

# Yeni bir parçacık bulmak

Cenevre deyince aklınıza CERN, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ve 4 Temmuz 2012 günü yapılan açıklamalar yerine çikolata, saat ve bankacılık mı geliyor? O zaman bu yazıyı okumalısınız! Yoksa aklınıza Higgs Bozonu mu geliyor? O zaman bu yazıyı mutlaka okumalısınız! Gelin yeni bir bozonun keşfi ile sonuçlanan bu macerayı birlikte yaşayalım.

## Maddenin Yapısı

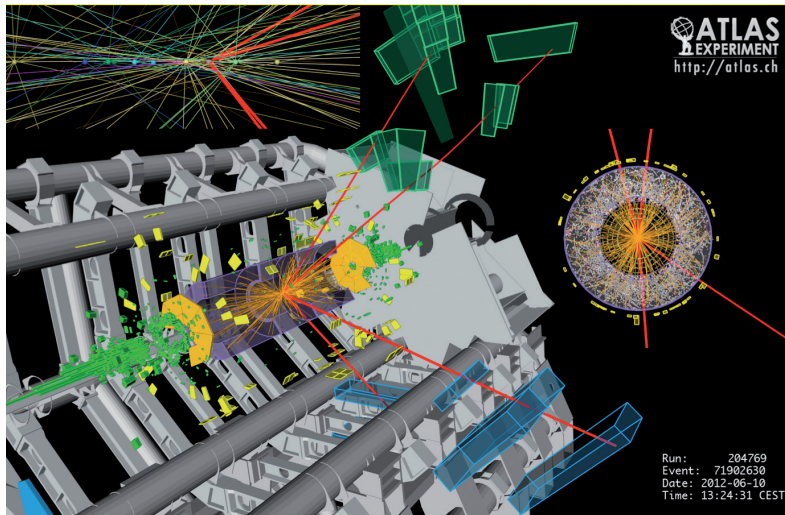
Etrafımızda gördüğümüz maddenin nelerden oluştuğu çok eski çağlardan beri insanların kafasını kurcalamıştır. Bir parça tahtayı ikiye böldüğümüzde elde ettiğimiz yine aynı, ama daha küçük tahta parçalarıdır. Maddeyi nereye kadar bölebiliriz sorusu belki felsefe kadar eskidir. MÖ 5. yüzyılda düşünür Demokritos, “bölünemez” sözcüğünün eski Yunanca karşılığı olan “*átomos*” kavramını ortaya atarak, tahtayı ancak atomlarına kadar bölebileceğimizi iddia etti. 20. yüzyıla kadar atomların

bölünemez, yani temel parçacık oldukları düşünülüyordu. Ancak 20. yüzyılın başında, atomların temel parçacık olmadığı, içinde proton ve nötronların bulunduğu çekirdeklerden ve bunların etrafındaki elektronlardan oluştuğu anlaşıldı. Hızlandırıcı teknolojilerindeki gelişmelerin bir sonucu olarak, proton ve nötronlar ile yapılan deneyler bu parçacıkların da bir iç yapısı olduğunu ortaya koydu. 20. yüzyılın ortalarında yapılan bu deneyler, proton ve nötronların kuarklardan ve kuarklarla etkileşerek hepsini bir arada tutan gluonlardan meydana geldiğini öne süren kuramın (kuantum renk dinamiği kuramı) doğmasını sağladı. Kozmik ışınlarla yapılan deney ve gözlemler, kuark modelinin bu ışınların atmosferle etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan parçacıkların iç yapısını da açıklayabildiğini gösterdi.

## Kütle ve Enerji

Var olan her parçacık kütleli midir? Hayır. Örneğin foton, yani ışık enerji olarak vardır, ama durağan kütlesi yoktur. Einstein'ın denklemini daha açık yazarsak  $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$  bir cismin enerjisi durağan kütesinden ve momentumundan (hızından) gelir. Foton ve gluon için kütle sıfırdır, ama enerji sıfırdan büyüktür.

ATLAS'ın 2012'de kaydettiği bir olay. Higgs bozonu olduğu düşünülen yeni parçacığın dört müona bozunduğu etkileşimi gösteriyor. Kırmızı çizgiler ile müonların izledikleri yollar gösterilmiştir.



