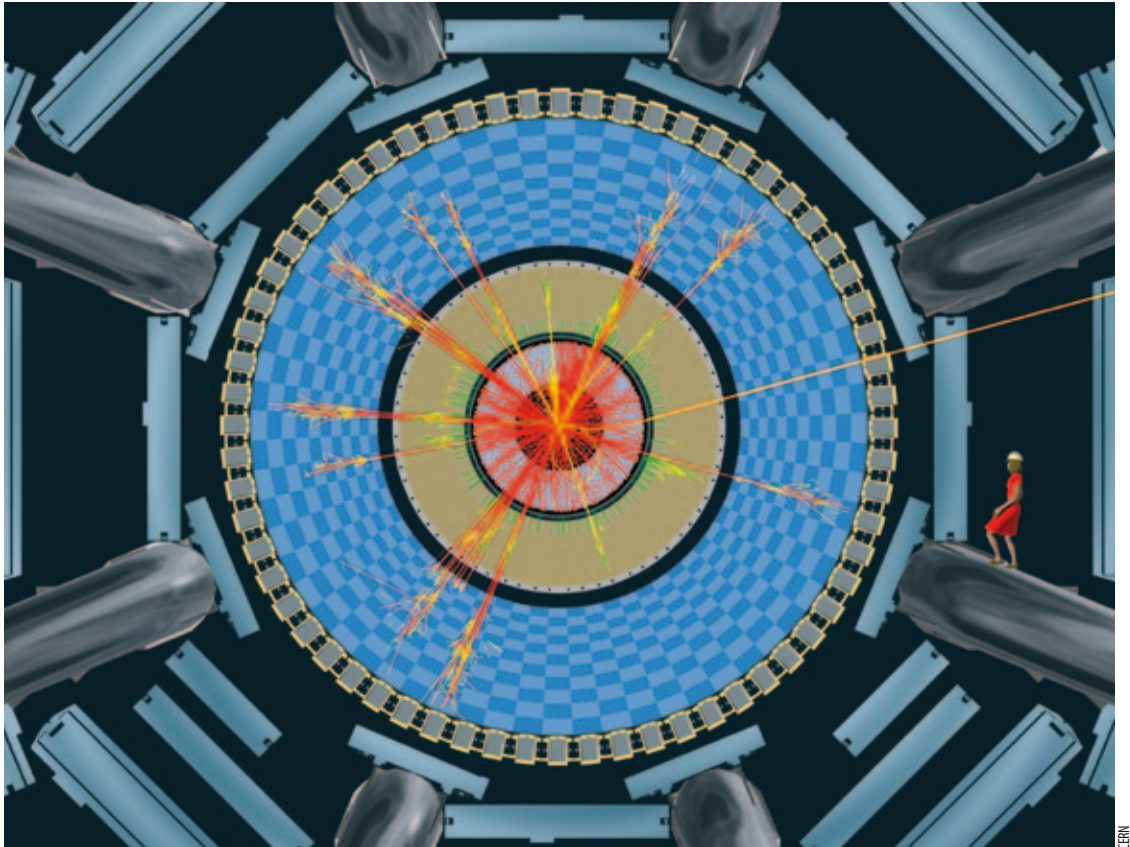


Higgs'i Ararken...

Yaklaşık 1,5 yıl önce büyük CERN projesi LHC yani Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın başlayacağını duyurulduğu günlerde, tüm dünyada bilim ve medya çevrelerinde büyük bir heyecan yaşanmıştı. Protonların ilk kez LHC halkasında döndürülmesi gerçekleştirilmiş, ancak teknolojinin sınırlarını zorlayan bu büyük girişim, 19 Eylül 2008 günü meydana gelen teknik bir arıza nedeniyle durdurulmuştu. Bu teknik arızanın bir yılı aşan onarılma sürecinden sonra, 20 Kasım 2009 gecesi LHC halkasında protonlar her iki yönde de döndürüldü. LHC'nin yeniden çalışmaya başlaması CERN tarihinde önemli bir yer tuttu.

