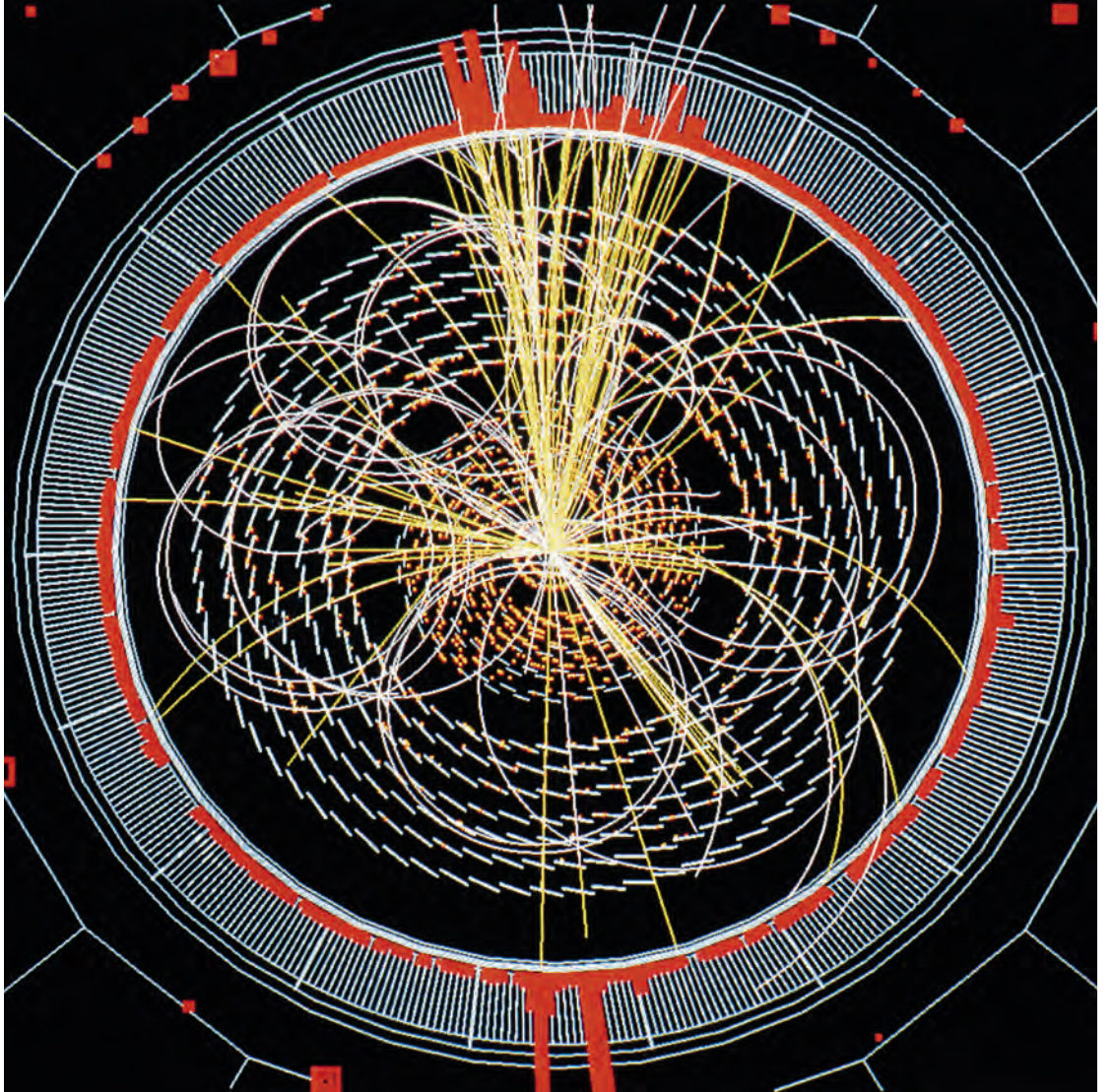


Fizik Nobel Higgs Parçacığının Kuramsal Olarak Keşfine Verildi



Higgs parçacığının bozunumunu gösteren grafik model





François Englert (üstte), Peter W. Higgs ile beraber (altta).

