

Maddenin Yapısı ve Higgs Bozonu

M. Zeyrek, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü

LHC'deki ATLAS ve CMS deneylerinin 2012' de açıkladıkları sonuçlar Higgs bozonunun varlığını kanıtlamış, beraberinde 50 yıl önce ortaya atılan kuramsal bir modelin doğrulanması ve parçacıkların kütle kazanma mekanizmasının anlaşılmasını sağlamıştır. Maddenin yapısını anlama yolundaki bu büyük adım, parçacık fiziğinde yeni bir milat olarak tarihe geçmiş ve yeni bilimsel araştırmalar için bir çıkış açmıştır.

Yaklaşık 13.7 milyar yıl önce uzay ve zaman yok iken, büyük patlama sonucunda evrenin oluşumu ve maddenin yapısı ile ilgili sorular, insanlığı çok eski çağlardan beri meşgul etmiştir. Aristo'dan Einstein'a bu konu üzerinde birçok önermeler yapılmış, deneysel sonuçlarla bu önermeler arasında benzerlikler aranmıştır. Konumuzun içeriğini oluşturan temel parçacıkların ve etkileşimlerinin incelenmesi kozmik ışınların etkileşimlerini incelemekle başladı, 1930'lu yıllardan sonra ise yeni kullanılmaya başlanan modern parçacık hızlandırıcılarında bu çalışmalar sürdürüldü. Gördüğümüz her şey maddeden yapılmıştır. Güneşimiz ve evrendeki katrilyonlarca benzeri, üstünde yaşadığımız gezegen, solduğumuz hava, okuduğunuz bu sayfa hep maddedir. Madde moleküllerden, moleküller atomlardan, atomlar çapı santimetrenin yüz milyonda biri olan bir elektron bulutundan ve bu bulutun çapından yüz bin kez küçük çekirdekten oluşur. Çekirdek de proton ve nötronlardan oluşur. Her proton (ya da nötron) elektronunun yaklaşık 2000 katı kütleyle sahiptir. Çekirdek parçacıkları da daha temel parçacıklardan, kuarklardan yapıldır.

Çevremizde gördüğümüz şeylerin boyutları moleküllerin boyutları ile belirlenmiştir.

Moleküllerin büyüklüğü atomun, atom ise çekirdek çevresinde dönen elektronların yörüngesi ile tanımlanır. Bu yörüngelerin çapıysa elektronun kütlesine bağlıdır. Dolayısı ile elektronun kütlesi evreni açıklayabilmek için çok önemlidir.

En hafif temel parçacık olan elektron ile birlikte kuarklar diğer temel parçacık grubunu oluşturmaktadır. Bu parçacıkların ve bu parçacıkların etkileşimlerini sağlayan başka türden parçacıkların farklı farklı kütleleri vardır. En hafif temel parçacık elektron iken üst kuarkın kütlesi elektronunkinin yaklaşık 350 000 katı olarak keşfedilmiştir. Kütle hepimiz için çok doğal bir şey ki bunun önemini, nereden nasıl geldiğini düşünmemişizdir. Oysa kütle evrende yaşamsal bir önemi var. Kütle olmasaydı evren içinde parçacıkların ışık hızıyla sağa sola uçtuğu çalkantılı bir denizi andırırdı. Moleküller oluşamaz dolayısı ile evren ve yaşam oluşamazdı.

Kütlenin en eski bilimsel tanımlarından biri, Isaac Newton'un 1687'de ilk defa yayımlanan ünlü Principia'sında 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.

Evren büyük patlama ile çok küçük, yoğun ve sıcak bir durumdan başlayarak genişlemektedir. Temel doğa kuvvetleri büyük patlama öncesi olduğu gibi özdeş, başka bir deyişle simetrik olmalıdır. Dolayısı ile bu kuvvetleri taşıyan parçacıkların da simetrisi olmalıdır. Ancak elektromanyetik kuvvetin taşıyıcısı fotonlar kütsesizdir ve en hızlı parçacıklardır. Oysa bakıyoruz atom çekirdeklerinin bozunmasına neden olan zayıf kuvveti taşıyan parçacıkların menzillerinin atom çekirdeğinden daha kısa olduğunu bildiğimizden, bu etkileşim araçlarının kütlelerinin olması gerektir. Bu temel paradoks, fizikçileri parçacıklara kütle kazandırarak aslında varolan simetriyi perdeleyen yeni bir parçacık, Higgs parçacığı düşüncesine götürdü. Bu düşünce 1964 yılında F. Englert, R. Brout, P. Higgs, G. Guralnik, C. Hagen ve T. Kibble tarafından önesürülmüş ve Higgs mekanizması olarak adlandırılmıştır [1]. 1970'lerde elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin birleştirilmesine yönelik kuramsal çalışmalar 1980'lerde deneysel çalışmaların öngörülerıyla birleşince Higgs parçacığının varlığı konusu daha da önem kazanmıştır.

