç kuvveti de hem ortaya çıkarıyorlar hem de bunların etkilerini duyuyorlar. İçlerinde en bilineni elektron olan leptonlarsa, şiddetli çekirdek

kuvvetinden etkilenmiyorlar. Bu iki kategoriye farklı kılan, elektrik yüküne benzer bir özellik olan renk. (Aslında bu ad tümüyle bir benzetim, bildiğimiz renklerle hiçbir ilgisi yok). Nasıl ki bir küre hangi açıdan bakarsanız bakın aynı görünürse, tanımlandıkları perspektifi değiştirdeniz bile denklemler aynı kalırlar. Dahası, perspektif uzay zamanda farklı yerlerde farklı ölçülerde değişse de aynı kalırlar.

Geometrik bir cisim için simetri, onun biçimine kesin sınırlar koyar. Üzerinde bir şiş olan küre, artık her yönden aynı görünmez. Aynı şekilde denklemlerin simetrisi de onlara çok kesin sınırlar getirir.

Bu simetriten bozon denen özel parçacıklarca taşınan kuvvetleri yaratıyor.

Bu yolla Standart Model, Louis Williams'ın ünlü vecizesini tersine çeviriyor: "Biçim, işlevi izler" yerine işlev biçimi izliyor. Yani kendisini tanımlayan denklemlerin simetresiyle ortaya konan kuramın biçimi, kuramın betimlediği işlevi (parçacıklar arasındaki ilişkileri) tayin eder. Örneğin, şiddetli çekirdek kuvveti, kuarkları betimleyen denklemlerin, kuark renklerini nasıl tanımlarsak tanımlayalım, aynı olması zorunluluğundan kaynaklanıyor. Şiddetli çekirdek kuvveti, gluon diye bilinen sekiz parçacık tarafından taşını-

yor. Öteki iki temel doğa kuvveti, elektromanyetizma ve zayıf çekirdek kuvveti, "elektrozayıf" kuvvetler olarak özdeşleştirilmiş bulunuyor ve farklı bir simetri üzerine oturuyor. Elektrozayıf kuvvetler dört parçacık tarafından taşınıyorlar: foton, Z bozonu, W+ bozonu ve W- bozonu.

Aynayı Kırmak

Elektrozayıf kuvvetlerin kuramı, Sheldon Glashow, Steven Weinberg ve Abdus Salam tarafından formüle edildi ve bu üçlü, başarılarından ötürü 1979 Nobel Ödülü'ne layık görüldü. Radyoaktif beta bozunmasında rol oynayan zayıf kuvvet, tüm kuark ve leptonlar üzerinde etkimez. Bu parçacıkların her birinin, solak ve sağlak olarak tanımlanan, birbirinin ayna görünümü eşleri vardır ve beta bozunması kuvveti yalnızca solak parçacıklar üzerinde etkindir. Bu olgunun nedeniyse, keşfinden 50 yıl sonra bile hâlâ açıklanamamış değildi.

İnşasının ilk aşamalarında kuramın iki temel zaafı vardı. Birincisi, ayar bozonları diye adlandırılan uzun erimli dört parçacık öngörülmüştü ki, doğa da bu öngörüye uyan yalnızca bir tane bulunuyor: foton. Öteki üçüysen son derece kısa erimlere sahip: 10^{17} metreden, ya da protonun yarıçapının %1'in-

den daha kısa. Heisenberg'in belirsizlik ilkesi uyarınca bu sınırlı erim, kuvvet taşıyan parçacıklar için 100 milyar elektronvolta yaklaşan bir kütleyle gerektiriyor. Kuramın ikinci zaafıysa, aile simetrisinin kuark ve lepton kütlelerine izin vermemesine karşılık, bu parçacıkların kütleyle sahip olmaları.

Bu hoşnutsuz durumdan çıkmanın yolu, doğa yasalarının simetrisinin, ille de bu yasaların sonuçlarıncaya yansıtılması gerektirmediğini kabullenmek. Fizikçiler de sözkonusu simetrisinin "kırıldığını" söylüyorlar. Bunun için gerekli kuramsal araç, 1960'lı yılların ortalarında Peter Higgs, Robert Brout, François Englert ve başka bazı fizikçilerce geliştirildi. Esin, ilgisiz görünen bir olgudan, bazı maddelerin düşük sıcaklıklarda elektrik akımını sıfır dirençle taşımaya anlamına gelen süperiletkenlikten gelmişti. Elektromanyetizma yasalarının da simetrik olmasına karşın, elektromanyetizmanın süperiletken malzeme içindeki davranışı simetrik değil. Bir foton, süperiletken malzeme içinde kütle kazanır ve böylece manyetik alanların malzeme içine girmesini sınırlar.