Kasım 2009'da başlayan çalışmalarda önce hızlandırmanın ilk aşamasının gerçekleştirildiği Süper Proton Sinkotron (SPS) hızlandırıcısında 0,45 TeV (1 eV (elektron volt) = $1,6 \times 10^{-19}$ Joule'dür, 1 GeV = 1 milyar eV, 1 TeV = 1 trilyon eV) enerjiye ulaştırılan bir proton demeti, 27 km'lik LHC halkasına oturtuldu ve demetler kısa süreler için LHC halkasında döndürüldü. Daha sonra protonlar kütle merkezinde 0,9 TeV (0,45 TeV + 0,45 TeV) enerjide çarpıştırıldı. Saç tellinden daha ince boyutlara sıkıştırılan parçacık demetleri, çarpışma noktalarında dedektörlerin de tespit ettiği gibi çarpıştırılınca maddenin temel yapısının görüntüleri de ortaya çıkmaya başladı. Daha son-



raki aşamalarda parçacık demetlerinin sayıları artırılabilir, karşılıklı 16'şar demetin halkada dönüşü gerçekleşti. LHC tasarımında bu sayının 2808'e ulaşmasının önerildiğini hatırlatalım. Aynı zamanda yine tasarımda 100 milyar protonun bir demete sıkıştırılmasının amaçlandığı bu hızlandırma işleminde, bunun 10'da biri düzeylerine ulaşıldı. Son olarak enerjileri LHC halkasında 1,18 TeV'e ulaştırılan protonlar hızlandırıcıda kafa kafaya çarpıştırıldı. Bu da CERN tarihine bir dünya rekoru olarak geçti. Kütle merkezinde 2,36 TeV'e ulaşan LHC bu şekilde ABD'deki Tevatron hızlandırıcısının yıllardır 1,96 TeV'de sürdürdüğü liderliğine son vermiş oldu.

2009'un Kasım ve Aralık aylarındaki bu hızlı gelişmeler, bilim camiasında büyük yankı uyandırdı; ayrıca önemli sayılacak miktarlarda veri toplanması mümkün oldu. Çeşitli performans analizleri yapılmasının yanında LHC'nin bu ilk operasyon şartlarında birçok fizik olayı tespit edildi, ölçüldü ve temel parçacık fiziği modeli olan Standart Model'in öngördüğü çeşitli parçacıkların varlığı çok hızlı bir şekilde gösterildi.

16 Aralık akşamı LHC, çalışmalarına 2010'un ilk aylarında tekrar başlamak üzere, bakım ve tasarlanan çarpıştırma şartlarına hazırlanması için önceden planlandığı şekilde kapatıldı.

Bugün gelinen noktada 2010 Mart-Nisan aylarında LHC'de protonların 3,5 TeV enerjilere ulaşması hedefleniyor ve kütle merkezinde ulaşılacak 7 TeV enerjilerle gözlenecek olaylarla planlanan program uygulanmaya başlanacak. Bu enerji hâlâ tasarım enerjisi olmasa da LHC'nin başarılı bir başlangıç yapacağından ve önümüzdeki yıllarda kütle merkezinde 14 TeV enerjilere ulaşılacağından kimse kuşku duymuyor.

Önümüzdeki 18-24 ay süresince LHC, tasarım enerjisinin yarısı kadar değerlerde çalıştırılacak, daha sonra uzun bir bakım döneminden sonra tasarım enerjisine ulaşmaya çalışılacak. Bu iki yıllık dönemde yaklaşık 10 trilyon proton-proton çarpışması dedektörler tarafından kaydedilecek ve veriler toplanacak. Bu beklenen olay sayısını geçtiğimiz Aralık ayında yaklaşık 50.000 proton-proton çarpışmasıyla yapılan gözlemlerle karşılaştırdığımızda birçok yeni fizik konusunun incelenebileceğini öngörebiliriz. Bunlar arasında süpersimetrik parçacıkların kütleleri için daha geniş kütle aralıklarında arama hassasiyetine ulaşılması, Higgs parçacığının bulunabileceği kütle aralığının iyice daraltılabilmesi ve ekstra boyutlarla ilgili bazı kuramların öngörülleri olan yeni ağır parçacıkların gözlenebileceği yüksek hassasiyetlere ulaşılması mümkün olacaktır.