## Standart “Bir” Modele Doğru

Bu çalışmalara paralel olarak, nötronların ve radyoaktif atomların bozunmasını açıklamak üzere oluşturulan “zayıf etkileşim kuramı” ortaya atıldı. Bu kuram, gluonlar dışında, kuarklarla etkileşen W ve Z adı verilen başka parçacıklar olduğunu öngörüyordu. W ve Z parçacıkları CERN’de yapılan UA1 ve UA2 deneylerinde 1983 yılında gözlemlendi. Bu ölçümler 1984 Fizik Nobel Ödülü’nü getirdi.

Bu parçacıkların elektronlarla ve onların neredeyse kütsüz “kardeşleri” olan nötrinolarla da etkileştiği deneysel olarak kanıtlandı. Bu kuram günlük yaşamdan tanıdık gelen elektromanyetizma kuramı ile benzerlik gösterdiği için, bu iki farklı etkileşme “elektrozayıf kuram” adı altında birleştirildi. Deney sonuçları W ve Z parçacıklarının var olduğunu, ancak fotonlardan farklı olarak kütleli olduklarını gösterdi.

## Kütle Sorunu ve Çözümü

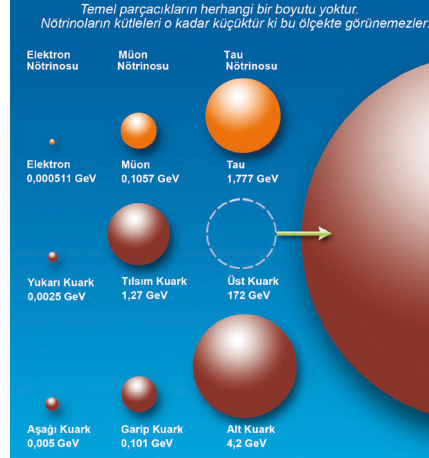
Kuantum renk dinamiği ve elektrozaıfıf kuram, şimdiye kadar yapılmış deney sonuçlarını başarıyla açıklayan ve “Standart Model” denilen bir model altında Glasgow, Salam ve Weinberg tarafından birleştirildi. Bu model, gözlemlediğimiz yüzlerce bileşik parçacığın iç yapısını, 6 tane kuark (sağdaki resim, alt iki sıra), ve elektronun da aralarında bulunduğu 6 tane lepton (sağdaki resim, üst iki sıra) adı verilen toplam 12 fermiyon ile açıklar. Yine aynı modele göre, fermiyonların arasındaki etkileşmeler kuvvet taşıyıcı 4 bozon (soldaki resim) aracılığı ile gerçekteşir. Elimizdeki bilgiler bu 16 parçacığın temel olduğunu, yani iç yapılarının olmadığını gösteriyor. Standart Model’in en basit haline göre, temel parçacıkların kütle-

### Kuvvet taşıyıcılar



si yoktur. Ama bu önerme doğru olsaydı, elektronun ve kuarkların kütleleri olmaz, atomlar oluşamazdı. Standart Model üç takım tarafından (Brout ve Englert takımı; Guralnik, Hagen ve Kibble takımı ve Higgs) aynı zamanda birbirlerinden bağımsız olarak ortaya atıldığı halde, kısaca Higgs mekanizması denen bir yöntemle geliştirildi. Bu yöntem, Standart Model’e bir Higgs alanı (kuantum alan kuramında alanlar parçacıkların betimler) ekleyerek, sadece temel fermiyonların kütlelerini açıklamakla kalmıyor, W ve Z bozonlarına da kütle kazandırıyor. Aynı zamanda Z bozonuna çok benzeyen fotonun neden kütesiz olduğunu da açıklıyor. Higgs mekanizmasının öngörüsü olan yeni parçacığa da Higgs bozonu deniyor. Higgs mekanizmasına göre Higgs alanı bütün evrene yayılmıştır. Bu alan Higgs bozonu değiş tokuğu sayesinde temel parçacıklarla etkileşir. Temel parçacıkların kütleleri de bu alanın ortalama değeri tarafından belirlenir. Bu yüzden de Higgs bozonunun ağır parçacıklarla daha kuvvetli etkileştiği söylenebilir.

Ancak maddenin kütesinin tamamından Higgs mekanizmasını sorumlu tutmak haksızlık olur. Protonun ve nötronun dolayısıyla atomların dolayısıyla da bizim kütleminiz ancak %1’i Higgs parçacığından gelir, kalan %99’undan kuantum renk dinamiği sorumludur.