Bakıldığında, bu olgu, elektrozayıf kuram için mükemmel bir prototip olarak görünüyor. Eğer uzay, elektromanyetizma yerine zayıf etkileşime etki yapan bir tür süperiletken ile doluyorsa, W

Dünyamızı Biçimlendiren Gizli Simetri

Higgs mekanizması olmasaydı ne kadar farklı bir dünyamız olurdu! Elektron ve kuarklar gibi maddenin temel parçacıklarının kütleleri olmazdı. Ama bu, evrende kütle bulunmazdı anlamına da gelmiyor. Maddenin yapısıyla ilgili olarak Standart Model'den edindiğimiz ama hakkını yeterince veremediğimiz bir bilgi, proton ve nötron gibi parçacıkların yeni bir tür maddeyi temsil ettikleri. Büyük ölçekli (makroskopik) maddenin tersine protonun kütleleri, kendisini oluşturan parçaların kütlelerinin yalnızca yüzde birkaçı. (Aslında kuarklar protonun kütlelerinin %2'sinden fazlasını oluşturmuyorlar). Kütlelerin en büyük bölümü, Albert Einstein'ın (kütle-enerji eşlenikliğini ifade eden) formülünün orijinal biçimi olan $m = E/c^2$ uyarınca, kuarkları çok küçük bir hacimde tutarken depolanan enerjiden kaynaklanıyor. Proton ve nötron kütlelerinin kaynağı olarak kuarkları hapseden enerjisini tanımlamakla, aslında evrendeki görünen maddenin neredeyse tümünü açıklamış oluyoruz. Çünkü ışı-

dayan maddenin çok büyük bir kısmı yıldızların içindeki proton ve nötronlardan yapıldır.

Kuark kütleleri, gerçek dünyanın önemli bir ayrıntısını da açıklıyor: nötron kütlelerinin, protonunkinden çok az daha ağır olmasını. Aslında taşıdığı elektrik yükü içsel enerjisine katkı yaptığı için, nötronda böyle bir ek kaynak olmadığı için protonun kütlelerinin daha yüksek olması beklenir. Ancak, kuark kütleleri dengeli nötron lehine çeviriyor. Higgs'in olmadığı bir dünyadaysa protonun kütleleri, nötronunkinden fazla olurdu. Radyoaktif beta bozunumu da tersine dönerdi. Gerçek dünyada bir atom çekirdeğinden dışarıya fırlayan bir nötron, ortalama yaklaşık 15 dakika içinde bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya bozunur. Kuark kütleleri ortadan kalkacak olsa serbest bir proton, bir nötrona, bir pozitrona ve bir de nötrinoya bozunurdu. Dolayısıyla hidrojen atomları oluşmazdı. En hafif "çekirdek" de, proton yerine bir nötron olurdu.

Standart Model'de Higgs mekanizması, elektromanyetizmayı zayıf kuvvetten farklı kıyor. Higgs'in yokluğu durumundaysa bu farklılığı kuark ve gluonlar arasındaki şiddetli çe-

kirdek kuvveti üstlenecekti. Şiddetli etkileşim (renk yükü taşıdıkları için) "renkli" kuarkları proton gibi renksiz cisimler içine hapseden, o da elektromanyetik ve zayıf etkileşimleri farklı kılacak, W ve Z bozonlarına küçük kütleler verirken fotonu kütleli bırakacaktı. Şiddetli kuvvetin öne çıkması, elektron ya da kuarklara kayda değer bir kütle sağlamaz. Eğer Higgs yerine gerçekten de şiddetli çekirdek kuvveti işleri yürütüyor olsaydı, beta bozunumu milyonlarca kat daha hızlı çalışırdı.

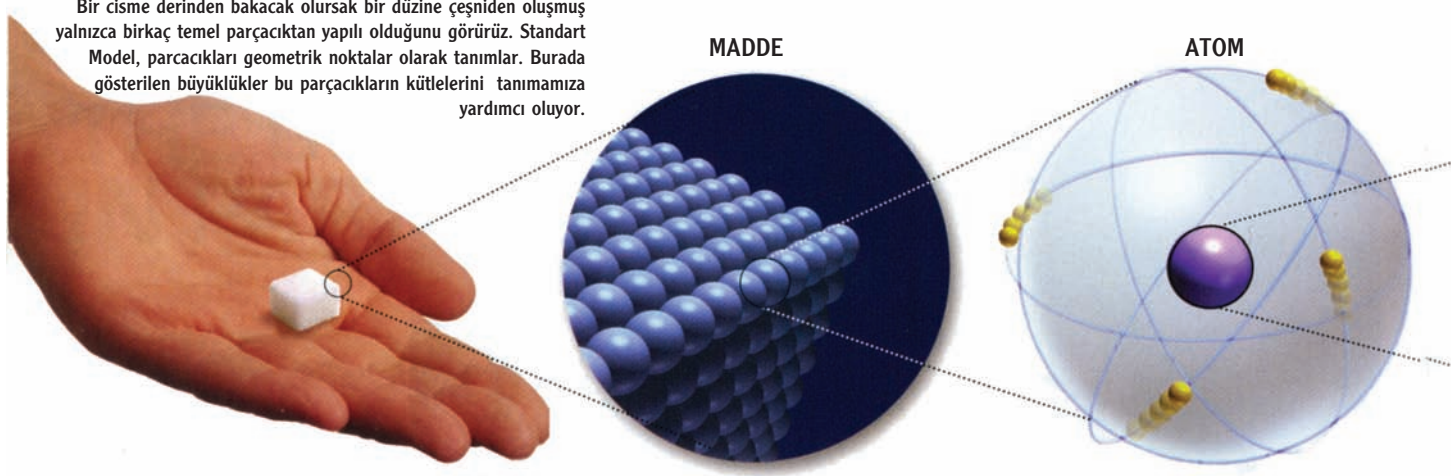
Higgs'in olmadığı evrenin ilk evrelerinde de bazı hafif çekirdekler ortaya çıkıp varlıklarını sürdürebilirlerdi; ama bizim tanıyabileceğimiz türden atomlar üretmezlerdi. Bir atomun kütleleri, elektronun kütlelerine ters orantılıdır. Dolayısıyla elektronun kütlelerinin sıfır olması durumunda, tanıdığımız dünyada çapları bir nanometreden (metrenin milyarda biri) daha küçük olan atomların çapı sonsuz olurdu. Başka etkiler elektronlara küçük bir kütle sağlasa bile atomlar makroskopik (büyük boyutlu) olurdu. Ve de atomları küçük kütleli olmayan bir dünyada ne kimya, ne de katılarımız ve sıvılarımız gibi kararlı bileşik yapılar oluşmazdı.