Keşfi ödüllendirilen mekanizma, evrenin nasıl meydana geldiğini açıklayan parçacık fiziği kuramı Standart Model'in merkezinde yer alıyor. Standart Model'e göre çiçeklerden ya da insanlardan yıldızlara kadar her şey sadece birkaç yapıtaşından oluşuyor: *Madde parçacıkları*. Bu parçacıklar, her şeyin olması gerektiği gibi işlemlerini temin eden *kuvvet parçacıkları* aracılığıyla etki eden kuvvetler ile etkileşiyor.

Standart Model'in tamamı ayrıca özel bir parçacık çeşidinin varlığına dayanıyor: Higgs parçacığı. Bu parçacık tüm uzayı dolduran görünmez bir alanla bağlantılı. Evrenimiz boş görüldüğünde bile bu alan oradadır. Eğer orada olmasaydı, elekt-

ronlar ve kuarklar, tıpkı ışık parçacıkları olan fotonlar gibi kütsüz olurdu ve tam da Einstein'ın kuramının öngördüğü üzere fotonlar gibi uzayda, atom çekirdekleri tarafından yakalanma ihtimali olmaksızın ışık hızında ilerlerdi. Bildiğimiz hiçbir şey var olmazdı, tabii biz de.

1964'te kuramlarını ortaya koyduklarında genç birer bilim insanı olan Englert ve Higgs yaklaşık 50 yıl sonra, 4 Temmuz 2012'de CERN araştırma merkezinde kuramlarının sonunda doğrulanmasını sağlayan keşfin sonuçları açıklanırken de davetliler arasındaydı. Englert'in çalışma arkadaşı Robert Brout'sa 2011 yılında vefat ettiği ve Nobel ödülü hayatta olmayan kişilere verilmediği için, bu ödülü alamadı.

Bilim dünyasının merakla beklediği 2013 Nobel Bilim Ödülleri geçtiğimiz ayın başında açıklandı.

Yine üç ayrı bilimsel alandan araştırmacılar, hem insanlık için uygulamaya dönük faydalar sağlayan hem de alanlarındaki temel bilimsel çalışmaların önünü açan araştırmalarından dolayı ödüllendirildi.

Bu yılki Nobel Fizik Ödülü parçacıkların nasıl kütle edindiğini açıklayan kuramlarından dolayı François Englert ve Peter W. Higgs'e verildi. Englert (çalışma arkadaşı müteveffa Robert Brout ile birlikte) ve Higgs, kuramı 1964 yılında birbirlerinden bağımsız olarak açıklamıştı. 2012'de İsviçre'nin Cenevre kenti yakınlarındaki CERN laboratuvarında Higgs parçacığının keşfiyle bu kuramları 48 yıl sonra doğrulanmış oldu.



Peter W. Higgs



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın birleştirilmiş bir görüntüsü

Düzeni Yaratan Model

Dünya'nın sadece birkaç çeşit yapıtısından oluştuğu fikri eskilere dayanıyor. Daha MÖ 400'de Democritus her şeyin atomlardan (Yunanca *atomos* yani bölünemez anlamında) oluştuğunu öne sürmüştü. Bugün atomların bölünemez olmadığını biliyoruz. Nötronlar ve protonlar ile bunlardan oluşan bir çekirdek çevresinde dönen elektronlardan oluşuyorlar. Nötronlar ve protonlara kuark denen daha küçük parçacıklardan oluşuyor. Aslında Standart Model'e göre sadece elektronlar ve kuarklar bölünemez nitelikte.

Atom çekirdeği yukarı kuarklar ve aşağı kuarklar olmak üzere iki çeşit kuarktan oluşuyor. Dolayısıyla aslında tüm maddelerin var olması için üç temel parçacık gerekli: Elektronlar, yukarı kuarklar ve aşağı kuarklar. Ancak 1950'li ve 1960'lı yıllarda,

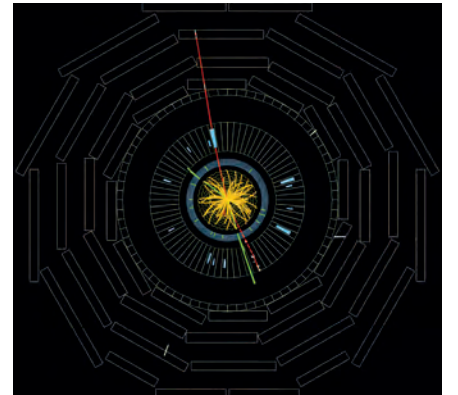
hem kozmik ışınlarda hem de yeni kurulan hızlandırıcılarda beklenmedik biçimde yeni parçacıklar gözlemlendi. Dolayısıyla Standart Model'in, elektronların ve kuarkların bu yeni "yavrularını" da içermesi gerekti.