1993 yılında zamanın Birleşik Krallık Bilim Bakanı William Waldegrave fizikçileri bir yarışmaya davet ediyor. Konu Higgs. Higgs mekanizmasını ve önemini en iyi anlatana ödül vaat ediliyor. Birinci Margaret Thatcher analojisi ile Higgs'i şöyle anlatıyor. Biz bunu Einstein analojisi olarak anlatalım.

Bir grup fizikçinin olduğu bir oda düşünün. Birden içeriye Einstein giriyor. Doğal olarak etrafta bir hareketlilik oluyor. Einstein ile konuşmak isteyen fizikçiler onun etrafında kümelenmeye başlıyor. Etrafındaki kalabalıktan hareketi kısıtlanan Einstein yavaş yavaş ilerleyebiliyor.

Bu benzetmede fizikçi topluluğu Higgs alanını, Einstein da bu alan içindeki bir parçacığı temsil ediyor. Parçacık Higgs alanı içinde hareket ederken kütle kazanıyor. Diğer bir deyişle Einstein'ın etrafındaki kalabalık, parçacığın Higgs alanı içinde hareket ettikçe nasıl kütle kazandığını gösteriyor.

Analojiyi daha ileri götürebiliriz. Daha ünlü ya da rağbet edilen bir başka kişi kütle daha yüksek bir parçacığı temsil edebilir. Bu parçacığın hareketi odada daha yavaş olur. İçeri girdiği bile fark edilmeyen bir gariban da doğrudan odanın karşı tarafına geçebilir. Bu ise kütlelessiz bir parçacığın temsili olarak düşünülebilir.

Kütle, Higgs Mekanizması ve Higgs Parçacığı

Kütlenin en eski bilimsel tanımlarından biri, Isaac Newton'un 1687'de ilk defa yayımlanan ünlü *Principia*'sındaki klasik mekanikteki hareket yasalarındaki tanımıdır. Kütlenin nasıl bir mekanizma sonucu oluştuğu, Standart Model'deki tanımı, günümüz parçacık fiziğinin en önemli konularından biri. Standart Model, özellikle geçtiğimiz yüzyılın başında temelleri atılan modern fizikteki gelişmelerin sonucu, kuantum fiziği ve görelilikle ilgili fizik temel alınarak geliştirilen, temel parçacıkların ve kuvvetlerin modeli olarak tanımlanıyor.

1964'te Peter Higgs, R. Brouti, F. Englert ve G. S. Guralnik, C. R. Hagen ve T. W. B. Kibble'in geliştirdiği ve Higgs mekanizması diye isimlendirilen ku-

ramsal modele göre Büyük Patlamadan sonra tüm parçacıklar kütesizdi. Evren soğudukça Higgs alanı ve onunla ilişkilendirilen Higgs parçacığı (Higgs bozonu) tüm evreni kapladı. Bu kurama göre bütün temel parçacıklar Higgs alanı içinde yüzerler, bu etkileşim sayesinde her parçacık kütle kazanır. Yani kütlelenin, parçacıkların içsel bir özelliği olmadığı sonradan edinilebilen bir özellik olduğu varsayılıyor. Parçacıklar Higgs alanı ile değişik şiddetlerde etkileşir, bazıları ağır olur bazıları hafif kalır, bazıları ise Higgs alanını hiç hissetmezler. Higgs alanı bir kuvvet değildir, parçacıkları hızlandırmaz, enerji aktarmaz ama kütesiz olanlar hariç bütün parçacıklarla etkileşir ve onlara kütle kazandırır. Higgs bozonu ise bir parçacıktır. Higgs alanı ile diğer parçacıklar gibi etkileşip kütle kazanır. Kuantum kuramında her alanın aracı bir parçacığı var: Elektromanyetik alanın aracı parçacığı foton iken radyoaktiviteden sorumlu zayıf kuvvet alanının aracı parçacıkları ise W ve Z bozonları. Bu çerçevede Higgs bozonu, bir aracı parçacık olarak da düşünülebilir.