ve Z bozonlarına kütle verir ve zayıf etkileşimlerin erimini sınırlar. Bu süperiletken, Higgs bozonları denen parçacıklardan oluşur. Kuarklar ve leptonlar da kütlelerini Higgs bozonuyla etkileşimlerinden alırlar. Kütleyle kendiliklerinden sahip olmayıp bu yolla ka-

zanmakla bu parçacıklar, zayıf kuvvetin simetri gereksinmeleriyle tutarlılıklarını koruyabiliyorlar.

Modern elektrozayıf kuramın öngörülere, (Higgs sayesinde) geniş bir dizi deneysel sonuçla tam olarak örtüşüyor. Gerçekten de, maddenin kuark

ve lepton yapıtaşlarının ayar bozonları aracılığıyla etkileştikleri yolundaki paradigma, madde kavramımızı tümüyle değiştirmiş ve parçacıklara çok yüksek enerjiler verildiğinde şiddetli, zayıf ve elektromanyetik etkileşimlerin tek bir kuvvet halinde birleşmeleri



KUARKLAR (Madde Parçacıkları)

Bu parçacıklar protonları, nötronları ve bir "hayvanat bahçesi" çeşitliliğinde daha az tanınan parçacıkları oluştururlar. Kuarklar yalıtılmış halde görülemez.

<p>Yukarı (Up)</p>  <p>u</p> <p>Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 2 MeV (milyon elektronvolt) Sıradan maddenin yapı taşlarından; iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark protonu oluşturur.</p>	<p>Tılsım (Charm)</p>  <p>c</p> <p>Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 1,25 GeV (milyar elektronvolt) Yukarı kuarkın daha ağır ve kararsız kuzeni. Fizikçilerin Standart Model'i oluşturmalarını sağlayan J/Ψ parçacığının yapı taşı</p>	<p>Üst (Top)</p>  <p>t</p> <p>Elektrik yükü: +2/3 Kütle: 171 GeV (milyar elektronvolt) Bilinen en ağır parça; bir osmiyum atomunun kütlelerine yakın. Çok kısa ömürlü.</p>
<p>Aşağı (Down)</p>  <p>d</p> <p>Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 5 MeV (milyon elektronvolt) Sıradan maddenin yapı taşlarından; iki aşağı kuark ve bir yukarı kuark nötronu oluşturur.</p>	<p>Garip (Strange)</p>  <p>s</p> <p>Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 95 MeV (milyon elektronvolt) Aşağı kuarkın daha ağır ve kararsız kuzeni. Üzerinde yoğun araştırmalar yapılan kaon adlı parçacığın yapı taşlarından.</p>	<p>Alt (Bottom)</p>  <p>b</p> <p>Elektrik yükü: -1/3 Kütle: 4,2 GeV (milyar elektronvolt) Aşağı kuarkın kararsız ve daha da ağır kuzeni. Üzerinde yoğun araştırmalar yapılan B-mezon parçacığının yapı taşı.</p>

LEPTONLAR

Bu parçacıklar şiddetli çekirdek kuvvetinden etkilenmiyor ve yalıtılmış bireyler olarak gözlemleniyor. Burada gösterilen her nötrino aslında hepsi de ancak birkaç elektronvolt kütlede olan nötrino türlerinin bir karması.