Büyük patlamayla ortaya çıkan Higgs alanı ve onunla ilişkilendirilen Higgs parçacığı tüm evreni kaplıyor. Diğer tüm parçacıklar Higgs alanı içinde yüzerler, bu etkileşim sayesinde her parçacık kütle kazanır. Higgs alanının uzay zaman boşluğunda sıfır olmayan, değişmeyen bir değeri olması gerekiyor. Bu kurama göre kütlelerin temel parçacıkların içsel bir özelliği olmadığı sonradan edinilebilen bir özellik olduğu varsayılıyor. Fizikte kütleli atalet, maddenin harekete direnme eylemi "*Maddenin Yapısı ve Higgs Bozonu*", M.Zeyrek

olarak tanımlıyoruz. Bu şekilde, 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 kütsesiz olanlar hariç bütün parçacıklarla etkileşir ve onlara kütle kazandırır. Higgs bozonu (bozon olarak adlandırılan parçacıklar kuvvet taşıyıcı parçacıkların genel adıdır) ise bir parçacıktır, Higgs alanı ile diğer parçacıklar gibi etkileşip kütle kazanır. Higgs alanının varlığını deneylerle gözleyemeyiz 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.

Higgs mekanizmasını bir analogi ile açıklayabiliriz; bir grup fizikçinin olduğu bir oda düşünelim. 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 ise bu alan içindeki bir parçacığı temsil ediyor. Parçacık Higgs alanı içinde hareket ederken kütle kazanıyor, başka bir deyişle Einstein'ın etrafındaki kalabalık parçacığın Higgs alanı içinde hareket ettikçe nasıl kütle kazandığını gösteriyor. Analogiyi daha da ileriye götürürsek, daha ünlü ya da daha rağbet edilen bir başka kişi kütsesi daha yüksek bir parçacığı temsil edebilir. Bu parçacığın hareketi odada daha yavaş olur. İçeri girdiği fark edilemeyen bir gariban da odanın bir tarafından diğer tarafına

geçebilir. Bu ise kütesiz bir parçacığın temsili olarak düşünülebilir.

Higgs bozonu kütleinin nedenini açıklama ile ilişkilendirildiği için anahtar konumundadır. Yani yaşamsal ve gizemli bir konumdadır. Hangi enerji düzeyinde var olduğu bilinmemektedir. Bu özelliği nedeniyle kimi fizikçiler tarafından, varlığını gerektiren matematiksel modeli, Standart Model, sorunlarının altına süpürüldüğü bir cehalet halısı olarak nitelendiriliyor.

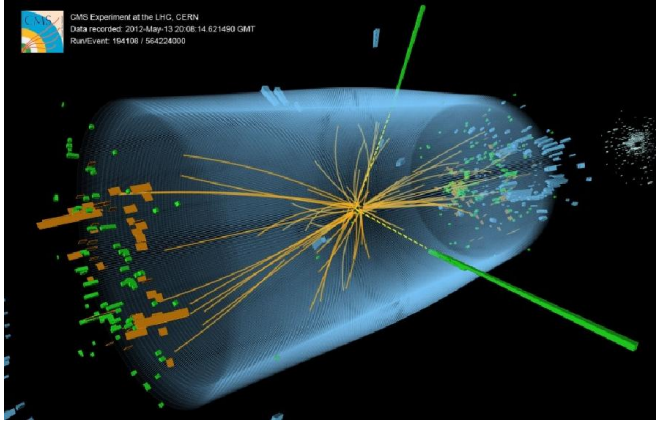
Yaşamsal ve gizemli özelliklerinden dolayı, Nobel ödüllü fizikçi Leon Lederman tarafından 1993’de yazdığı bir kitabının başlığı olarak Tanrı Parçacığı (The God Particle)[2] diye adlandırılıyor. Bu tanımdan aynı zamanda Parçacıkların Tanrısı anlamı da çıkmaktadır. Bir başka görüşe göre ise Lederman keşfindeki güçlülere işaret etmek için ‘goddamn’ particle (Allah’ın cezası parçacık) olarak adlandırmış ancak kitabın editörü bu ismi ‘The God Particle’ olarak değiştirmiştir. İsmi her ne şekilde konulmuş olursa olsun bu kitap çok beğenilmiş ve peşinden her türlü spekülasyon ve yorumlar yapılmıştır. Lederman’ın amacı da bir yerde bu idi. Fermilab’daki Tevatron isimli hızlandırıcıyı geliştirmek, daha fazla enerjiye ulaşmak için gereken bütçeyi bulmaktı. Bu hızlandırıcı geçtiğimiz yıl sonuna kadar çalışmış ve LHC’ye (Large Hadron Collider - Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) rakip konumunda olmuştur.