Higgs alanının varlığını deneylerde gözlemleyemeyiz, ancak Higgs bozonunu gözlemleyebilmek bu alanın varlığına da kanıt olacaktır. Higgs bozonu diğer kütleli parçacıklarla etkileştiği için parçacık çarpıştırıcılarında yaratılabilir ve ayrıca diğer birçok parçacık gibi Higgs de kararlı bir parçacık olmadığından, bozunur. Bozunma süreçlerinin gözlenmesi ve incelenmesi ile bu parçacığın varlığını ve özelliklerini inceleyebiliriz.

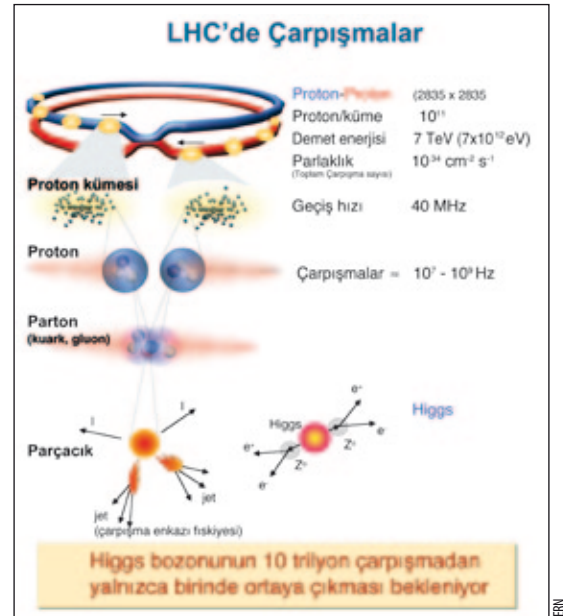
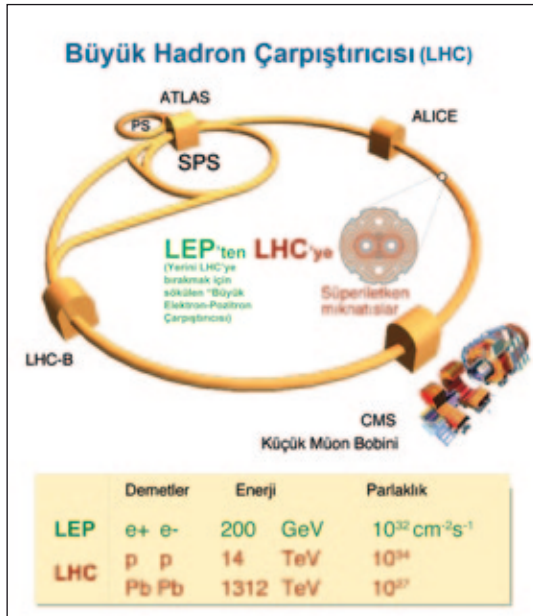
Standart Model'de bir tane Higgs bozonu olduğu varsayılır. "Standart Model Üstü" diye adlandırılan çeşitli modellerde birden çok Higgs bozonu-