<p>Elektron Nötrinosu</p>  <p>ν_e</p> <p>Elektrik yükü: 0 Elektromanyetizma ve şiddetli çekirdek kuvvetinden etkilenmiyor. Maddeyle çok ender etkileşmesine karşın radyoaktivite için gerekli.</p>	<p>Müon Nötrinosu</p>  <p>ν_μ</p> <p>Elektrik yükü: 0 Müonun karıştığı zayıf çekirdek kuvveti tepkimelerinde görülür.</p>	<p>Tau Nötrinosu</p>  <p>ν_τ</p> <p>Elektrik yükü: 0 Tau leptonunu içeren zayıf çekirdek kuvveti tepkimelerinde görülür.</p>
<p>Elektron</p>  <p>e</p> <p>Elektrik yükü: -1 Kütle: 0,511 MeV En hafif yüklü parçacık. Elektrik akımlarının taşıyıcısı ve atom çekirdeğinin çevresinde dolanan parçacık olarak tanınır.</p>	<p>Müon</p>  <p>μ</p> <p>Elektrik yükü: -1 Kütle: 106 MeV Elektronun daha ağır bir türü. Ancak, ömrü 2,2 mikrosaniye. Kozmik ışın sağanaklarının bir bileşeni olarak keşfedildi.</p>	<p>Tau</p>  <p>τ</p> <p>Elektrik yükü: -1 Kütle: 1,78 GeV Elektronun kararsız ve daha da ağır bir başka türü. Ömrü daha da kısa: 0,3 pikosaniye (saniyenin trilyonda biri).</p>

BOZONLAR (Kuvvet Parçacıkları)

Kuantum düzeyde her temel doğa kuvveti kendine özgü bir parçacık ya da parçacık dizisi tarafından iletilir.

<p>FOTON</p>  <p>γ</p> <p>Elektrik yükü: 0 Kütle: 0 Elektromanyetizmanın taşıyıcısı, ışığın kuantumu. Elektrik yüklü parçacıklar üzerinde etkir. Erimi sınırsızdır.</p>
<p>Z BOZONU</p>  <p>Z</p> <p>Elektrik yükü: 0 Kütle: 91 GeV Parçacıkların kimliğini değiştirmeyen zayıf tepkimelerin aracısı. Erimi yalnızca 10⁻¹⁸ metre (metrenin milyarda birinin milyarda biri).</p>
<p>W⁺/W⁻ BOZONLARI</p>  <p>W</p> <p>Elektrik yükü: +1 ya da -1 Kütle: 80,4 GeV Parçacıkların çeşni ve elektrik yüklerini değiştiren zayıf tepkimelerin araçları. Erimleri 10⁻¹⁸ metre (metrenin milyarda birinin milyarda biri).</p>
<p>GLUONLAR</p>  <p>g</p> <p>Elektrik yükü: 0 Kütle: 0 Gluonların 8 türü şiddetli çekirdek etkileşimlerini taşıyor ve kuarklarla öteki gluonlar üzerinde etkir. Elektromanyetik ve zayıf etkileşimlere duyarlıdır.</p>
<p>HİGGS (Henüz gözlenmedi)</p>  <p>H</p> <p>Elektrik yükü: 0 Kütle: 1 TeV'in (trilyon elektronvolt) altında, büyük olasılıkla 114 ve 192 GeV aralığında olduğu tahmin ediliyor. W ve Z bozonlarıyla kuark ve leptonlara kütle kazandırdığı düşünülüyor.</p>

olasılığına işaret ediyordu. Elektrozayıf kuram büyük bir kavramsal başarı olmasına karşın hâlâ kazanabileceklerini açıktamamlanmış değil. Kuark ve leptonların nasıl kütle kazanabileceklerini gösteriyor; ama bu kütlelerin ne olması gerektiği konusunda öngö-

rüde bulunmuyor. Elektrozayıf kuram, Higgs bozonunun kütlesi konusunda da aynı belirsizlik içinde: Parçacığın varlığı gerekli olduğunu, ama kütlelerinin ne olması gerektiğini söylemiyor. Parçacık fiziği ile kozmolojinin önemli sorunlarından birçoğu, elek-

trozayıf simetrisinin nasıl kırıldığı konusuyla doğrudan ilgili.

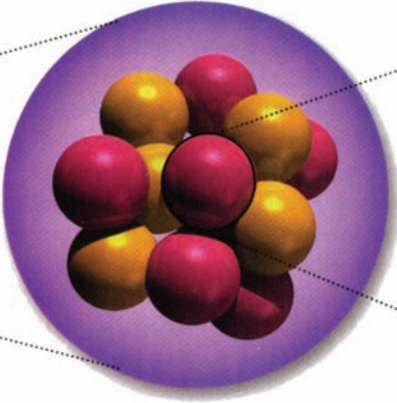
Standart Modelin Öyküsünü Anlattığı Yer

1970'li yıllarda umut verici bir dizi gözlemden cesaret alan kuramcılar Standart Modeli artık yeterince ciddiye alarak sınırlarını araştırmaya başladılar. 1976 yılının sonlarına doğru Fermilab'den Benjamin W. Lee, şimdi Virginia Üniversitesi'nde olan Harry B. Thacker ve Chris Quigg (Fermilab), elektrozayıf kuvvetlerin çok yüksek enerjilerde nasıl davranacaklarını araştırmak için bir düşünce deneyi tasarladılar. Senaryo W, Z ve Higgs bozon çiftleri arasında çarpışmaları öngörüyordu. Çalışma biraz 'uçuk' sayılırdı; çünkü o tarihte sözkonusu bozonlardan hiçbiri deneysel olarak gözlenememişti. Ama fizikçilerin bir görevi de, tüm unsurları sanki gerçekleşmiş gibi, öngördükleri sonuçları irdeleyerek bir kuramın geçerliliğini sınamak.