## Macera Başlıyor - Keşif İşıldakları

Deneyel parçacık fiziği Einstein’ın ünü  $E=mc^2$  (yani kütle ve enerji birbirine dönüşebilir) denklemine uygun olarak, yüksek enerjili parçacıkları çarpıştırıp açığa çıkan enerjiden yeni parçacıklar üretmeyi temel alır. Hızlandırıcılar, gittikçe artan yüksek enerjilerde parçacık demetleri üreterek, keşiflere giden yolu aydınlatan ışıldaklardır.

## Bir Türü Bulunamayan Parçacık

Higgs bozonunu bulmaya yönelik heyecanlı serüven 1980’lerde başladı. 1989’da CERN’in NA31 deneyi, Higgs bozonunun kütesinin 0,015 GeV’den (Giga elektron Volt) yüksek olması gerektiğini göstererek ilk sonucu verdi. Daha yüksek enerji düzeylerine doğru yolculuğa çıkmayı başaran CERN’in LEP çarpıştırıcısı ise 2000 yılında Higgs parçacığımin kütesinin 114,4 GeV’den büyük olması gerektiğini buldu. Buna paralel olarak ABD’de Tevatron isimli çarpıştırıcıda gerçekteşen çalışmalarda da Higgs parçacığımin izleri arandı. 2011 yılında Tevatron’da çalı-

çan fizikçiler Higgs parçacığımin kütesinin 156-177 GeV arasında olması gerektiğini öngördü. Daha sonra LEP’te ve Tevatron’da yapılan hassas ölçümlerin birleştirilmesi ile Higgs parçacığımin kütesinin 161 GeV’den küçük olması gerektiğinde karar birliğine varıldı.

### Bozonlar ve Fermiyonlar

Parçacıklar iki sınıfa ayrılabilir: Birbiri ile aynı kuantum durumunda olabilenler ve olamayanlar. İlk duruma Bose ve Einstein’ın hesaplarından dolayı bozon, ikinci duruma da Fermi ve Dirac’ın hesaplarından dolayı fermiyon adı verilir. Madde parçacıkları fermiyon, kuvvet taşıyıcı parçacıklar ise bozondur. Lazer kavramı da bozon olan fotonların aynı kuantum durumuna birikebilmesi sayesinde mümkün olmuştur.

## Mutlu Sona Doğru

CERN’deki, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nda (BHÇ) protonlar günümüzde bir hızlandırıcının ulaşabildiği en yüksek enerjiye, yani proton başına 4 TeV’lik (Tera elektron Volt) bir enerjiye çıkarılıyor. (1 TeV yaklaşık olarak uçmakta olan bir sivrisineğin kinetik enerjisine eşittir. Bu kadar enerji günlük hayat için önemsiz olsa da, proton gibi çok küçük bir cisim için devasadır.) Yüksek enerjideki proton demetlerini 27 kilometrelik hızlandırıcı içinde yö-rüngede tutabilmek, hızlandırıcı fizikçilerinin ulaşması gereken teknolojik hedeflerden sadece biridir. Yüklü parçacık demetlerinin yörgeleri (BHÇ’de protonlar) hızlarına dik doğrultuda uygulanan manyetik alanlarla kontrol edilebilir. BHÇ protonlarının yörgelerini, onları hızlandırıcının içinde tutabilecek kadar bükebilmek için gereken manyetik alan bir buzdolabı miknatısının 10.000 katıdır (8 Tesla). Bu kadar yüksek manyetik alanlar sağlamak için günümüzde üstüniletkenlik teknolojisi kullanılıyor. Üstüniletkenlik özelliği gösteren niyobyum-titanyum malzemelerle yapılan kablolar sayesinde, BHÇ’de yüksek manyetik alanlar elde edilebiliyor. Bu malzemeler üstüniletkenlik özelliklerini ancak

çok düşük sıcaklıklarda gösterir. Bu yüzden BHC'nin bükücü mıknatısları uzaydan bile daha soğuk bir sıcaklıkta tutulur. Proton demetleri, yörüngeleri üzerine yerleştirilmiş algıçların (dedektörlerin) merkezlerinde çarpıştırılır. BHC, her etkileşme noktasında saniyede 600 milyon çarpışma ile parçacık fiziğinin sorularını cevaplamak üzere bitmek bilmeyen bir merak ve tutku ile çalışmayı sürdürüyor.