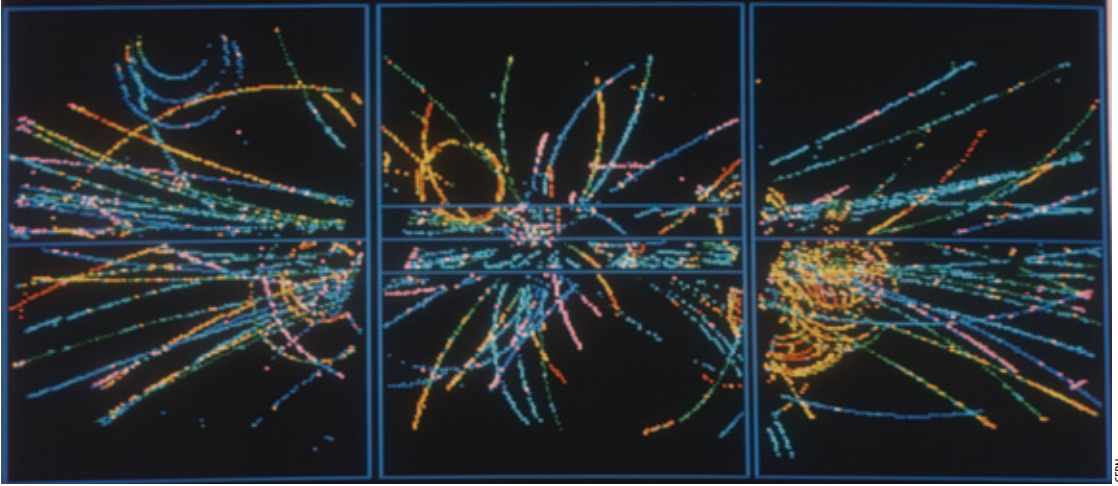
nun varlığı söz konusudur. Bu modellerde parçacıkların kütlelerini veren mekanizmada birden çok Higgs parçacığı gerekir. Standart Model'in Higgs'le ilgili bölümdeki deneysel verilerin eksikliği nedeniyle, bu bölümle ilgili çeşitli spekülasyonlar yapılır. Bu da deneysel çalışmaların önemini ve gerekliliğini ortaya koyar.

Parçacık Hızlandırıcılarındaki Deneylerde Higgs Parçacığı Çalışmaları

1970'lerde elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin birleştirilmesine yönelik kuramsal çalışmalar (elektrozayıf model) 1980'lerde deneysel çalışmaların öngörülerıyla birleşince Higgs parçacığının varlığı konusu daha da önem kazanmıştır. Glashow, Weinberg ve Salam'ın elektrozayıf modelinde matematiksel olarak, aracı parçacıkların kütesiz olması gerekir. Bu kuvvet taşıyıcı parçacıklar, foton ve W, Z parçacıklarıdır. Gözlemlerde foton kütesiz ancak W, Z parçacıkları oldukça ağırdır.

Modelde Higgs parçacığının kütlesi için önerilen kuramsal bir üst limit dışında bir sınır yoktur. Bu nedenle Higgs parçacığının aranacağı kütle sınırları deneylerle belirlenmelidir. Higgs parçacığının kütlesi için en kuvvetli deneysel belirleyici CERN'deki LEP'te (Elektron-Pozitron Hızlandırıcısı) elde edilen sonuçlardır. Bundan yaklaşık 10 sene önce, LEP programının tamamlanmasından hemen önce, LEP2'de elektron ve pozitron demetleri kütle merkezinde 209 GeV enerjilerde çarpıştırılmıştır.





CERN

Kuramsal olarak elektron ve pozitronun yok olmasıyla Higgs ve Z bozonlarının oluştuğunu biliyoruz. Sonrasında Z ve Higgs bozonunun değişik bozunma kanalları incelenmiştir. LEP'teki dört deneyin Higgs'le ilgili sonuçları birleştirildikten sonra, 2000 yılında Higgs kütlelerinin en az 114,4 GeV olduğu bulunmuştur. Ayrıca çeşitli deneysel çalışmalarda, Higgs parçacığı için 186 GeV'e yaklaşan bir üst sınır da konmuştur.