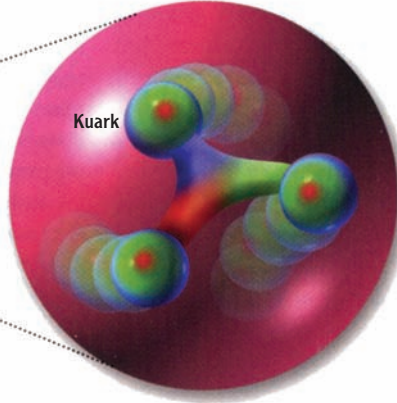
Üç fizikçi, düşünce deneyi sonunda sözkonusu parçacıkların yarattığı kuvvetler arasında ince bir ilişkinin varlığını belirledi. Çok yüksek enerjilere uygulandığında, yapılan hesaplar, ancak Higgs bozonunun kütlelerinin çok büyük olmaması (1 trilyonvolt ya da kısaca 1 TeV'den daha düşük olması) durumunda bir anlam ifade ediyordu. Higgs'in 1 TeV'den daha ağır olması durumundaysa zayıf etkileşimler bu enerji düzeyi yakınlarında güçleniyor ve ortaya aklınıza geldik gelmedik her türlü ekzotik parçacık süreci çıkıyor. Böyle bir koşulun belirlenmesi oldukça ilginç; çünkü elektrozayıf kuram, Higgs kütleleri için doğrudan bir öngörüde bulunmuyor. Akla getirdiği öteki şeylerin yanında, bu kütle eşiği, LHC'nin düşünce deneyini gerçeğe dönüştürmesiyle birlikte yeni bir şey (ya Higgs bozonu ya da yepyeni olgular) bulunacağını da gösteriyor.

Bu arada şimdiye kadar yapılan deneylerde, Higgs'in perde gerisindeki etkileri gözlenmiş olabilir. Bu etki de, Higgs gibisinden parçacıkların doğrudan gözlenemeyecek kadar kısa sürede, parçacık süreçleri üzerinde küçük bir etki yapmak içinse yeterli sürede var olabileceklerini öngören belirsizlik ilke-

ÇEKİRDEK



PROTON

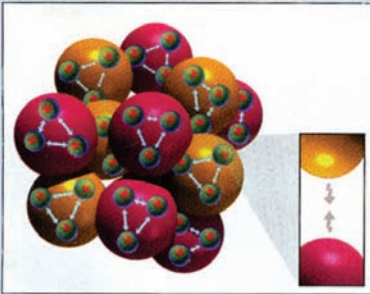


KUVVETLER NASIL DAVRANIYOR?

Çarpışan birçok parçacık arasındaki etkileşim, bunların enerjilerini, momentumlarını ya da türlerini değiştirebilir. Bir etkileşim yalıtılmış tek bir parçacığın kendiliğinden bozunmasına yol açabilir.

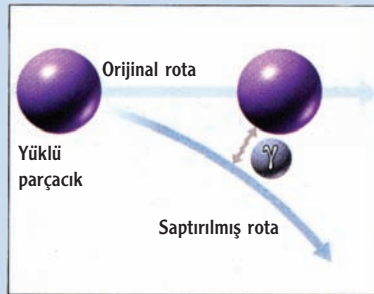
GÜÇLÜ ETKİLEŞİM

Şiddetli (güçlü) çekirdek kuvveti kuark ve gluonlar üzerinde etkir; onları birbirine bağlayarak proton, nötron ve başka parçacıklar oluşturur. Ayrıca proton ve nötronları atom çekirdekleri içinde bağlar.



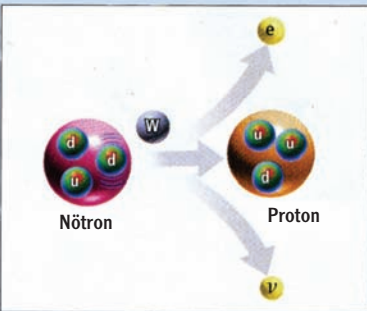
ELEKTROMANYETİK ETKİLEŞİM

Yüklü parçacıklar üzerinde etkir; bunların özelliklerini değiştirmez. Aynı yükü taşıyan parçacıkların birbirini itmesine yol açar.



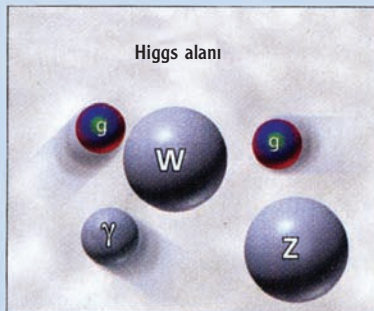
ZAYIF ETKİLEŞİM

Kuarklar ve leptonlar üzerinde etkir. En bilinen etkisi bir aşağı kuarkı yukarı kuarka çevirmesidir ki, bu olay da bir nötronu bir protona dönüştürüp fazladan bir elektron ve bir nötrino çıkmasına yol açar.



HİGGS ETKİLEŞİMİ

Higgs alanının (gri zemin) uzayı bir sıvı gibi doldurup W ve Z bozonlarının hareketini yavaşlatarak zayıf etkileşimlerin erimini sınırladığı düşünülüyor. Higgs bozonu ayrıca kuark ve leptonlarla da etkileşip onlara kütle kazandırır.