Higgs alanını ve parçacıkların Büyük Patlamadan çok kısa bir süre sonraki davranışlarını çalışabilmek, evrenin ilk anlarındaki yüksek sıcaklıklara erişmekten geçmektedir. Bu da çok küçük parçacıkların çok yüksek enerjilere hızlandırılmak suretiyle erişmesi ve bu yüksek enerjili parçacıkların birbirleriyle çarpıştırılmalarıyla mümkündür.

Önerilmesinden bu tarafa geçen 50 yıldır bu parçacığın izleri parçacık hızlandırıcılarındaki deneylerde aranmaktadır. Modelde Higgs parçacığının kütleisi için önerilen bir üst limit dışında bir sınır yoktur. Bu nedenle Higgs parçacığının aranacağı kütle sınırları deneylerle belirlenmelidir. Higgs parçacığının kütleisi için en kuvvetli deneysel belirleyici CERN’deki (Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi) LEP’te (Large Electron Positron – Büyük Elektron Pozitron hızlandırıcısı) elde edilen sonuçlardır. 10 yılı aşkın bir süre önce ulaşılan bu sonuçlara göre Higgs parçacığının kütleisi en az 114.4 GeV (yani protonun kütleisinden yaklaşık 114.4 kat) daha fazla olmalıdır [3]. 2011 yılında çalışmalarını sonlandıran Chicago’daki Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarında da proton ve anti-protonların yaklaşık 2 TeV enerjilerde çarpıştığı makinada Higgs bozonu avlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalarda, Higgs kütleisinin 147-180 GeV arasındaki değerleri alamayacağı ve 115-140 GeV arasındaki kütle değerlerinde varlığı ile ilgili sonuçlara ulaşılmıştır [4].

Higgs parçacığı ile ilgili ve çok yankı uyandıran son çalışmalar CERN’ün mega projesi LHC makinasında yapılmaktadır. LHC’nin yaklaşık 20 yıl önce başlayan tasarım ve kurulma çalışmaları sonunda deneme çalışmaları tamamlanmıştır ve 2010 yılından başlayarak çalıştırılmakta ve deneyler sürmektedir. LHC’nin birinci fazında ulaşılan en yüksek enerji, kütle merkezinde 8 TeV olmuştur. Bu enerjide ışık hızına çok yakın hareket eden proton hüzmeleri, her saniyede 40 milyon kez çarpışmaktadır. Bu çarpışmalar yerin yaklaşık 100 m derinliğinde ve daha önce LEP hızlandırıcısı için kullanılmış, çevresi 27 km olan bir halkada gerçekleşmektedir. LHC’de protonlar halkanın etrafına yerleştirilmiş yaklaşık 10,000 süperiletken

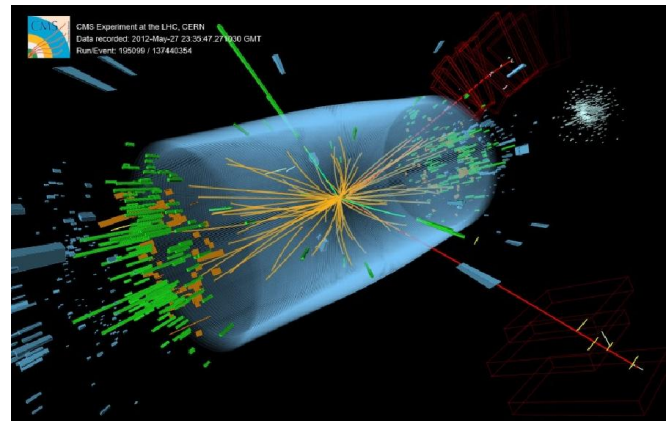
mıknatıs tarafından yönlendirilmektedir. Zıt yönlerde dönen parçacıklar çarpışma noktalarında çarpışmaktadırlar.



Şekil 1. Higgs bozonunun 2 foton içeren bozunumu.

Çarpışma noktalarındaki dev algılayıcılar (detektör sistemleri) bu çarpışmaları izlemekte ve kaydetmektedir. Parçacık fiziği deneylerinde, küçük kütleli oluşları ve yüksek enerjileri nedeniyle çok uzun mesafelere gidebilen parçacıklar gözlenmeye çalışılmaktadır. Bu parçacıklardan bazıları boşlukta gidercesine kalınlığı metrelerce olan çok yoğun malzemelerden, örneğin kurşundan geçebilmektedir. Dolayısı ile detektörler, yoğun malzemelerden çok büyük hacimlerde inşa edilmektedir. Bu yolla bu parçacıklar durdurulabilir ve incelenebilirler. Protonların çok yüksek enerjilerde çarpıştırılması ile amaçlanan, evrenin oluşumunun başlangıcı olarak kabul edilen Büyük Patlamadan sonra saniyenin trilyonda biri gibi çok kısa zaman aralığındaki şartların benzerlerini laboratuvar ortamında yaratmak ve bu şekilde evrenin şu andaki durumunu ve işleyiş mekanizmasını anlamaya çalışmaktır. LHC’de hızlandırılan protonların her birinin taşıdığı enerji aşağı yukarı uçan bir sineğin enerjisine eşittir. Ancak bu enerji çok çok küçük bir hacimde yoğunlaşmaktadır. Bu şartlar altında çok ender