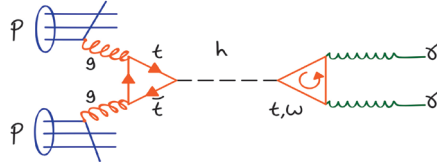
## Bir Parçacığı "Görmek"

Aranan Higgs parçacığı çok kısa ömürlü olduğu için, oluştuğu anda Standart Model'de bilinen parçacıklara bozunur. Bozunma sonunda oluşan parçacıklar ve bunların da kendi bozunum ürünleri, bıraktıkları izler sayesinde algıçlar tarafından gözlemlenir ve özellikleri ölçülür. Bu işi çarpışıp tamamen parçalanmış iki otomobilin etrafa saçılan parçalarına bakarak otomobillerin markalarını ve çarpışmanın nasıl olduğunu anlamaya benzebiliriz. Örneğin genelde direksiyonların üzerindeki logolardan otomobillerin markaları anlaşılabilir. "Kaza yerinde aranacak cisim" olarak çarpışmış iki otomobilin direksiyonlarının seçildiği araştırmaya (parçacık fiziğinde kullanılan benzer bir isimlendirme ile) "iki direksiyon kanalı" adı verilebilir.

## Keşif Kanalları

Olay yerinde kazaya dair izlerin araştırılması gibi, çarpışma deneylerinde de algıçlarda iz sürülür. Tıpkı direksiyonları aracılığıyla otomobillerin markalarının tahmin edilmesi gibi, algıçlarda hangi parçacığın ya da parçacıkların izleri araştırılıyorsa, onun "kanalıyla" çözümleme yapıldığı söylenir. Higgs parçacığı araştırmalarında da, bozunma ürünlerini yani bozunma kanallarını incelenen model belirlenir. Ayrıca her kanalın gerçekleşme olasılığı da kullanılan modele göre hesaplanabilir. Örneğin Higgs bozonunu bulmak için iki foton kanalı, iki W kanalı veya iki Z kanalı, parçacıkları ve bunların bozunma ürünleri aranır. Algıçlar bu bozunma ürünlerinin izlerini ölçerek Higgs bozo-

nu olmaya aday parçacıkları ortaya çıkarır. Parçacık fizikçileri aranan parçacıkların oluşumunu ve bozunma ürünlerini resimlerle kolayca anlatmak için Feynman gösterimlerini kullanır. Aşağıdaki resimde olası proton-proton etkileşmelerinden, en baskın olarak Higgs üretimi ile sonuçlanana ve Higgs bozununun iki fotona bozunması gösteriliyor.



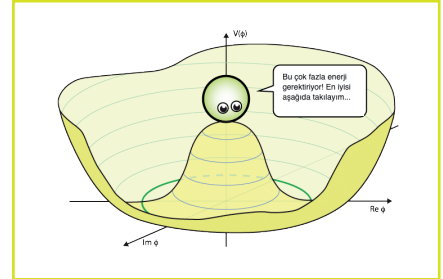
Bu resimde protonlar "p" harfi ile işaretli yuvarlaklar olarak çizildi. Protonların içinden çıkan düz çizgiler kuarkları gösteriyor. Bu örnekte her iki protondaki birer kuark, gluon ("g") salmak yoluyla, bir kez etkileşmiş. Bu iki gluon da bir üst kuark ("t") üçgeni yoluyla etkileşip Higgs bozonu üretmiş. Kesikli çizgi ve "h" ile gösterilen bu parçacık da yine bir üçgen döngüsü ile ("γ" ile gösterilen) iki fotona bozunmuş. Ancak bu son üçgenin içinde fotonla etkileşebilmek için elektrik yükü olan, Higgs ile etkileşebilmek için de ağır olan üst kuark ve W bozonu olmalıdır. Üçgen içindeki parçacıkların orada üretilip yok olduğu, yani dışarı çıkmadığı dönen okla betimlenir.

## Gürültünün üzerine çıkmak - artalan

Arananlara benzer izler Standart Model'deki, Higgs dışındaki başka süreçlerden de gelebilir. Örneğin iki foton veren Higgs dışı süreçler de vardır. Bunlara, sinyalin arkasında hep oldukları için, artalan denir. BHC'de saniyede 600 milyona varan çarpışmada ortaya çıkan parçacıkların çoğunluğu, daha önceki çalışmalarda da gözlemlenmiş Standart Model süreçlerinden kaynaklanır. Bu yüzden "Higgs parçacığı vardır" diyebilmek için, ilgili ölçümlerde (Standart Model'in Higgs dışındaki beklentilerinin üzerinde) bir fazlalık gözlemlenmesi gereklidir.