KIRILAN SİMETRİ

Standart Model'in temel bir sorunu, elektrozayıf kuvvetlerin neden asimmetrik oldukları: elektromanyetizma uzun erimli, zayıf çekirdek kuvvetiyse kısa erimli. Fizikçiler, aslında bu kuvvetlerin simetrik olduğunu; ancak simetrisinin gizlenmiş ya da "kırılmış" olduğunu düşünüyorlar.

MANYETİK UZAYSAL SİMETRİ

Basit bir benzetme olarak herbirinin üzerinde manyetik bir demir toz zerreciği bulunan sınırsız sayıda kare düşünülebilir. Bu durumda simetri, uzaydaki her yönün eşitliği.

Yüksek sıcaklıklarda simetrisinin varlığı belirgin: Isı, demir tozlarını her yöne saçar.



Simetri

Sıcaklık düştüğünde zerrecikler birbirlerini belli bir yöne kilitliyorlar. Her ne kadar dizilişleri daha düzenli görünse de, bu durum daha az simetrik; çünkü rastgele seçilmiş bir yön, tüm öteki yönlere tercih ediliyor.



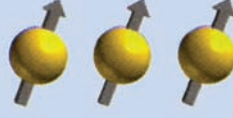
Kırılan Simetri

ELEKTROZAYIF SİMETRİ

Bu, daha soyut bir simetri. Anlamı, leptonlardan hangilerinin elektron, hangilerinin nötrino olduğuna ya da "yukarı" ve "aşağı" etiketlerinin kuarklardan hangisine yapııştırılacağına karar vermenin serbest olması.



Simetrik durumda lepton adlandırma tercihi (okla temsil ediliyor) bağımsız olarak uzaydaki her noktaya bakabilir. Bir kişinin elektron diye adlandırdığı bir parçacığa bir başkası elektron ve nötrinonun bir karışımı diyebilir ve bu tercihin, öngörülerinde bir etkisi olmaz.



Kırılmış simetride tercih her yerde sabittir. Bir kimsenin elektron diye adlandırdığı parçacığı herkes böyle tanıır. Bu simetri kırılmasına Higgs alanı yol açar.



Elektrozayıf simetri tüm elektrozayıf kuvvet parçacıklarını kütesiz yapar.



Kırılmış simetri, W ve Z bozonlarına kütle kazandırır ve böylece erimlerini sınırlar.

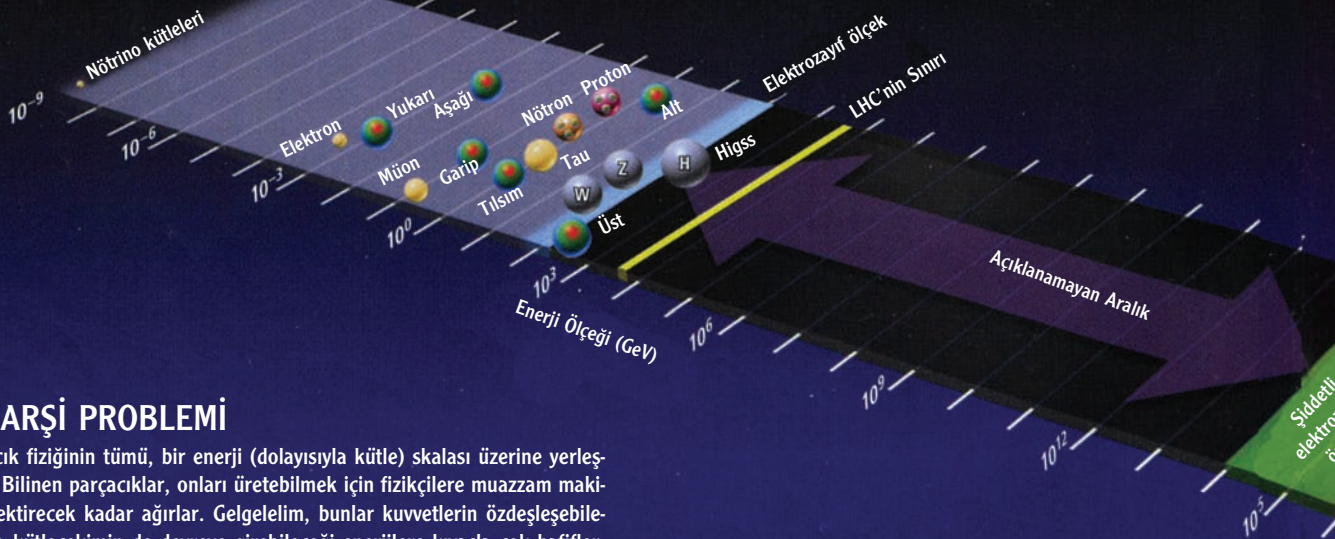
sinin bir başka sonucu. CERN'de şimdi LHC'nin el koymuş olduğu tünelin eski kiracısı olan Büyük Elektron Pozitron çarpıştırıcısı (LEP) deneyinde böyle görülmez bir elin etkisi saptanmıştı. Du-

yarlı ölçümlerin kuramla karşılaştırılması, Higgs bozonunun var olduğunu ve 125 GeV'den (milyar elektronvolt) daha küçük bir kütleyle sahip olduğuna kuvvetle hissettiriyor.