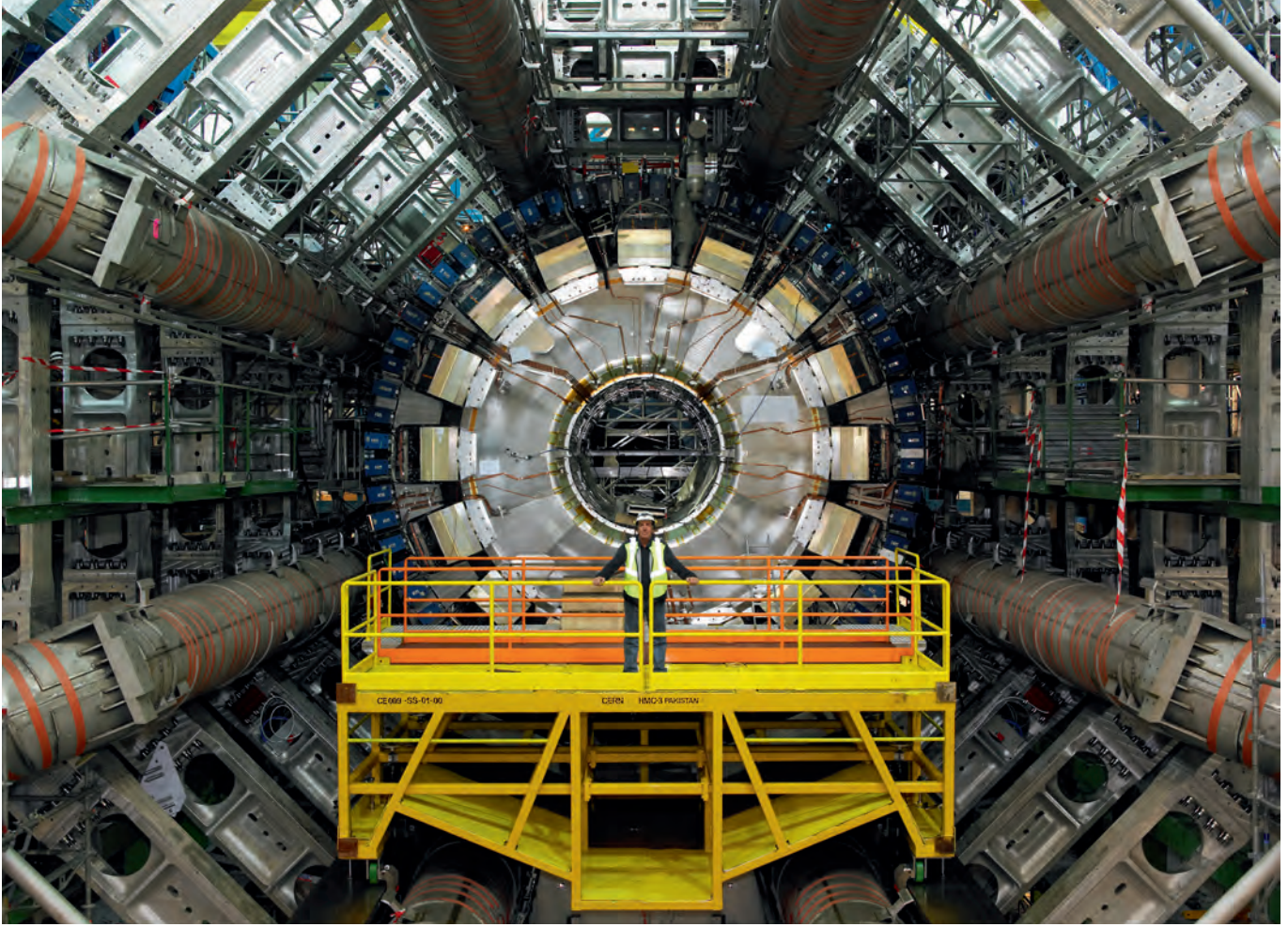
Madde parçacıklarının yanı sıra bir de doğanın dört kuvveti olan kütleçekimi, elektromanyetizma, zayıf kuvvet ve güçlü kuvvetin her biri için kuvvet parçacıkları var. Kütleçekimi ve elektromanyetizma en bilinenleri, itiyorlar ya da çekiyorlar ve etkilerini gözle görebiliyoruz. Güçlü kuvvet, kuarklar üzerine etki edip protonlar ve nötronları çekirdekte bir arada tutarken zayıf kuvvet, örneğin Güneş içindeki nükleer süreçler için gerekli olan radyoaktif bozunmadan sorumlu.