olarak yeni parçacıkların ve oluşumların ortaya çıkması da beklenmektedir. Bunlar arasında Higgs parçacığı, süpersimetrik parçacıklar, minyatür kara delikler, gravitonlar sayılabilir. Bu parçacıkların gözlenmesi ile evrenin işleyiş mekanizmalarını anlamak ve bir çok kuramsal çalışmanın geçerliliğini görmek ya da reddetmek mümkün olacaktır. LHC’de Mart 2010 tarihinde başlayan veri alımı çalışmalarında 7 TeV kütle merkezi enerjisinde 2011 yılı sonuna kadar toplanan verilerle Higgs’in varlığı hakkında 124-126 GeV değerlerinde hem ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) hem de CMS (Compact Muon Solenoid) deneyleri tarafından kesin sonuçlara ulaşılmıştır. Bu ilk sonuçların istatistiksel güvenilirliği 2-3 sigma olarak açıklanmıştır. 2012 yılında 8 TeV kütle merkezinde tekrar veri almaya başlayan LHC’den bu sonuçları doğrulayan daha fazla verinin toplanması ile, 4 Temmuz 2012’de hem CMS hem de ATLAS deneyleri birbirinden bağımsız olarak yaptığı çalışmalar sonucunda 125-126 GeV aralığında (5 sigma—yaklaşık milyonda bir hata payı ile) bu yeni bozonunun (Higgs parçacığı) varlığı doğrulanmış oldu. Higgs parçacığı ilk olarak 2 foton (Şekil 1) ve 4 lepton (Şekil 2) içeren bozunma kanallarında doğrulanmıştır [5].



Şekil 2. Higgs bozonunun 4 lepton içeren bozunumu.

Higgs bozonunun bulunması, 50 yıl önceki bir kuramsal modelin doğrulanması, evrenin büyük patlama modelinin doğrulanması ve parçacıkların Higgs mekanizması ile kütle kazandığının anlaşılması anlamına gelmektedir. Bu buluş doğanın bir nebze daha anlaşılmasını sağlarken, çeşitli modellerin önerdiği yeni fizik arayışlarına da yol açabilecektir. Zira elimizdeki modeller ve deneysel kanıtları gerçeğin sadece başarı ile basitleştirilmiş bir durumudur.

Higgs bozonu İngiliz fizikçi Peter Higgs'in adıyla anılmaktadır. Peter Higgs 1964 yılında Higgs bozununun varlığını öneren mekanizmanın kuramını yapan altı fizikçiden biridir. CERN'deki keşfin ardından, 2013 yılında bu fizikçilerden Francois Englert ve Peter Higgs bu önerinin ilk sahipleri olarak Nobel fizik ödülünü almışlardır [6]. F. Englert'in çalışmalarında ortak olan Robert Brout 2011 yılında öldüğü için kendisine Nobel ödülü verilememiştir.

Kaynaklar:

[1] Englert, F. ; Brout, R. (1964). "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons". Physical Review Letters 13 (9): 321. Higgs, P. (1964). "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons". Physical Review Letters 13 (16): 508. Guralnik, G. ; Hagen, C.; Kibble, T. (1964). "Global Conservation Laws and Massless Particles". Physical Review Letters 13 (20): 585.

[2] Lederman L., Teresi D., The God Particle, If The Universe Is The Answer, What is The Question?, Dell Publishing, 1993. Kitap Türkiye'de Evrim Yayınevi tarafından Tanrı Parçacığı Eğer Evren Yanıtısa Soru Ne? adıyla yayınlanmıştır.

[3] W.-M. Yao et al. (2006). Searches for Higgs Bosons 'Review of Particle Physics', Journal of Physics G 33:1.

[4] The CDF Collaboration, the D0 Collaboration, the Tevatron New Physics, Higgs Working Group (2012). "Updated Combination of CDF and D0 Searches for Standard Model Higgs Boson Production with up to 10.0 fb⁻¹ of Data.

[5] CMS Collaboration (2012). "Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC". Physics Letters B 716 (1): 30-61. arXiv:1207.7235. ATLAS collaboration (2012). "Observation of an Excess of Events in the Search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC". Atlas-Conf-2012-093

[6] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2013/