## Higgs mekanizması

Higgs mekanizması kuramsal fizikte "kendiliğinden bakışım (simetri) kırılması" adı verilen bir yöntem ile kütle sorununu çözer. Higgs alanı, Meksika şapkası şeklindeki bir çukurun tam ortasındaki tümseğin üzerine konmuş bir top benzetmesi ile açıklanabilir. Topun merkezdeki tepede durması, potansiyel enerjisi olduğu anlamına gelir. Oysa çukurun dibinde en az enerjili durumda, dengede olacaktır. Kuantum alan kuramı, sistemlerin en düşük enerjili durumu seçeceğini söyler. Ancak bunun bedeli de daha önce tamamen bakışimli olan durumun bozulması olacaktır. Higgs alanı artık merkezden, yani sıfır konumundan uzaklaşmış, kendine bir değer seçmek zorunda kalmıştır. İşte bu değer, yani Higgs alanının en az enerjideki değeri, fermiyonların ve W, Z bozonlarının kütlelerini verir.



Higgs parçacığı oluşumu gibi seyrek gerçekleşen süreçleri gözlemeye çalışmak samanlıkta iğne aramaya benzetilebilir. Bu yüzden, deneylerde çok veri toplamaya yani yüksek istatistiğe gerek duyulur. Örneğin aranan herhangi bir süreç milyarda bir olasılıkla gerçekleşiyorsa ve iyi bir ölçüm yapmak için bin gözleme ihtiyaç varsa, en az bir trilyon çarpışma yapılmalıdır.

## Sonuçlar

CERN'de Higgs araştırması yapan iki büyük deney (ATLAS ve CMS) ilk sonuçlarını 4 Temmuz 2012'de açıkladı. Yukarıda, solda verilen resimde, CMS deneyinden en güçlü kanıtı sunan, iki fotonlu olaylardan elde edilen kütle görülüyor.

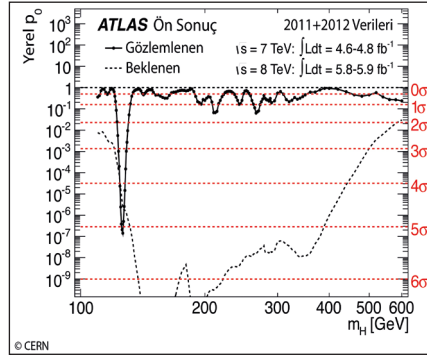
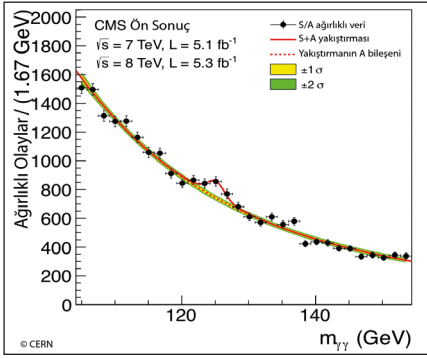
## Bundan Sonra

2012 Sonuna kadar yapılacak çalışmalarla eldeki veri miktarı iki katına çıkarılacak. Bu veriler ile yeni bulunan bu parçacığın Higgs bozonu olup olmadığını doğrulamak için çalışma yapılacak. Eldeki büyük veri kümesi ile araştırılması gereken daha bir çok konu var. Örneğin Büyük Birleşme Kuramı, ek bozular ve karanlık madde. Hem hızlandırıcının hem de deneylerin yaklaşık 2 yıl sürecek olan onarma ve iyileştirme çalışmalarına 2013 yılının ilkbaharında başlanacak. BHC'nin enerjisi 14 TeV'e artırılarak daha önce araştırılması mümkün olmayan kuramlar denenecek. BHC deneylerinin en az 10 yıl daha veri toplaması hedefleniyor.

### Higgs Bozonu Değişimi

Günümüzdeki anlayışa göre parçacıklar arasındaki etkileşmeler yerel olmak zorundadır. Diğer bir deyişle aralarında bir uzaklık olan iki parçacık birbirlerini doğrudan etkileyemez. Etkileşim olması için, taşıyıcı parçacıkların yani fotonların değiş tokuş edilmesi gerekir. Buna benzer bir şekilde, elektrik alanı içinde bulunan yüklü bir parçacık da alanla foton değiş tokuşu üzerinden etkileşir. Higgs alanını bu örnekteki elektrik alanı gibi, Higgs bozonunu da foton gibi düşünebiliriz.