Daha sonraki yıllarda Chicago'daki Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı'nda, proton ve anti-protonların kafa kafaya 1,96 TeV enerjide çarpıştırıldığı Tevatron Hızlandırıcısı'nda da olası Higgs bozunmaları incelenerek Higgs bozonu avlanmaya çalışılmıştır. LEP2'deki sonuçlara benzer şekilde Tevatron'da 115 GeV'deki Higgs, dikkati çeken bir istatistiksel üstünlük göstermiştir. Ancak 160 GeV'lik Higgs'e kadar ulaşan aralıkta istatistiksel önemi azalan bir davranış görüldü de, Higgs kütlelerinin 160 GeV'ye kadar olabileceği düşüncesini destekler sonuçlar çıkmıştır. Ayrıca Tevatron'dan çıkan başka bir sonuç, Higgs'in iki W bozonuna bozunduğu olaylar, Higgs'in kütlelerinin 162-166 GeV aralığında bulunamayacağını destekler niteliktedir. 160-180 GeV'e kadar olan aralıkta, Tevatron verileri Higgs kütlesi için düşük olasılığa işaret eder. LEP2 ve Tevatron'daki sonuçlar birleştirildiğinde Higgs'in, LEP2'nin bulduğu 115 GeV sınırından yaklaşık 160 GeV sınırına kadar olan aralıkta olabileceğine işaret eder. Higgs parçacığının gözlemi, yüksek enerjili çarpışma enerjilerinde yukarıda bahsedilen bozunum kanallarında mümkün olsa da sinyali gürültüden ayırma probleminin çözümüne bağlıdır. LEP2 ve Tevatron'daki çalışmalar ve öngörülen kütle aralıkları, hafif Higgs parçacıklarının iki gamma ışınına veya iki alt kuarka bozunduğu kanallarda gözlenebileceğine işaret eder ki bu

kanalları sınırlı sayıda veri ile gürültüden ayırmak oldukça güçtür. Bu nedenle Tevatron elindeki sınırlı sayıda veriyle şu anda daha iyi bir sonuç üretememektedir. LHC önümüzdeki iki yılda 7 TeV'de, (Tevatron'daki çarpışma enerjisinin 3,5 kat üstünde) çalışacak, ancak bu enerjide ve iki yıllık sürede toplanabilecek veri toplamı sınırlı olacaktır. Bazı hesaplara göre toplanacak veri ile Higgs parçacığının gözleminden ziyade, kütle için 145-190 GeV aralığının dışlanabileceği öngörülmüyor. Higgs'in bulunabileceği kütle aralığı için değerler verebilmek Higgs'i gözlemek anlamına gelmeyecek elbette ama şunu da unutmamak yararlı olur: Kuramsal varsayımlara göre varlığı modellerde gösterilmiş olan Higgs parçacığı belki de mevcut değildir. Bu durumda parçacık fiziğinde çok önemli bir problem olan kütlelerin nedenini açıklayan Higgs modeli yerine başka modeller üretmek, başka öngörülerde bulunmak gerekecektir.

Bu da şu anda LEP ve Tevatron sonuçlarının daha da geliştirileceğine işaret ediyor. Tevatron, 2011 sonuna kadar LHC ile paralel olarak çalışmaya devam edecek ve Higgs parçacığı konusundaki çalışmalarını derinleştirecek. LHC'nin 7 TeV'de çalışacak olması, Higgs parçacığıyla ilgili fiziksel süreçlerin ortaya çıkma olasılığını artırıyor; ayrıca gözlemlerde sinyali gürültüden ayırmak için LHC'nin Tevatron'a göre önemli bir üstünlüğü olacak. Yine de LHC önümüzdeki günlerde çalışmaya başladığında uzun yıllardır çalışan Tevatron ile kıyasıya bir yarış içinde olacak.

Higgs parçacığı ile ilgili popüler bilim kaynağı:
Lederman, L., Teresi, D., *The God Particle*
If The Universe Is The Answer, Dell Publishing, 1993
(Kitap Türkiye'de Evrim Yayınevi tarafından
Tanrı Parçacığı Eğer Evren Yanıtı Soru Ne?
adıyla yayımlanmıştır.)

Parçacık fiziğiyle ilgili başvurulabilecek web siteleri:
<http://particleadventure.org>
<http://www.cerncourier.com>
<http://www.symmetrymagazine.org>
<http://www.interactions.org>
<http://www.cern.ch>
<http://www.fnal.gov>