Higgs'in olması gerektiği gibi 1 TeV'den daha küçük kütleli çıkması, ortaya ilginç bir sorun çıkartıyor. Kuantum kuramında kütle gibi büyüklükler sabit bir değer taşımaz; kuantum etkilerce değiştirilir. Higgs nasıl öteki parçalar üzerinde perde gerisinden bir etki yapıyorsa, öteki parçacıklar da aynı şeyi Higgs'e yaparlar. Bu parçacıklar çeşitli enerji düzeylerine sahiptirler ve net etkileri, Standart Model'in nerede bayrağı daha derin bir kurama devredeceğine bağlıdır. Model, elektrozayıf kuvvetle şiddetli çekirdek kuvvetinin eşitlenir görüldüğü 10^{15} GeV'e kadar ayakta kalabilirse, muazzam enerjilere sahip parçacıklar Higgs üzerinde etki yaparak onun da benzer yükseklikte bir kütle almasına yol açarlar. O halde Higgs neden 1 TeV'den daha yüksek olmayan bir kütleyle sahipmiş gibi görünüyor?

Bu sorun, "hiyerarşi sorunu" olarak biliniyor. Sorunun çözüm yollarından biri, farklı parçacıkların katkılarını temsil eden büyük rakamların eklenmesi ve çıkarılması arasında son derece hassas bir denge. Ama fizikçiler, daha derin bir ilke tarafından zorunlu kılınmadıkça rakamların böylesine topeyken biçimde birbirlerini götürmesine kuşkuyla bakmayı öğrendiler. Dolayısıyla birçok fizikçi hem Higgs bozonunun, hem de bilinmeyen birçok yeni olgunun LHC'de ortaya çıkacağına inanıyor.

Higgs bozonunun ortaya çıkardığı bir bilmece



HIYERARŞİ PROBLEMİ

Parçacık fiziğinin tümü, bir enerji (dolayısıyla kütle) skalası üzerine yerleştirilebilir. Bilinen parçacıklar, onları üretebilmek için fizikçilere muazzam makineler gerektirecek kadar ağırlar. Gelgelelim, bunlar kuvvetlerin özdeşleşebileceği ya da kütleçekimin de devreye girebileceği enerjilere kıyasla çok hafifler. Bu ayrımı zorlayan ne? Şimdilik kimse bilmiyor. Bu bilmece özellikle Higgs için sorun yaratıyor. Son derece yüksek enerji süreçlerinin Higgs'in kütlelerini 1TeV düzeyinin çok üzerine çekmesi gerekiyor. O halde bu kütleli sınırlı tutan ne?

Süperteknikekboyut

Kuramcılar, yeni olguların hiyerarşi problemini çözebileceği birçok yolu araştırmış bulunuyorlar. Bunlar arasında başa güreşenlerden süpersimetri, her parçacığın henüz gözlenmemiş, farklı spin (dönme) özelliği taşıyan bir süper (ağır) partneri ya da eşi olduğu varsayımı üzerine kurulu. Eğer doğa tam olarak süpersimetrik olsaydı, parçacıklarının ve süper eşlerinin kütlelerinin aynı olması, ve bunların Higgs üzerindeki etkilerinin birbirlerini tam olarak götürmesi gerekirdi. Böyle olunca da süper eşleri şimdiye kadar gözleyebilmiş olmamız gerekirdi. Göremediğimize göre de, eğer süpersimetri gerçekten varsa, bu kırılmış bir simetri olmalı. Süper eşlerin kütleleri yaklaşık 1 TeV'den küçük olursa, bunların Higgs üzerindeki etkileri kabul edilebilecek kadar küçük olabilir ve bu kütleler bu eşleri LHC'nin erimi içine sokabilir.

Technicolor diye adlandırılan bir başka seçenek, Higgs bozonunun gerçek bir temel parçacık olmayıp, henüz gözlenmemiş alt parçacıklardan yapıldığını öngörüyor. (Technicolor terimi, şiddetli çekirdek kuvvetini tanımlayan renk yükünün genelleştirildiği anlamında kullanılıyor). Eğer bu model geçerliyse, Higgs bozonu da temel bir parçacık değil. 1 TeV civarındaki enerjilerde (Higgs'i bir arada tu-

tan kuvvetle koştur enerji) gerçekleştirilen çarpışmaların, bize bu parçacığın içine bakabilme ve böylece bileşik yapısını ortaya çıkarma olanağı sağlaması gerekir. Süpersimetri gibi technicolor da, LHC'nin birçok egzotik parçacığı ortaya döküleceği öngörüsünde bulunuyor.