Parçacık fiziğindeki Standart Model, doğanın temel yapı taşlarını ve bilinen dört kuvvetin üçünü (dördüncüsü olan kütleçe-

kimi modelin dışında kalıyor) birleştiriyor. Bu kuvvetlerin gerçekte nasıl işlediği uzun süre bir sır olarak kaldı. Örneğin nasıl oluyor da bir metal kendisini çeken bir mıknatısın orada, az ötede olduğunu bilebiliyor? Ya da örneğin Ay Dünya'nın kütleçekimini nasıl hissedebiliyor?

Higgs parçacığını arama çalışmaları sırasında gerçekleşen bir çarpışmayı bir dedektörün kesitinde gösteren grafik





CERN'deki ATLAS dedektörü

Görünmez Alanlar Uzayı Dolduruyor

Fizik bu olguları uzayın çok sayıda görünmez alanla dolu oluşuyla açıklıyor. Kütleçekimi alanı, elektromanyetik alan, kuark alanı ve tüm diğer alanlar uzayı, daha doğrusu kuramın içinde tanımlandığı dört boyutlu uzay-zamanı dolduruyor. Standart Model, alanların ve parçacıkların evrenin temel yapıtaşları olarak kabul edildiği bir kuantum alan kuramı.

Kuantum fiziğinde her şey kuantum alanlardaki titreşim kümeleri olarak görülüyor. Bu titreşimler, alanda kuantum denemelerine ve bize parçacıklar biçiminde görünen küçük paketçikler halinde taşıyor. İki çeşit alan var: Madde parçacıklarına sahip madde alanları ve kuvvet parçacıklarına (kuvvetlerin etki etmesini sağlayan araçlar) sahip kuvvet alanları. Higgs parçacı-

ğı da alanındaki bir titreşim, bu alan sıklıkla Higgs alanı olarak adlandırılıyor. Bu alan olmadan Standart Model kartlardan yapılmış bir kule gibi yıkılıverirdi, çünkü kuantum alan kuramı kontrol altında tutulması gereken sonsuzluklar ve görülmeyen simetrleri getiriyor. François Englert ile Robert Brout ve daha sonra başkaları, Higgs alanının Standart Model'in simetrisini bozduğunu gösterene kadar Standart Model kabul görmemişti.

Çünkü Standart Model önceki haliyle ancak parçacıkların kütsüz olduğu durumda işleyebilirdi. Aracı kuvvet parçacıklarını kütsüz fotonların oluşturduğu elektromanyetik kuvvet için sorun yoktu. Ancak zayıf kuvvete kütsüz üç parçacık aracılık ediyor; elektrik yüklü iki W parçacığı ve bir Z parçacığı. Bunlar çevik fotonlarla hiç de uyuşmuyordu. Elektromanyetik ve zayıf kuvvetleri birleştiren

elektro-zayıf kuvvet nasıl oluşuyor olabilir-di? Standart Model tehlikede idi. İşte Englert, Brout ve Higgs'in parçacıkların nasıl kütle kazandığını açıklayarak Standart Model'i kurtaran dâhiyane mekanizması tam burada devreye girdi.

Hayaletvari Higgs Alanı

Higgs alanı fizikteki diğer alanlar gibi değil. Diğer tüm alanlar güç açısından çeşitlilik gösterir ve en düşük enerji seviyesinde sıfırlanır. Ancak Higgs alanı öyle değil. Uzay tamamen boşaltılıyorsa bile yine de hiçbir şekilde sıfırlanmayan hayaletvari bir alanla dolu olurdu: Higgs alanı. Bu alana dikkat etmeyiz, bizim için çevremizdeki hava, balık için çevresindeki su ne ise, Higgs alanı da onun gibi. Oysa o olmasaydı var olmazdık, çünkü parçacıklar ancak Higgs alanıyla temas sonucu kütle kazanır.