**Kaynaklar**  
<http://public.web.cern.ch/public/en/Science/StandardModel-en.html>  
<http://www.atlas.ch/news/2012/latest-results-from-higgs-search.html>  
<http://cms.web.cern.ch/news/observation-new-particle-mass-125-gev>  
<http://www.interactions.org/beacons/tr/home>



Sol: CMS deneyinde toplanan verinin, yeni parçacık olan (düz çizgi) ve olmayan (kesikli çizgi) durumu karşılaştırılması. Sağ: ATLAS deneyinin sunduğu verinin deneye uyuma olasılığı. 5σ yatay çizgisini kesen yerde, yaklaşık 126 GeV de yeni bir parçacık bulunmuştur. (S: Sinyal, A: Artalan)

Yatay ekseninde iki fotonun elde edilen kütle, dikey ekseninde o kütlede toplanan olay miktarı bulunuyor. Siyah noktalar toplanan veriyi, noktalı kırmızı çizgi de bilinen süreçlerden ölçülen artalanı gösteriyor. Düz kırmızı çizgi ise sinyal artı artalan, yani "yeni bir parçacık vardır" varsayımına göre oluşturulan ve çözümlenen veriye en uygun eğridir. Yeni parçacık, CMS deneyinde yaklaşık 125 GeV'de bir fazlalık olarak kendini gösterir. Benzeri bir sonuç ATLAS deneyinden de alınmış, ancak yeni parçacığın kütlesi 126 GeV olarak ölçülmüştür.

"Bu yeni parçacık, Higgs bozonu mu?" sorusuna cevap verebilmek için, kuramın önerdiği başka kanallarda da aynı parçacık arandı. Örneğin Higgs bozununun iki Z parçacığına bozunması ve bunların her ikisinin de elektron veya müon çiftlerine bozunması belli bir olasılıkla mümkün olmalıydı. Aynı kütle aralığında, yani 120'den 130 GeV'e kadar olan aralıkta, ATLAS deneyi 5,3 olay beklerken (bu yeni parçacığı destekler şekilde) 13 olay saptadı. Bu yazının ilk sayfasındaki büyük resim de işte bu 13 olaydan biridir.

## İstatistiksel anlamlılık

Bir sonraki adım, ölçüm yapılan tüm kanallardan alınan sonuçların birleştirilmesidir. Burada amaçlanan, görülen sinyalin istatistiksel bir tesadüf olup olmadığını (yazı tura atıldığında üst üste bir çok kez tura gelmesi gibi) anlamaktır. Yukarıdaki resimde, sağ tarafta, ATLAS deneyinin, çözümlenmede denenen bütün

Higgs bozonu kütleleri ve bütün kanalları için, artalanın sinyal benzeri bir fazlalık üretme olasılığı verilmiştir. Yatay ekseninde aranan parçacığın kütlesi, sol dikey ekseninde ise her kütle değerinde elde edilen verinin "yeni bir parçacık yoktur" varsayımına uyumluluk olasılığı gösterilmiştir. Sağ dikey ekseninde ise, bu olasılığın normal bir dağılımın (Gauss Çan Eğrisi) genişliği cinsinden ( $\sigma$ ) ifadesi bulunabilir. Görüleceği gibi, neredeyse bütün kütlelerde gözlenen olasılık (düz çizgi) en az yüzde bir civarında olduğu halde, 126,5 GeV'de  $3 \times 10^{-7}$ 'ye düşer. Bu değer de yaklaşık üç milyonda bir, yani yeni bir parçacığın keşfinde kullanılan ölçüt olan 5-sigma'ya eşittir. Bu sonuçla da yeni bir parçacığın keşfi tamamlanır. Bu keşif, 4 Temmuz 2012'de ATLAS ve CMS deneylerinin ortak açıklaması ile dünyaya duyuruldu.

### eV, GeV ve TeV

Atomaltı parçacıklar çok küçük olduklarından günlük yaşamda kullanılan birimler bunların kütlelerini ölçmek için uygun değildir. Işık hızının 1 kabul edildiği doğal birimlerde, enerji kütleyle eşit olduğu için ifadeler basitleşir. Örneğin 1 Voltluk bir akü ile bir elektrona verilen enerjiye 1 eV (elektronvolt) denir. 1.000.000.000 Volt ile verilen enerji GeV (Giga elektronvolt) olarak adlandırılır. Protonun kütlesi yaklaşık 0,94 GeV yani  $1,7 \times 10^{-27}$  kg'dır. GeV'in 1000 katı enerji ise TeV (Tera elektronvolt) olarak kısaltılır.