Üçüncü ve hayli tahrik edici bir düşünce de, hiyerarşi sorununun biraz daha yakından bakılınca kendiliğinden ortadan kalkacağı; çünkü uzayın, içinde dolaştığımız üç boyutun ötesinde ek boyutlara sahip olduğunu söylüyor. Bu ek boyutlar, kuvvetlerin enerji düzeyine bağlı olarak değişebilen ve sonunda tek bir kuvvet halinde özdeşleşmelerini sağlayan güçlerinde değişiklik yapabilir. O zaman da bu birleşme (ve yeni bir fiziğin devreye girmesi) 10^{12} TeV yerine, ek boyutların büyüklüklerine karşılık gelen çok daha düşük, belki de yalnızca birkaç TeV düzeyinde gerçekleşebilir. Eğer durum gerçekten de böyleyse, o zaman LHC bu ek boyutların içine bir göz atmamızı sağlayabilir.

Bu arada TeV ölçeğinde yepyeni olgular olacağına işaret eden bir kanıt daha var. Evrenin madde içeriğinin çok büyük bölümünü meydana getiren karanlık maddenin, yeni (gözlenmemiş) bir parçacıktan oluştuğu düşünülüyor. Eğer bu parçacık zayıf çekirdek kuvvetinin şiddetiyle etkime yapıyorsa, o zaman Büyük Patlama, ancak kütlesi yaklaşık 100 GeV (milyar elektronvolt) ile 1 TeV (trilyon elektronvolt) arasındaysa, bu parçacığı hesaplanan miktarlarda yaratmış olabilir. Sonuçta, hiyerarşi problemini çözebilen her neyse, büyük olasılıkla karanlık madde parçacığı için de bir aday ortaya koyacak.

Ufuktaki Devrimler

TeV ölçeğini keşiflere açmak, yepyeni bir deneysel fizik dünyasına girmek anlamına geliyor. Elektrozayıf simetri kırılması, hiyerarşi problemi ve karanlık maddeyle bir biçimde uzlaşmaya varacağımız bu dünyayı en ücra köşelerine kadar keşfetmek, hızlandırıcı deneylerinin öncelik sıralamasında en başta geliyor. Hedefler iyi güdülenmiş bir fizikçiler ordusunca araştırılıyor. LHC'nin de günümüzün ağır hizmet aracı rolünü sürdüren Fermilab'deki Tevatron'un yerini almasıyla yeterli deneysel donanı-



(Higgs Bilmecesini Çözmek) YENİ FİZİK ARANIYOR

Higgs kütlelerini 1 TeV yakınlarında tutan her neyse, Standart Model'in ötesinden geliyor olması lazım. Kuramcılar bu konuda birçok olası çözüm önermiş bulunuyorlar. Hangisinin doğru olduğuna Büyük Hadron Çarpıştırıcısı karar verecek. İşte umut vaadeden üç öneri:

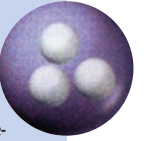
SÜPERSİMETRİ

Higgs'in kütlelerini yukarı çeken, bu parçacığın sanal parçacık denen ve Higgs parçacığının çevresinde geçici olarak ortaya çıkan kuark, lepton ve öteki parçacıkların kopyaları ile girdiği etkileşim. Ancak, her parçacık türü bir süperpartner ile eşleşmişse, bunlar birbirinin etkisini yok eder ve Higgs kütlelerini aşağı düzeyde tutar.



TECHNICOLOR

Belki de Higgs gerçekten bir temel parçacık olmayıp, tıpkı protonun kuark ve gluonlardan oluşan bir mini galaksi olduğu gibi, daha temel parçacıkların meydana getirdiği bir yumak. Bu durumda Higgs, kütlelerinin büyük kısmını kendisini oluşturan yapıtaşlarının enerjisinden alıyor ve kütlelerini yükselten yüksek enerji süreçlerinden fazla etkilenmiyor olacak.



YENİ BOYUTLAR

Eğer uzayın bizim bildiğimiz üçünün ötesinde boyutları varsa, parçacıklar yüksek enerji düzeylerinde farklı biçimde davranıyor olabilirler ve varsayılan özdeşleştirme enerjisi düzeyi de fizikçilerin düşünmekte oldukları kadar yüksek olmayabilir. Bu da hiyerarşi probleminin topyekun değişmesi ya da tümüyle giderilmesi demek.



ma da kavuşulmuş olacak. Elde edilecek yanıtlarsa yalnızca parçacık fiziğini tatmin etmekle kalmayacak, günlük dünyamız hakkındaki kayıplarımızı da derinleştirecek.

Ama tüm bu beklentiler, ne kadar yüksek olurlarsa olsunlar, yine de hikayenin sonu anlamına gelmiyor. LHC, temel doğa kuvvetlerinin tam olarak özdeşleştirilmesi için ipuçları ya da parçacık kütlelerinin mantıksal bir örüntü sergilediklerini gösteren işaretler bulabilir. Yeni parçacıklar için önerilebilecek her yorum, bildiğimiz parçacıkların bazı ender bozunumları için de sonuç taşıyabilir. Elektrozayıf etkileşimi örten perdenin kaldırılması, bu sorunları daha net görmemizi sağlayabilir, bunlar hakkındaki düşüncelerimizi değiştirebilir ve deneysel fizik alanında yeni atılımlara esin verebilir.

Quigg, C., "The Coming Revolutions in Particle Physics", Scientific American, şubat 2008

Çeviri: Raşit Gürdilek