Higgs alanını dikkate almayan parçacıklar kütle kazanmaz, onunla zayıf biçimde etkileşenler hafif, yoğun biçimde etkileşenlerse ağır olur. Örneğin bu alandan kütle kazanan elektronlar, atomların ve moleküllerin oluşumunda ve bir arada tutulmasında çok önemli bir rol oynar. Eğer Higgs alanı birden yok olsaydı, anında kütesizleşen elektronlar ışık hızında dağılacığı için tüm maddeler çökerdi.

Peki Higgs alanını bu kadar özel yapan şey ne? Higgs alanı Dünyadaki içsel simetriyi kırar. Doğa simetritlerle doludur, yüzler düzenli bir şekilde sahiptir, çiçekler ve kar taneleri çeşitli geometrik simetritler sergiler. Fizikse, daha derin bir düzeyde olsa da Dünyamızı tanımlayan başka tür simetritleri açığa çıkarır. Bu şekildeki görece basit bir simetriye göre, bir laboratuvar deneyinin sonucu, deney Stockholm'de de yapılırsa Paris'te de yapılırsa değişmeyecektir. Sonuç açısından deneyin ne zaman yapıldığının da bir önemi olmayacaktır. Einstein'ın özel görelilik kuramı uzay ve zamandaki simetritlerle ilgilidir ve parçacık fiziğindeki Standart Model gibi başka birçok kuram için model olmuştur. Standart Model'in denklemleri simetrik; bir top nasıl hangi açıdan bakarsanız bakın aynı görünürse Standart Model'in denklemleri de onları tanımlayan çerçeve değişse de aynı kalır.

Simetrinin ilkeleri pek beklenmedik başka sonuçlar da doğurur. Henüz 1918'de Alman matematikçi Emmy Noether, fizikteki enerjinin korunumu, elektriksel yükün korunumu gibi korunum yasalarının simetriden kaynaklandığını göstermişti.

Ancak simetri belirli gerekliliklerin yerine getirilmesini gerektirir. Bir top mükemmel biçimde yuvarlak olmalıdır; en küçük bir tümsek simetriyi bozacaktır. Denklemler için başka kıstaslar geçerlidir ve Standart Model'in simetritlerinden biri parçacıkları kütleyle sahip olmaktan men eder. Buysa Dünyamızda geçerli olan durum değildir, dolayısıyla parçacıklar kütlelerini bir yerden almış olmalıdır. Keşfi bu yıl Nobel Ödülü kazandıran mekanizma işte bu bağlamda simetrinin aynı anda nasıl hem var olup hem de görünmez olduğunu bildiğini gösterdi.

Simetri Gizli Ama Orada

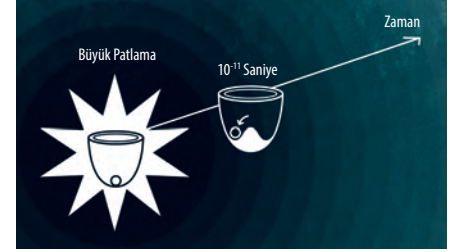
Evrenimiz muhtemelen simetrik olarak doğdu. Büyük Patlama sırasında tüm parçacıklar kütesizdi ve tüm kuvvetler tek bir öncül kuvvet içinde birleşmiş haldeydi. Başlangıçtaki bu düzen artık böyle değil, simetrisi bizden gizlenmiş durumda. Büyük Patlama'dan sadece 10^{-11} saniye sonra bir şey oldu. Higgs alanı başlangıçtaki dengesini kaybetti. Peki bu nasıl oldu?

Her şey simetrik olarak başladı. Bu durum yuvarlak bir kabın içindeki bir topun en düşük enerji durumundaki konumu olarak tarif edilebilir. Bir itki sonucu top yuvarlanmaya başlar, ancak bir süre sonra en alttaki noktaya geri döner.

Ancak en alttaki noktada, genel şekli bir Meksika şapkasına benzetecek biçimde bir tümsek ortaya çıkarsa, ortadaki nokta hâlâ simetrik olacak ancak kararsız hale gelecektir. Top aşağı doğru herhangi bir yöne yuvarlanacaktır. Şapka hâlâ simetrik olacaktır, ancak top bir kere yuvarlandıktan sonra merkezden uzak oluşu simetriyi saklayacaktır. Benzer biçimde Higgs alanı simetrisini bozmuştur ve simetrik sıfır noktasından uzakta vakumda kararlı bir enerji düzeyi bulmuştur. Kendiliğinden olan bu simetri bozulması Higgs alanının faz geçişi olarak adlandırılır; bu, suyun donarak buza dönüşmesi gibidir.

Faz geçişinin olabilmesi için dört parçacık gerekiyordu, ancak sadece bir parçacık, Higgs parçacığı hayatta kaldı. Diğer üçü, zayıf kuvvetin araçları olan elektrik yüklü iki W parçacığı ve bir Z parçacığı tarafından tüketildi ve böylece bu parçacıklar da kütlelerini kazandı. Bu şekilde Standart Model'deki elektro-zayıf kuvvetin simet-

risi kurtarılmış oldu; zayıf kuvvetin ağır üç parçacığı ile elektromanyetik kuvvetin kütesiz fotonları arasındaki simetri varlığını hâlâ sürdürüyor ancak görünmez durumda.

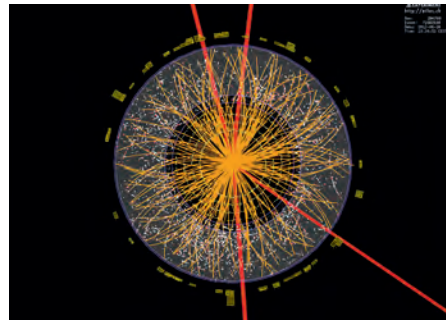


Evren muhtemelen simetrik olarak doğmuştu ve görünmez Higgs alanı, yuvarlak bir kabın dibinde duran bir topun kararlı pozisyonuna karşılık gelen bir simetriye sahipti. Ancak Büyük Patlama'dan 10^{-11} saniye sonra, Higgs alanının en düşük enerji seviyesi simetrik orta noktadan uzağa kayınca simetri bozuldu.

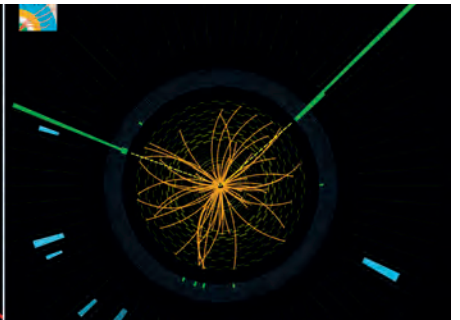
Fiziğin En Uç Sınırları İçin En Uç Sınırlardaki Makineler

Bu yılın Nobel Fizik Ödülü sahipleri muhtemelen yaşadıkları süre içinde kuramlarının doğrulandığını görebileceklerini hayal etmiyordu. Bu, tüm dünyadan fizikçilerin muazzam çabaları sonucu gerçekleşti. Biri ABD'deki Chicago dışındaki Fermilab ve diğeri Fransa-İsviçre sınırındaki CERN olmak üzere iki laboratuvar uzunca bir süre Higgs parçacığını keşfetmek için yarıştı. Ancak Fermilab'daki Tevatron hızlandırıcısı birkaç yıl önce kapanınca CERN Higgs parçacığı avının sürdürdüğü tek yer olarak çalışmalarını sürdürdü.

CERN 1954'te Avrupadaki araştırmaları ve Avrupa ülkeleri arasındaki ilişkileri tekrar canlandırmaya yönelik girişimler sırasında kuruldu. Şimdilik 20 üyesi var ve tüm dünyadan yüzlerce ülke projelere ortaklık ediyor.



SOL: ATLAS dedektöründen elde edilen ve büyük olasılıkla keşfin görüntüsü olan bu grafik, kısa ömürlü Higgs parçacığının bozunması sonucu oluşan dört muonun izlerini (kırmızı) gösteriyor.



SAĞ: Bir Higgs parçacığı oluşmuş ve anında iki fotona bozmuş olabilir. İzleri (yeşil) CMS dedektöründen elde edilen bu görüntüde görülebilir.

CERN'in en büyük başarısı olan LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) adlı parçacık çarpıştırıcı muhtemelen insanlar tarafından yapılmış en büyük ve en karmaşık makine. Her biri yaklaşık 3000 kişilik iki araştırma grubu ATLAS ve CMS adlı dev dedektörlerle parçacıkların peşinde koşuyor. Dedektörler yerin 100 metre altında ve saniyede 40 milyon parçacık çarpışmasını gözlemleyebiliyor. Bu, parçacıklar 27 kilometre uzunluğundaki dairesel LHC tüneline zıt yönde gönderildiğinde çarpışabilecekleri sıklığa karşılık geliyor.



CMS dedektörü

Parçacıklar LHC'ye, her bir yönde bir ışın şeklinde olmak üzere her on saatte bir gönderiliyor. 100 trilyon proton bir araya toplanıp aşırı ince bir ışın içinde yoğunlaştırılıyor ki bu pek de kolay bir iş değil, çünkü artı elektrik yüklü protonlar birbirini çekmekten çok itiyor. Işık hızının yüzde 99,99999'u kadar bir hızla ilerliyor ve farklı yöndeki protonların her biri yaklaşık 4 TeV (bir teraelektronvolt (TeV)=bir trilyon elektronvolt) enerjiyle olmak üzere, toplamda 8 TeV enerjiyle çarpşıyorlar. Aşağı yukarı uçan bir sivrisineğin hareket enerjisine karşılık gelen 1 TeV o kadar da büyük bir enerji olmayabilir, ancak enerji tek bir proton içinde toplandığında ve hızlandırıcı çevresinde bu şekilde dönen 500 trilyon proton olduğunda bir ışının enerjisi bir trenin tam hızdaki enerjisine karşılık geliyor. 2015 yılında LHC'deki enerji neredeyse iki katına çıkacak.

Bulmaca İçinde Bulmaca

Parçacık deneyleri kimi zaman, iki İsviçre saatini nasıl yapıldıklarını anlamak için birbirine vurup parçalamaya benzetilir. Ancak parçacık deneyleri bunu yapmaktan çok daha zordur, çünkü bilim insanlarının aradığı parçacıklar tamamen yenidir; çarpışma sırasında açığa çıkan enerjiden oluşurlar.

Einstein'ın meşhur formülü $E = mc^2$ 'ye göre kütle bir çeşit enerjidir. Kütsüz parçacıkların bile çarpıştıklarında yeni bir şey üretmesini mümkün kılan şey, işte bu denklemin sihridir. İki fotonun çarpıştıklarında elektronu ve onun karşı-parçacığı olan pozitronu oluşturmaları ya da enerji yeterince yüksek olduğunda iki gluonun çarpışması sonucu bir Higgs parçacığı oluşması gibi.

Protonlar parçacıklarla -kuarklar, karşı-kuarklar ve gluonlar- dolu küçük çantacıklar gibidir. Çoğunluğu birbirinin yanından fazla vakit kaybetmeden geçer, iki parçacık yığınının çarpıştığı her durumda sadece yirmi kafa kafaya çarpışma gerçekleşir. İncelenmeye degecek bir çarpışmanın oluşma olasılığı bir milyarda birden daha düşük. Bu kulağa pek fazla gelmiyor, ancak bu şekildeki her çarpışma yaklaşık bin parçacığın ortaya çıkışıyla sonuçlanır. 125 GeV'ta Higgs parçacığının bir protondan 133 kat daha ağır olduğu anlaşıldı, bu da onu üretmenin bu kadar zor olmasının nedenlerinden biri.

Ancak deneyin tamamlanmasına daha çok var. CERN'deki bilim insanları ileriki yıllarda çığır açıcı daha fazla keşif yapmayı umuyor. Higgs parçacığının keşfi Standart Model bulmacasının eksik parçasının bulunması olarak büyük bir başarı olsa da Standart Model kozmik bulmacanın son eksik parçası değil.

Bunun sebeplerinden biri, Standart Model nötrino denen parçacıkları görünüşte kütsüz kabul ederken son zamanlarda yapılan çalışmaların bunların aslında kütlesi olduğunu göstermesi. Bir başka sebep modelin sadece evrendeki tüm maddenin beşte birini oluşturan görünen maddeyi tanımlaması; geri kalanı bilinmeyen bir türdeki karanlık madde. Karanlık madde doğrudan görülemiyor, ancak galaksileri bir arada tutan ve kopup dağılmalarını önleyen kütleçekim etkisinden dolayı gözlemlenebiliyor.

Diğer tüm açılardan karanlık madde görünen maddeyle ilintili olmaktan uzak. Ama unutmayın ki Higgs parçacığı özel bir parçacık ve belki de esrarengiz karanlıkla temas kurulmasını o sağlayacak. Bilim insanları gelecek yıllarda LHC'de parçacık avına devam ederken karanlık maddenin izine olsun rastlamayı ümit ediyor.

